

Drag Reduction pada Pipa Persegi dengan Penambahan Lapisan Agar
Yanuar^{1,*}, Kurniawan T. Waskito¹, Reski Septiana², dan Wildan M.
Nurikhwan²

¹Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok, 16424, Indonesia

²Mahasiswa Sarjana Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok, 16424, Indonesia

*E-mail: yanuar@eng.ui.ac.id

Abstrak

Dalam hal transportasi fluida menggunakan pipa, penurunan koefisien gesek adalah aspek yang penting karena berkaitan dengan penghematan energi. Transportasi fluida tidak hanya menggunakan pipa bulat namun pipa lain seperti pipa persegi juga digunakan, khususnya untuk sistem ducting. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan perbedaan *Drag reduction* yang dihasilkan oleh Agar dengan ketebalan lapisan 1mm dan 3mm pada sisi dasar pipa. Pipa persegi dengan diameter hidrolis yang sama tanpa lapisan Agar digunakan sebagai pembanding. Selain itu juga mempelajari karakteristik aliran dalam pipa persegi dengan melakukan penambahan lapisan Agar-Agar dengan variasi konsentrasi C_w 2% dan C_w 5%. Fluida kerjanya adalah air. Penelitian dilakukan di aliran laminar dan transisi, pengambilan data menggunakan *pressure transducer* pada dua titik pengukuran. Hasilnya menunjukkan semakin tebal lapisan Agar, maka semakin besar *Drag reduction* didapatkan dengan ketebalan lapisan Agar 3mm adalah 28% untuk Re sekitar 2055. Semakin besar konsentrasi campuran Agar semakin besar *Drag reduction* dengan nilai pengurangan terbesar untuk konsentrasi lapisan Agar C_w 5% adalah 27% untuk Re sekitar 3900. Penambahan lapisan Agar menyebabkan *delay* rezim aliran untuk transisi dan turbulen. *Drag reduction* dan *delay* rezim aliran terjadi karena adanya kecepatan slip pada fluida yang kontak langsung dengan lapisan Agar.

Kata kunci : *drag reduction*, pipa persegi, tebal Agar, konsentrasi agar, slip

Pendahuluan

Sejak Toms [1] meneliti *drag reduction* dengan penambahan polimer, banyak penelitian tentang senyawa *drag reduction* dalam bermacam-macam kondisi dilakukan. Diantaranya surfaktan telah diteliti secara intensif dikarenakan keefektifannya dan rendahnya degradasi mekanis. Namun, kebanyakan surfaktan adalah bahan kimia sintesis sehingga menimbulkan pencemaran lingkungan. Walaupun biopolimer tidak menimbulkan masalah pencemaran, namun, memiliki kekurangan dalam hal terjadinya degradasi mekanis yang cepat. Penggunaan fiber dari *Nata de coco* dapat mengurangi kehilangan tekanan dalam aliran turbulen [2]. Fiber [2,3] seperti asbestos, nylon, memiliki ketahanan terhadap degradasi mekanis, namun, memiliki kekurangan dalam hal beban terhadap lingkungan, sementara pulp, yang merupakan fiber dari tumbuhan memerlukan konsentrasi tinggi untuk mencapai efek *drag reduction*.

