

Koefisien Gesek Aliran Pada Saluran Persegi Panjang Berbahan Plastik Noryl

Ahmad Indra Siswantara, Mikhael Yonas, Timothy Erick

Departemen Teknik Mesin, Kampus-UI, Depok 16424

Telp.021-72720032, Fax.021-72720033

E-mail : a_indra@eng.ui.ac.id

Abstrak

Pada saat ini penggunaan solar water heater semakin populer, menuntut para produsen lebih inovatif dalam melakukan perancangan dan pemilihan bahan untuk peralatannya. Salah satu bahan yang sedang dikembangkan adalah absorber berbahan plastik noryl dengan penampang berbentuk persegi panjang. Bahan ini memiliki kelebihan: ringan, kuat dan murah dibandingkan dengan absorber berbahan tembaga. Sebagai pengganti absorber yang sudah ada, absorber berbahan noryl perlu diuji pada karakteristik koefisien gesek dan tekanan jatuhnya terhadap efek pengaruh aliran sekunder.

Hasil pengujian secara eksperimental menyatakan bahwa faktor gesek (f) absorber persegi panjang ($8,8 \times 9,7$ mm) berbahan plastik noryl bervariasi antara $6,58 \times 10^{-2}$ sampai dengan $3,71 \times 10^{-2}$ untuk kisaran bilangan Reynolds $3,7 \times 10^3$ sampai dengan $8,1 \times 10^3$. Munculnya fenomena aliran sekunder dengan (aspek rasio) $a/b < 1$ pada pipa berpenampang persegi panjang mengakibatkan perbedaan kecenderungan tekanan jatuh antara pipa berpenampang segiempat dan pipa berpenampang bulat.

Kata kunci : absorber, koefisien gesek, aliran sekunder.

Pendahuluan

Keterbatasan dan mahalnya sumber daya alam seperti gas alam dan bahan bakar fosil untuk keperluan rumah tangga telah memacu pemanfaatan energi lain yang jumlahnya tidak terbatas seperti energi matahari. Penggunaan energi matahari yang sedang populer saat ini adalah untuk keperluan rumah tangga seperti pada *solar water heater* atau pemanas air bertenaga matahari. Pemanas air bertenaga matahari menawarkan banyak kelebihan jika dibandingkan dengan yang bertenaga listrik karena dengan menggunakan energi matahari merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui, sehingga secara tidak langsung melestarikan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui.

Mengingat posisi Negara Indonesia disekitar garis khatulistiwa yaitu pada $6^{\circ}\text{LU} - 11^{\circ}\text{LS}$, maka Indonesia mempunyai sumber energi matahari berlimpah sepanjang masa. Berdasarkan hal tersebut maka pemanfaatan energi matahari perlu dikembangkan serta diterapkan secara meluas di negara ini.

Keperluan akan tersedianya air panas semakin meningkat terutama di hotel, rumah sakit, industri bahkan dalam rumah tangga. Pemanfaatan pemanas air tidak lagi merupakan perlengkapan mewah yang langka. Dalam hal penghematan energi listrik (sumber energi dari fosil) perlu dimasyarakatkan penggunaan pemanas air dengan energi surya (*solar water heater*). Untuk itu diperlukan adanya pemanas air yang murah, awet, tidak beracun serta ringan agar pemasangan instalasi alat menjadi lebih mudah.

Pada pengujian ini digunakan solar kolektor dengan bahan plastik noryl EN150SP yang berbeda dari solar kolektor yang pada umumnya terbuat dari tembaga. *Water Solar Collector* dengan bahan plastik (*Noryl*) semakin menarik untuk dikembangkan mengingat plastik *Noryl* memiliki sifat unggul yaitu ringan, kuat, murah serta tidak menimbulkan racun/polusi. Pada umumnya pemasangan peralatan dengan energi surya dilakukan di tempat-tempat yang mudah memperoleh sinar matahari seperti di atas atap bangunan. Dengan bahan plastik, membuat alat menjadi ringan serta mudah untuk diangkat serta dipasang pada atap bangunan serta tidak mudah pecah. Solarnor adalah istilah yang digunakan untuk *Water Solar Collector* dengan bahan plastik Noryl sebagai pelat absorber. Penggunaan plastik sebagai bahan *water solar collector* semakin diminati untuk dikembangkan mengingat sifat-sifat unggul yang dimiliki plastik tersebut antara lain : ringan, kuat, murah, tidak bersifat korosif, memiliki temperatur kerja sampai 150°C serta tidak bersifat racun.

Pelat absorber Noryl memiliki saluran fluida dengan penampang persegi panjang ($8,8 \times 9,7$ mm). Ukuran penampang saluran yang cukup kecil membuat aliran fluida cenderung bersifat

turbulen. Aliran yang bersifat turbulen mempermudah proses penyerapan kalor oleh fluida, sifat ini sangat menguntungkan dalam meningkatkan nilai *heat removal factor* dari *water solar collector*.

Sifat aliran serta proses perpindahan kalor dalam saluran pipa telah banyak dibahas, namun untuk saluran dengan penampang tidak bulat belum banyak dibahas. Untuk itu dalam penelitian ini direncanakan untuk meneliti secara eksperimental kasus aliran fluida (air) dalam saluran persegi serta penyerapan kalor oleh air dalam *Noryl absorber*.

Oleh karena konveksi panas dalam fluida mengalir sangat ditentukan oleh koefisien gesek fluida terhadap permukaan dalam saluran, maka untuk tahap pertama dilakukan percobaan untuk menentukan fungsi faktor gesek terhadap laju aliran fluida dalam absorber. Tujuan penelitian adalah mencari dan menentukan koefisien gesek (f) saluran plastik EN150SP dengan bentuk geometri persegi panjang 8,8 mm x 9,7 mm pada rentang aliran turbulen bilangan Reynolds $3,7 \times 10^3 < Re < 8,1 \times 10^3$.

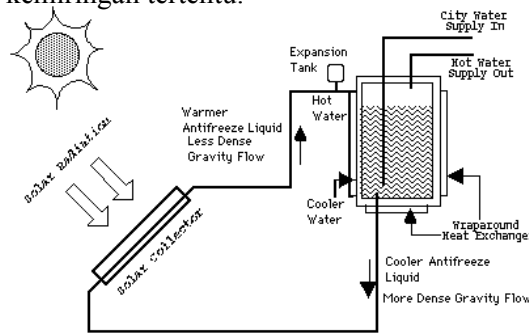
Metode penelitian dan perancangan alat

1. *Solar Water Heater*

Adalah suatu sistem yang digunakan untuk memanaskan air sebagai fluida kerja dengan memanfaatkan energi matahari. Suatu sistem pemanas tenaga matahari biasanya terdiri dari :

- a. solar kolektor, adalah plastik EN150SP untuk mengumpulkan energi panas dari matahari.
- b. fluida kerja, air digunakan untuk memindahkan panas dari solar kolektor ke penampungan.
- c. *reservoir*, digunakan untuk penyimpanan fluida yang sudah dipanaskan.

Untuk mengambil energi panas dari matahari, maka solar kolektor harus diletakkan pada atap dari suatu bangunan dengan kemiringan tertentu.



Gambar 1 Skema sistem pemanas air tenaga solar termosifon (tanpa pompa)