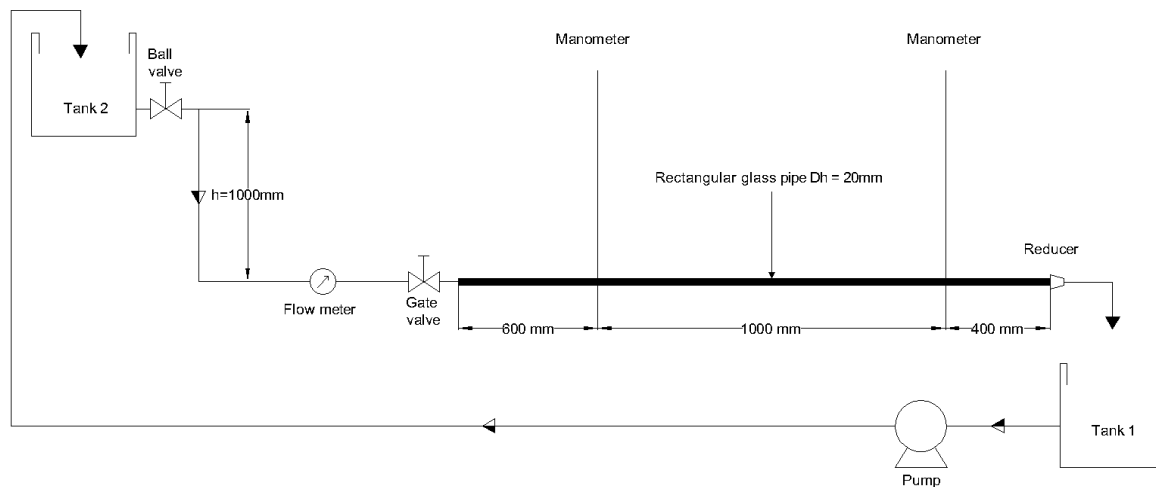
Hagen-Poiseuille menyatakan hasil yang cukup komprehensif mengenai aliran dalam pipa bulat. Disisi lain seperti sistem pemanas dan pendingin, pembangkit daya, penggunaan pipa persegi adalah hal yang umum. Hasil eksperimental mengenai pipa persegi telah dilakukan [4,5]. Formulasi teoritis mengenai aliran dalam saluran berpenampang persegi diusulkan oleh Cornish [6] dan hasil yang menarik ditunjukkan dalam daerah *Reynolds number* kritis. Penelitian ini memfokuskan pada pengaruh penambahan lapisan Agar pada pipa persegi dengan ukuran diameter hidrolis (D_h) pipa 20mm, rasio panjang dan lebar (e) adalah 1. Dengan variasi ketebalan 1mm dan 3mm dan juga pengaruh konsentrasi massa larutan (C_w) Agar dengan variasi 2% dan 5%. Rentang pengujian aliran adalah pada daerah laminar sampai permulaan turbulen.

Set-Up Eksperimental

Tabel 1. Spesifikasi Pipa Persegi Uji

Pipa Persegi Uji	Di (mm)	Do (mm)	Dh (mm)	Tebal Agar (mm)
I	20x20	30x30	20	-
II	20x19	30x30	19.5	1
III	20x17	30x30	18.4	3

Tabel 1. menunjukkan spesifikasi pipa persegi uji. Pipa kaca digunakan dalam pengujian dengan perbandingan panjang dan lebar (e) adalah 1. Diameter hidrolis (Dh) adalah 20mm tanpa penambahan lapisan agar dan berkurang dengan perbandingan yang kecil ketika ditambahkan lapisan Agar.



Gambar 1. Set-up Eksperimental

Gambar 1 menunjukkan *set-up* eksperimental peralatan uji. Air dari tangki 2 mengalir secara grafitasi dengan ketinggian 1000mm. *Flowmeter* digunakan untuk mengukur debit aliran. Pengaturan debit aliran dilakukan dengan mengatur katup-katup yang ada. Jarak pengukuran dari inlet adalah 600mm dengan memastikan aliran telah memasuki aliran berkembang sepenuhnya. Jarak pengukuran antara manometer adalah 1000mm, kemudian air dialirkan ke tangki 1 untuk kemudian dipompa menuju tangki 2. Pengujian dilakukan dengan tiga pipa persegi berbeda, pipa tanpa lapisan Agar, dengan lapisan Agar 1mm, dan dengan lapisan Agar 3mm. Pengujian dilakukan untuk rentang aliran laminar sampai memasuki permulaan aliran turbulen.

Rheologi Model

Shear stress (τ), sebanding terhadap gradien kecepatan, *shear rate* (γ), dideskripsikan sebagai model Newtonian :

$$\tau = \mu \gamma \quad (1)$$

Dimana μ , adalah viskositas dinamik. Viskositas Newtonian tergantung pada temperatur dan tekanan dan tidak tergantung pada *shear rate*. Viskositas didefinisikan sebagai rasio *shear stress* terhadap *shear rate*. Hubungan antara *shear stress* dan *shear rate* dideskripsikan dengan mengukur gradien penurunan tekanan dan laju aliran volumetrik dalam pipa persegi sebagai berikut :

$$\frac{D_h \Delta P}{4L} = \mu \frac{8u}{D_h} \quad (2)$$

Dimana, D_h adalah diameter hidrolis pipa dengan lapisan Agar, ΔP adalah gradien tekanan, L adalah panjang pengukuran pengujian, dan u adalah kecepatan rata-rata.