2 Absorber Noryl

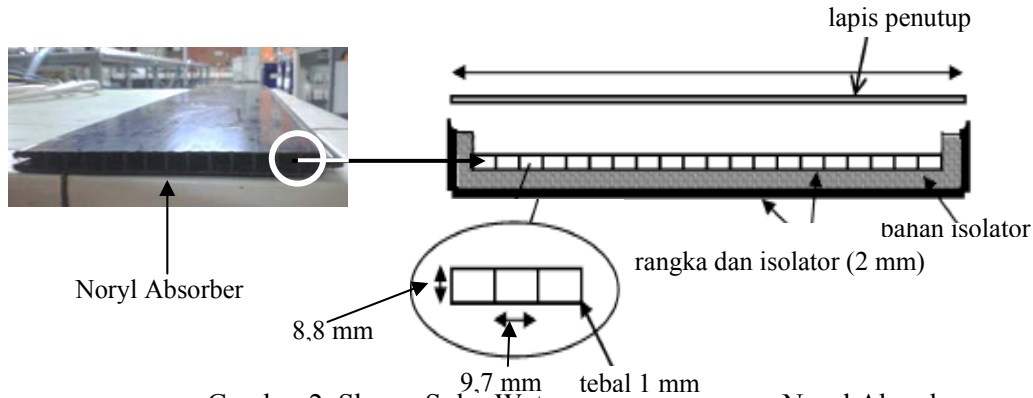
Noryl merupakan suatu resin plastik (Resin EN150SP) yang diproduksi oleh General Electric Plastics. Noryl merupakan bahan plastik yang kuat dan tidak mudah terbakar, temperatur bakar Noryl sekitar 900 °F lebih tinggi dibandingkan kayu dengan temperatur bakar 420 °F.

Tabel I Perbandingan Noryl dan pelat tembaga sebagai absorber *flat-plate solar collector*

Material absorber	Noryl	Tembaga
Koef. Ekspansi linier (K ⁻¹)	6x10 ⁻⁵	16.8x10 ⁻⁶
Kapasitas Panas (kJ/kg.K)	1.75	0.383
Konduksi Thermal (W/mK)	0.22	384
Absorptance (solar spektrum)	0.94	0.93
Pelapis	bebas	tertentu
Temperatur yang dihasilkan (°C)	20 - 60	40 - 80

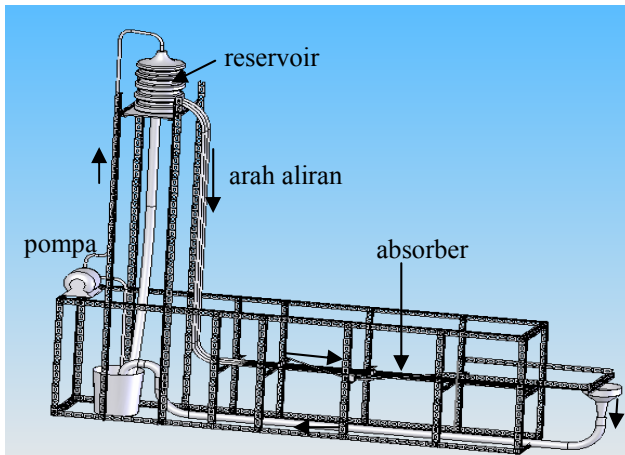
3. Perancangan Alat Uji

Pengujian dan pengambilan data solar kolektor berbahan plastik EN150SP dilakukan pada papan solar kolektor berbahan plastik EN150SP dengan menggunakan *setting* alat uji yang telah dibuat.

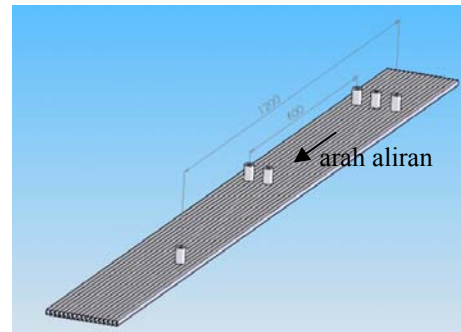


Gambar 2 Skema Solar Water Collector dengan Noryl Absorber

Pengambilan data dilakukan dengan mensirkulasikan fluida air masuk ke dalam papan solar kolektor berbahan plastik EN150SP dan data yang didapat adalah hasil penurunan tekanan (Δp) dan debit aliran (Q). Alat uji skala laboratorium yang dipakai menggunakan variasi bilangan Reynolds dengan rentang : $3,7 \times 10^3 < Re < 8 \times 10^3$



Gambar 3 Selang aliran *output*



Gambar 4 Jarak dudukan untuk pengukuran dengan pressure transducer

4. Kerugian Aliran Dalam Pipa

Penurunan tekanan dalam sebuah pipa tergantung pada tegangan geser dinding (τ_w) antara fluida dan permukaan pipa.

Bentuk ini sering dituliskan sebagai

$$\Delta p = f \frac{L}{D} \frac{\rho u^2}{2} \text{ (Pa)} \tag{1}$$

dimana bilangan tak berdimensinya (faktor gesekan) adalah

$$f = \Delta p \left(\frac{D}{L} \right) / \left(\frac{\rho u^2}{2} \right) \tag{2}$$

Untuk salurandengan penampang tidak bulat digunakan diameter hidrolis (D_h):

$$D_h = \frac{4A}{P} = \frac{4\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)}{\pi D} = D \text{ (m)} \quad (3)$$

Sehingga,
$$f = \Delta p \left(\frac{D}{L} \right) / \left(\frac{\rho u^2}{2} \right) \quad (4)$$

dan kekasaran relatif :
$$\frac{\varepsilon}{D_h}$$

Besarnya koefisien gesek diperoleh dari data tekanan yang dihasilkan oleh *pressure transducer* dengan interval pengambilan data 10 detik sebanyak 10 kali untuk setiap bilangan Reynolds. Bilangan Reynolds yang bervariasi antara $3,7 \times 10^3$ sampai dengan 8×10^3 dengan variasi jarak antara *pressure tap* sebesar 60 cm, 120 cm, 130 cm. Tabel dibawah ini menunjukkan hasil pengambilan data untuk jarak *pressure tap* (L) = 130 cm.

Karakteristik fluida yang digunakan pada percobaan ini adalah :

fluida : air (aqua), massa jenis (ρ) : $998,2 \frac{kg}{m^3}$, viskositas dinamik (μ) : $1 \times 10^{-3} \frac{N.s}{m^2}$

sedangkan geometri solar noryl EN150SP yang diukur adalah :

panjang : $9,7 \times 10^{-3}$ m, lebar : $8,8 \times 10^{-3}$ m, keliling : $3,7 \times 10^{-2}$ m, luas penampang : $8,54 \times 10^{-5}$ m

Untuk membandingkan nilai bilangan Reynolds dan faktor gesekan yang diperoleh dari percobaan lain perlu dicari diameter hidrolis dengan menggunakan Pers. (3) :

$$D_h = \frac{4A}{P}$$

$$D_h = \frac{4(8,54 \times 10^{-5})}{3,7 \times 10^{-3}}$$

$$D_h = 9,23 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Untuk mencari nilai faktor gesek, digunakan Pers. (4).

Data teoritis didapatkan dengan menggunakan persamaan pendekatan *Colebrook-White* (Miller, 1990) yang memiliki tingkat akurasi yang sangat mirip dengan persamaan *Colebrook-White* sehingga faktor gesekan dapat didapatkan secara langsung sebagai berikut :