Koefisien gesek f , dideskripsikan menggunakan persamaan:

$$f = \frac{2\Delta P D_h}{L \rho u^2} \quad (3)$$

Dimana, f adalah koefisien gesek, dan ρ adalah massa jenis fluida. Definisi *Reynolds number* dalam pipa persegi adalah :

$$Re = \frac{\rho u D_h}{\mu} \quad (4)$$

Faktor koefisien dalam pipa persegi dinyatakan dengan persamaan Cornish [6]:

$$f = \frac{64}{Re} \times \left(\frac{3/2}{(1+e)^2} \left[1 - \frac{192}{\pi^5} e \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^5} \tanh\left(\frac{n\pi}{2e}\right) \right] \right) \quad (5)$$

Drag reduction dalam pipa diperoleh dengan persamaan :

$$DR = \left| \frac{f - f_{coating}}{f} \right| \times 100\% \quad (6)$$

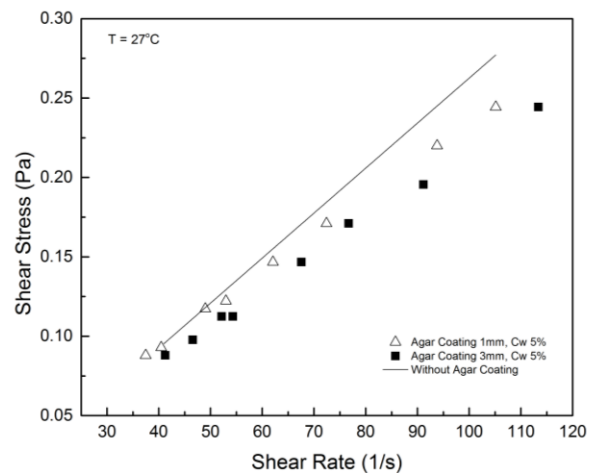
DR adalah pengurangan hambatan, $f_{coating}$ adalah faktor gesek dengan lapisan Agar. Konsentrasi larutan, C_w ditentukan berdasarkan rasio massa tepung Agar terhadap air untuk membuat jelly yang didefinisikan dengan :

$$C_w [\%] = \frac{M_n}{M_n + M_w} \times 100\% \quad (7)$$

M_n dan M_w menyatakan massa serbuk Agar dan massa air.

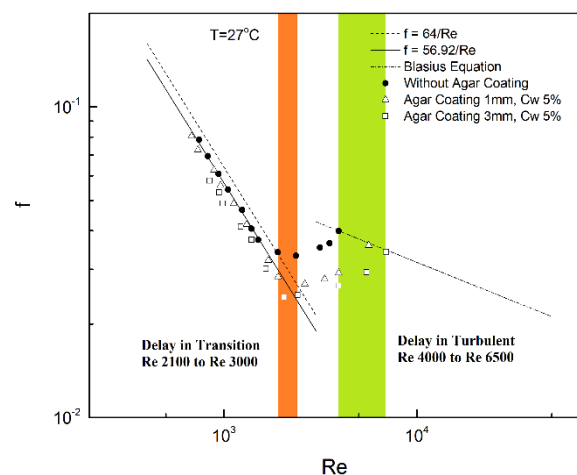
Hasil dan Diskusi

Karakteristik aliran air dalam pipa persegi dengan nilai koefisien e (perbandingan panjang dan lebar) = 1 dipelajari dengan memvariasikan ketebalan lapisan Agar 1mm dan 3mm pada konsentrasi massa larutan Agar 5%, dan juga mempelajari pengaruh konsentrasi larutan Agar dengan variasi 2% dan 5% dengan ketebalan 1mm.