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (5)$$

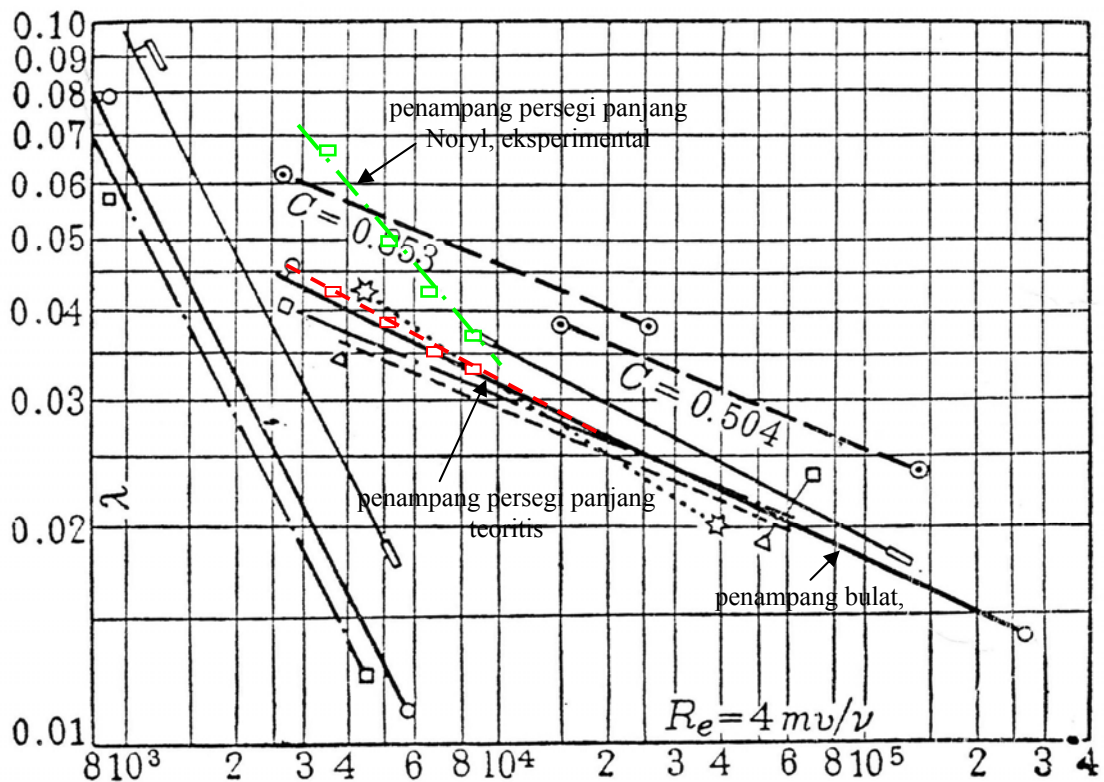
Dengan memasukkan $\varepsilon = Ra = 2,16 \times 10^{-6}$ m yang didapat dari pengujian kekasaran sehingga didapatkan perbandingan $\varepsilon/D = 2,34 \times 10^{-4}$.

Hasil dan pembahasan

Secara eksperimental akan diperoleh faktor gesek (f), yang didapatkan sebuah hubungan grafik antara faktor gesek (f) dengan bilangan Reynoldnya (Re) yang terjadi pada aliran transisi hingga turbulen, yaitu di sekitar bilangan Reynolds : $3,7 \times 10^3 < Re < 8 \times 10^3$ untuk percobaan pada saluran solar kolektor dengan jarak $L = 1,3$ m.

Tabel II. Perbedaan tekanan jatuh antara hasil uji eksperimental dan perhitungan secara teoritis

No	Bilangan Reynolds	f uji kekasaran	f uji eksperimental	selisih koefisien gesek (f)	selisih koefisien gesek (%)	Δp uji kekasaran (Pa)	Δp uji eksperimental (Pa)	selisih Δp (Pa)	selisih Δp (%)
1	8083.02	0.0332282	0.03708	0.00385	10.38	1805.7498	2015.24039	209.4906	10.40
2	7609.02	0.033788	0.03930	0.00551	14.03	1627.1398	1893.0972	265.9574	14.05
3	7204.37	0.0343075	0.04090	0.00659	16.12	1481.1022	1766.0118	284.9096	16.13
4	6867.19	0.0347737	0.04105	0.00628	15.30	1363.9971	1610.6852	246.6881	15.32
5	6419.39	0.035447	0.04307	0.00762	17.70	1214.9852	1476.5395	261.5543	17.71
6	5999.56	0.0361433	0.04554	0.00939	20.63	1082.1097	1363.5747	281.465	20.64
7	5150.06	0.0377971	0.05060	0.01280	25.30	833.8506	1116.4642	282.6136	25.31
8	4862.22	0.0384512	0.05174	0.01329	25.68	756.1065	1017.62	261.5135	25.70
9	4399.61	0.0396312	0.05793	0.01830	31.59	638.0727	932.8964	294.8237	31.60
10	3734.20	0.0416927	0.06581	0.02412	36.65	483.5708	763.4492	279.8784	36.66



Gambar 5 Faktor gesek (f) vs bilangan Reynolds (Re) pada solar kolektor berbahan plastik *noryl* EN150SP dibandingkan dengan hasil pengujian

Terlihat sebuah perbedaan kecenderungan dari grafik Re vs f antara data hasil uji eksperimental dengan data secara teoritis. Hal ini bisa terjadi karena jika mengacu pada perhitungan teoritis, persamaan-persamaan yang membentuk grafik teoritis tersebut mengacu pada persamaan *Colebrook-White* yang berkorelasi dengan diagram Moody. Grafik korelasi antara Re dan ϵ/D yang terdapat pada diagram Moody diperoleh dari hasil eksperimental yang diujikan pada saluran pipa dengan bentuk penampang bulat.

Diameter hidrolis (D_h) telah dibuktikan sama dengan diameter saluran pipa berpenampang bulat (D) sesuai dengan Pers. (3) akan tetapi persamaan secara teoritis untuk saluran berpenampang tak-bulat berdasarkan konsep diameter hidrolis (D_h) ini diduga memiliki indikasi bahwa pemahamannya

berbeda jika digunakan untuk perhitungan faktor gesek saluran berpenampang segi empat. Sebuah fenomena yang tak terjadi pada aliran di dalam pipa berpenampang bulat adalah fenomena *secondary flow* (aliran sekunder). Pada saluran berpenampang persegi panjang, aliran sekunder ini muncul akibat gradien dari *Reynolds stress* yang menyebabkan penyebaran aliran-aliran sel bergerak masuk ke dalam sepanjang sudut dinding. Perbedaan kecenderungan antara data teoritis dan eksperimental ini salah satunya disebabkan oleh fenomena aliran sekunder ini. Fenomena pembentukan aliran sekunder ini menyebabkan perpindahan fluida dari daerah tegangan geser yang rendah ke daerah tegangan geser tinggi. Perbedaan antara tekanan jatuh yang terukur secara eksperimental dibandingkan dengan tekanan jatuh yang didapat dari hasil pengukuran dengan menggunakan perhitungan teoritis

Tabel II memperlihatkan selisih yang cukup besar mulai pada bilangan Reynolds $Re = 5,15 \times 10^3$. Merujuk pada diagram Moody pada aliran yang melalui saluran berpenampang bulat pada bilangan Reynolds : $2,1 \times 10^3 \leq Re \leq 4,2 \times 10^3$, aliran memasuki daerah transisi dari laminar ke turbulen sehingga di dapat kecenderungan yang sedikit menukik pada daerah transisi ini. Sedangkan pada saluran penampang persegi panjang, daerah transisi sudah terjadi saat bilangan Reynolds mencapai angka $Re \leq 5,15 \times 10^3$ yang apabila diperhatikan memiliki kecenderungan yang hampir menyerupai dengan kecenderungan aliran laminar pada diagram Moody untuk saluran berpenampang bulat.

Pada pekerjaan eksperimental kemungkinan kesalahan dan ketelitian pengujian penggunaan alat bantu pengukuran sangat mempengaruhi hasil pengambilan data. Kesalahan-kesalahan yang mungkin terjadi bisa terjadi akibat beberapa faktor yang mempengaruhi, antara lain :

1. Pengukuran debit aliran masih dilakukan secara manual yaitu dengan menggunakan gelas ukur dan *stopwatch*.
2. Faktor pengotoran berupa lumut yang dapat mengganggu dan mempengaruhi profil dari tegangan geser pada dinding saluran bagian dalam.

Pengambilan data tekanan jatuh yang menggunakan *pressure transducer* dengan keluaran digital menggunakan multimeter hanya memiliki tingkat ketelitian 2 digit angka di belakang koma. Hal ini cukup berpengaruh terhadap pengambilan data tekanan jatuh yang merupakan bagian dari variabel faktor gesek (f).

Efek dinding pada saluran persegi panjang juga memegang peran yang penting karena adanya pengaruh dari sudut saluran. Pada daerah sudut-sudut, kecepatan jatuhnya (*velocity drop*) sangat besar karena disebabkan oleh adanya tegangan geser viskos (*viscous shear stress*) dari gradien kecepatan akibat dua buah bidang yang saling bersatu secara tegak lurus (*adjoining walls*) dan saling berlawanan dengan bidang lainnya.