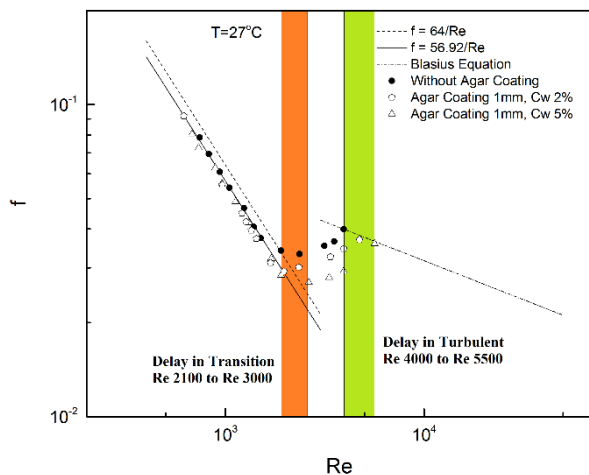
Gambar 2. Hubungan *shear rate* dan *shear stress* aliran dalam pipa

Gambar 2 menggambarkan hubungan antara gradien kecepatan (*shear rate*) dan *shear stress*. Gradien kecepatan berbanding lurus dengan *shear stress* untuk fluida Newtonian dan mempunyai hubungan linear. Berdasarkan grafik diketahui bahwa pipa dengan lapisan Agar mempunyai *shear stress* yang lebih rendah pada *shear rate* yang sama dibanding pipa tanpa lapisan Agar. Pada kecepatan yang sama, *shear stress* di lapisan Agar yang tebal lebih rendah dibanding lapisan yang tipis. Kecenderungan penurunan nilai *shear stress* dengan adanya lapisan Agar dan semakin menebalnya lapisan terjadi karena penurunan tekanan semakin kecil yang disebabkan terjadinya kecepatan slip pada fluida kontak langsung dengan lapisan Agar.



Gambar 3. Hubungan *Reynolds number* dan koefisien gesek untuk keseluruhan pipa uji dengan variasi tebal lapisan Agar

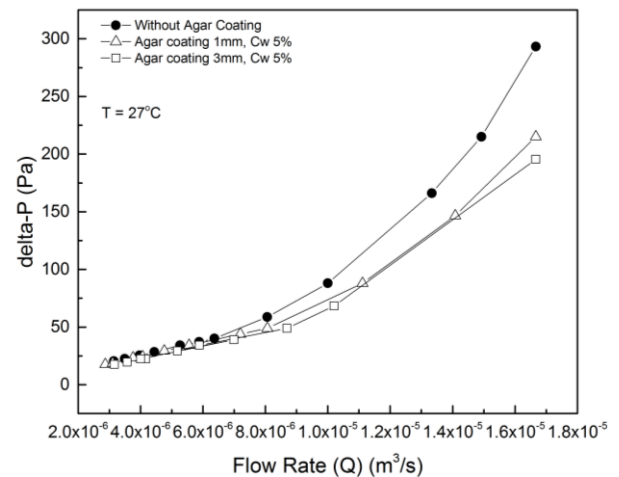
Hubungan antara koefisien gesek dan *Reynolds number* antara air, pipa dengan lapisan Agar 1mm, dan pipa dengan lapisan Agar 3mm dijelaskan pada gambar 3. penambahan lapisan Agar menyebabkan *Drag reduction*, hal ini terjadi karena pengaruh slip pada lapisan Agar. Dengan penambahan lapisan Agar, diameter hidrolis menjadi lebih kecil, *Drag reduction* semakin besar.



Gambar 4. Hubungan *Reynolds number* dan koefisien gesek untuk keseluruhan pipa uji dengan variasi konsentrasi larutan

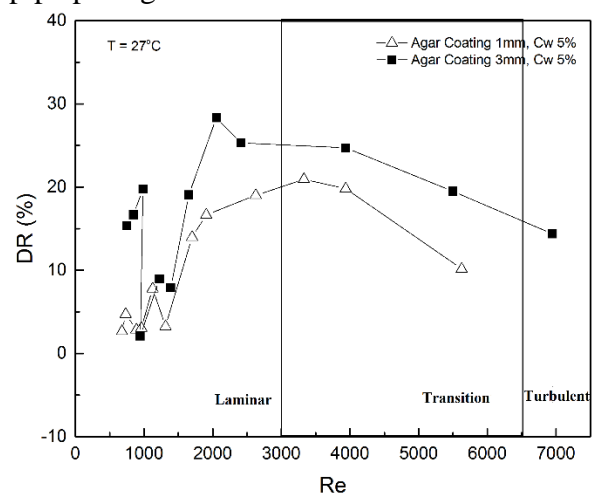
Gambar 4 memperlihatkan bahwa penambahan lapisan Agar dapat menyebabkan penurunan koefisien gesek. Selain itu efek dari penambahan lapisan Agar-Agar adalah adanya *delay* pada aliran laminar. Adanya *delay* ini menyebabkan *Reynolds number* semakin besar ketika memasuki aliran transisi. Hal ini menyebabkan koefisien gesekan pada *Reynolds number* tersebut lebih rendah dibandingkan dengan koefisien gesek pada pipa persegi tanpa lapisan Agar yang sudah memasuki fase transisi. Selain itu, efek dari penambahan lapisan Agar adalah fase transisi yang lebih besar dibandingkan dengan tanpa Agar. Terlihat pada gambar 3 dan 4 bahwa fase transisi pada pipa dengan penambahan lapisan Agar lebih tinggi pada *Reynolds number* tertentu. Data menunjukkan pipa dengan penambahan lapisan Agar memasuki fase turbulen pada *Reynolds number* yang lebih tinggi dibandingkan dengan pipa tanpa lapisan Agar. Pada konsentrasi gel Agar yang lebih tinggi, data-data menunjukkan efek yang lebih