Seperti kita tahu bahwa adanya aliran sekunder di dekat sudut penampang terjadi karena adanya fluktuasi aliran turbulen. Tetapi hal ini memiliki pengaruh yang relatif kecil terhadap kecenderungan koefisien gesek. Perbandingan aspek rasio dari penampang segiempat mempengaruhi fenomena dari penurunan kecenderungan koefisien gesek ini. Terlihat pada Gb. 5 bahwa semakin kecil aspek rasionya (tinggi berbanding lebar penampang) maka kecenderungan koefisien geseknya akan semakin besar dibandingkan dengan saluran berpenampang bulat dengan karakteristik fluida yang sama, sedangkan untuk aspek rasio sama dengan satu ($\frac{a}{b} = 1$) kecenderungan koefisien gesek aliran dalam saluran segiempat samasisi berada sedikit di bawah kecenderungan koefisien gesek saluran berpenampang bulat yang terlihat hampir segaris. Saluran segiempat yang dipakai pada percobaan memiliki aspek rasio sebagai berikut :

$$\frac{a}{b} = \frac{8,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{9,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 0,907$$

Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

1. Berarnya koefisien gesek (f) saluran plastik EN150SP dengan bentuk geometri segiempat 88 mm x 97 mm hasil uji eksperimental adalah sebagai berikut :

- Pada rentang aliran turbulen dengan bilangan Reynolds : $3,7 \times 10^3 < Re < 8,1 \times 10^3$ adalah $3,71 \times 10^{-2} < f < 6,58 \times 10^{-2}$ (jarak *pressure tap* = 1,3 m).
 - Pada rentang aliran turbulen dengan bilangan Reynolds : $7 \times 10^3 < Re < 8,1 \times 10^3$ adalah $4,33 \times 10^{-2} < f < 5,09 \times 10^{-2}$ (diuji pada saluran ke-3 dengan jarak *pressure tap* = 0,6 m).
 - Pada rentang aliran turbulen dengan bilangan Reynolds : $7 \times 10^3 < Re < 8,1 \times 10^3$ adalah $4,27 \times 10^{-2} < f < 5,07 \times 10^{-2}$ (diuji pada saluran ke-7 dengan jarak *pressure tap* = 0,6 m).
 - Pada rentang aliran turbulen dengan bilangan Reynolds : $7 \times 10^3 < Re < 8,1 \times 10^3$ adalah $4,34 \times 10^{-2} < f < 5,09 \times 10^{-2}$ (jarak *pressure tap* = 1,2 m).
2. Pada solarnor dengan penampang persegi panjang terjadi aliran sekunder yang menyebabkan terjadinya perbedaan kecenderungan nilai tekanan jatuh yang didapatkan dari perhiungan teoritis dengan hasil ekperimental. Hal ini mengindikasikan bahwa tekanan jatuh (*pressure drop*) pada saluran berpenampang persegi panjang tidak hanya dipengaruhi oleh koefisien gesek dari material saja, tetapi juga dipengaruhi oleh adanya fenomena aliran sekunder dengan aspek rasio = 0,907. Persentase perbedaan perhitungan koefisien gesek hasil uji eksperimental pada saluran berpenampang persegi panjang dibandingkan dengan nilai koefisien gesek hasil perhitungan dari persamaan Colebrook (persamaan untuk saluran berpenampang bulat) adalah sebesar 10 – 37 % untuk jangkauan bilangan Reynolds : $3,7 \times 10^3 < Re < 8,1 \times 10^3$.

Daftar Pustaka

1. Miller, D.S., 1990, *Internal Flow Systems 2nd edition*, BHRA, Bedford .
2. Munson, Bruce R., Young, Donald F., Okiishi, Theodore H., 2005, *Mekanika Fluida*, Edisi Keempat terj. Harinaldi, Budiarmo, Erlangga, Jakarta .