besar dibandingkan dengan konsentrasi Agar yang lebih rendah. Hal ini menjelaskan bahwa dengan adanya penambahan lapisan Agar dapat mengurangi hambatan pada pipa tersebut. Selain itu, adanya pengurangan hambatan terjadi karena adanya pengaruh slip pada permukaan lapisan Agar pada dinding pipa persegi.



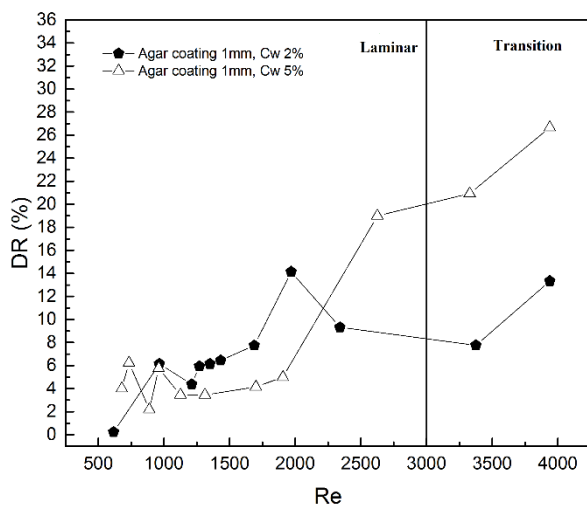
Gambar 5. Hubungan penurunan tekanan dan debit aliran untuk keseluruhan pipa uji

Hubungan antara penurunan tekanan dan debit aliran antara air, pipa dengan lapisan Agar 1mm, dan pipa dengan lapisan Agar 3mm dapat dijelaskan dengan gambar 5. Kerugian jatuh tekanan meningkat sesuai dengan kenaikan debit. Namun dengan semakin tebalnya lapisan Agar, kerugian tekanan tidak sebesar saat pipa tidak diberi lapisan Agar sama sekali. Dalam hal ini lapisan Agar menurunkan kerugian jatuh tekanan dalam pipa persegi.



Gambar 6. Hubungan *Reynolds number* dan *Drag reduction* dengan variasi tebal lapisan Agar

Berdasarkan gambar 6 *Reynolds number* dan *Drag reduction* bersifat fluktuatif. Pada *Reynolds number* sekitar 2000 *Drag reduction* mencapai puncaknya dan mengalami penurunan mulai kisaran 4000. Namun dapat dilihat bahwa semakin tebal lapisan Agar, semakin besar *Drag reduction* yang terjadi.

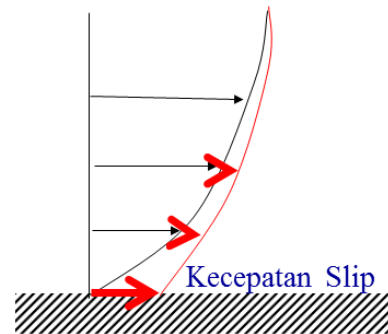


Gambar 7. Hubungan antara *Reynolds number* dan *Drag reduction* dengan variasi konsentrasi larutan

Gambar 7 menunjukkan bahwa *Reynolds number* dengan *Drag reduction* bersifat fluktuatif namun cenderung meningkat pada *Reynolds number* yang tinggi atau pada bagian aliran fase transisi.

Grafik memperlihatkan bahwa pada kisaran *Reynolds number* Re 500-1900 terjadi pengurangan hambatan sekitar 4%-8% pada lapisan Agar dengan Cw 2% sementara pengurangan hambatan sekitar 2%-6% pada lapisan Agar dengan Cw 5%. Hasil pengurangan hambatan pada kedua pipa uji dengan konsentrasi gel Agar berbeda tersebut tidak memiliki perbedaan yang signifikan pada aliran laminar namun untuk konsentrasi Cw 2% memiliki *Drag reduction* yang lebih tinggi. Pada kisaran *Reynolds number* $Re \geq 1900$ terjadi pengurangan hambatan sekitar 8%-14% pada lapisan Agar dengan Cw 2% sementara pengurangan hambatan sekitar 19%-27% pada lapisan Agar dengan Cw 5%. Hasil

pengurangan hambatan pada kedua pipa uji memiliki perbedaan pada aliran transisi. Lapisan Agar dengan konsentrasi Cw 5% memiliki nilai *Drag reduction* yang lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi Cw 2% pada Re 3938.



Gambar 8. Kecepatan slip pada kontak fluida dengan lapisan agar

Fenomena pengurangan hambatan ini terjadi karena timbulnya kecepatan slip pada kontak fluida dengan lapisan agar ditunjukkan pada gambar 8, yang menyebabkan profil aliran fluida pada dinding menjadi tidak nol atau memiliki kecepatan slip. Lapisan agar ini bersifat sebagai permukaan hidrofobik yang pada mulanya terinspirasi oleh lapisan sifat *water repellent* pada daun teratai.

Kesimpulan

Drag reduction yang diperoleh dengan penambahan lapisan Agar 1mm adalah 9% dan 15% untuk penambahan lapisan Agar 3mm *Reynolds number* sekitar 900-1000. *Drag reduction* bervariasi pada setiap kenaikan *Reynolds number*, *Drag reduction* terbesar untuk ketebalan lapisan Agar 1mm adalah 21% untuk Re sekitar 3300 dan *Drag reduction* terbesar untuk ketebalan lapisan Agar 3mm adalah 28% untuk Re sekitar 2055. Penambahan lapisan Agar yang semakin tebal menyebabkan *Drag reduction* semakin besar.

Perbedaan nilai *Drag reduction* terjadi pada setiap pipa uji dan nilainya semakin menurun dengan adanya lapisan agar terutama pada konsentrasi agar Cw 5%.

Drag reduction bervariasi pada setiap kenaikan *Reynolds number*, *Drag reduction* terbesar untuk konsentrasi lapisan Agar Cw 2% adalah 14% dengan Re sekitar 1900, dan

Drag reduction terbesar untuk konsentrasi lapisan Agar Cw 5% adalah 27% dengan *Re* sekitar 3900.

Penambahan lapisan Agar, selain menyebabkan *Drag reduction* juga menyebabkan *delay* saat masuk ke aliran transisi dan turbulen.

Penghargaan

Penelitian ini disponsori oleh Hibah Publikasi Internasional Terindeks untuk Tugas Akhir (PITTA) UI 2016, Depok, Indonesia.

Referensi

- [1] B.A. Toms, Some observations on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds numbers, Int. Congress on Rheology, Holland. 1948.Amsterdam. North I lolh.aid, (1949), Part 11, 135-141.
- [2] S. Ogata, T. Numakawa, dan T. Kubo, Drag reduction of bacterial cellulose suspensions, Adv. in Mechanical Eng. 1-6. (2011)
- [3] W.Mih dan J.Parker, Velocity profile measurements and phenomenological description of turbulent fiber suspension pipe flow, TAPPI, Vol. 50 (1967) 237-246.
- [4] Yanuar dan K.Watanabe, Toms Effect of Guar Gum Additive for Crude Oil in Flow Through Square Ducts. The 14 International Symposium on Transport Phenomena. Bali Indonesia. Elsevier (2004) P.599-603.
- [5] J.P. Zarling, An Analysis of Laminar Flow and Pressure Drop in Complex Shaped Ducts. Trans. ASME. Ser. I., (1976) 702-706.
- [6] R.J. Cornish, Flow in a Pipe of Rectangular Cross Section, Proc. Roy. Soc. London. Ser. A, 120. (1928), pp.691-700