

M6-013 Karakteristik Aliran Udara Pada Saluran (*Duct*)

Berbahan Tekstil *Polyester* Lokal

Warjito*, Rusdy Malin**, Budihardjo**, Dicky J. S.* dan Nico D.*

*Laboratorium Mekanika Fluida, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

**Laboratorium Teknik Pendingin dan Refrijerasi, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI – 16424, Indonesia

Telp: 021-7270032

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

ABSTRAK

Tekstil merupakan salah satu bahan alternatif untuk membuat saluran udara (duct). Dibandingkan dengan saluran udara konvensional yang terbuat dari logam, tekstil mempunyai keunggulan yaitu ringan dan murah biaya instalasi dan pemeliharaan serta mempunyai nilai estetika yang tinggi. Namun demikian informasi tentang karakteristik aliran pada duct jenis ini yang penting untuk desain belum banyak tersedia, sehingga penelitian dibidang ini menjadi sangat penting untuk dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk memahami karakteristik fisik bahan tekstil polyester lokal dan karakteristik alirannya. Penelitian dilakukan dengan menggunakan air flow experiment apparatus. Karakteristik fisik yang diukur meliputi permeabilitas dan kekasaran permukaan. Sedangkan karakteristik aliran yang diteliti adalah pressure drop dan distribusi kecepatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekstil polyester lokal mempunyai permeabilitas yang baik dan kedap sehingga dapat digunakan sebagai bahan ducting. Pengukuran kerugian gesek menghasilkan suatu air friction chart yang menunjukkan hubungan antara kerugian gesek dan panjang saluran. Informasi dalam chart ini sangat penting untuk mendesain air ducting system dengan bahan tekstil.

Keywords : Tekstil, polyester, permeabilitas, pressure drop dan distribusi kecepatan.

1. Pendahuluan

Bahan *Ducting* yang digunakan saat ini didominasi oleh material metal. Namun demikian saat ini mulai banyak dikembangkan dan digunakann *ducting* dengan bahan tekstil (*textile ducting*). Berbeda dengan *metal ducting* yang berupa saluran dengan *diffuser* pada beberapa tempat yang diinginkan, *textile ducting* digunakan baik sebagai *duct* sekaligus *diffuser* sehingga udara dapat keluar di sepanjang saluran, dengan demikian distribusi udara dingin menjadi merata.

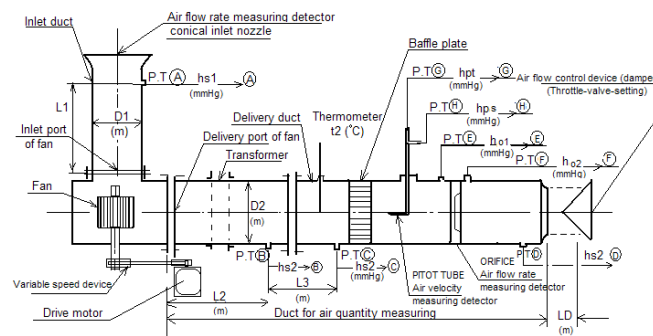
Textile ducting memiliki beberapa kelebihan, baik secara teknis, ekonomis maupun estetika. Secara teknis, *textile ducting* dapat menghasilkan distribusi udara yang lebih merata dengan demikian memberikan kenyamanan yang lebih baik. Instalasi dan pemeliharaan *textile ducting* juga lebih mudah dan lebih murah sehingga dapat menjadi salah satu cara untuk menekan biaya gedung. Dengan berbagai pilihan warna, maka dengan pemilihan dan penyesuaian warna yang baik *textile ducting* dapat dibuat menjadi elemen estetika ruangan.

Textile ducting yang saat ini banyak digunakan di Indonesia merupakan tekstil impor. Sebenarnya terdapat tekstil produk dalam negeri yang potensial untuk digunakan sebagai *textile ducting*, namun belum tersedia informasi data karakteristik dari bahan tersebut untuk aplikasi *ducting*. Dengan demikian penelitian untuk mengetahui karakteristik tekstil lokal sebagai bahan *ducting* menjadi sangat penting dilakukan, sehingga dimasa depan material tekstil lokal dapat digunakan sebagai bahan *ducting*.

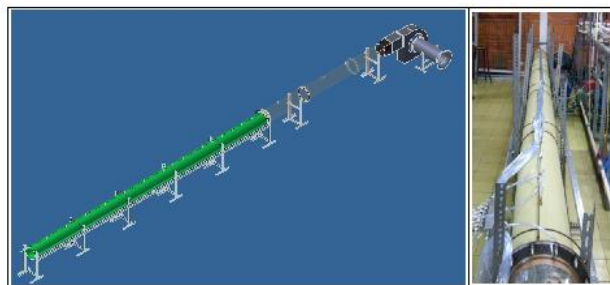
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik *ducting* berbahan tekstil lokal: permeabilitas dan besarnya kerugian gesek (*friction loss*). Dengan data-data yang diperoleh dan analisis yang dilakukan terhadap data-data tersebut maka nantinya akan diperoleh informasi mengenai karakteristik kerugian gesek pada *textile duct* yang diujikan. Informasi ini penting untuk diketahui karena kerugian gesek merupakan salah satu faktor yang penting dalam perancangan instalasi *textile ducting*, seperti: merancang panjang *duct*, diameter *duct*, serta jumlah *orifice* pada *textile ducting* jenis *high throw*.

2. Set Up Penelitian

Set up peralatan uji berupa *air flow demonstration apparatus*[1] yang dimodifikasi sehingga sesuai dengan kebutuhan penelitian ini. Peralatan uji terdiri dari fan, *variable speed device*, motor listrik, *delivery duct*, tabung pitot dan test section berupa *duct* tekstil seperti terlihat pada gambar 1. Agar pengujian lebih realistis sesuai dengan tipikal temperatur pada *ducting AC*, maka pada bagian *inlet* dipasang DX evaporator. Pemasangan evaporator di *inlet* ini menghasilkan *moisture* yang dapat terhisap masuk oleh blower, oleh karena itu untuk mencegah *moisture* ini masuk ke dalam sistem maka dipasang juga *drift eliminator* pada jalur masuk udara.



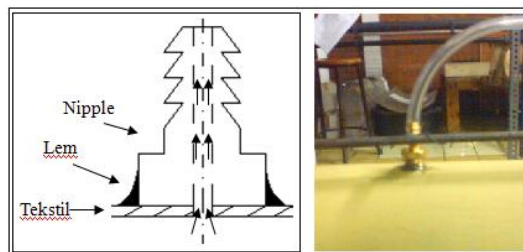
Komponen Air Flow Demonstration Apparatus
Sumber : Buku manual AFD-240GTAE



Gambar 1. Set up peralatan uji

Diameter *textile duct* adalah 10 inch. Panjang dari *textile duct* yang digunakan sebagai *test section* dalam penelitian ini adalah 6 meter. Di sepanjang *textile duct* dipasang 16 buah *pressure tap*. Pada 10 *tap* pertama, jarak antara *tap* adalah 250 mm, sedangkan untuk 6 *tap* selanjutnya jarak antar *tap*-nya 500 mm. Penempatan *pressure tap* yang lebih rapat di bagian awal ini dilakukan untuk mengantisipasi kemungkinan adanya gradien perubahan tekanan yang besar pada daerah masuk (*entrance region*) dari *test section* ini.

Tekanan statis sepanjang *duct* diukur dengan menggunakan manometer. Orientasi dan posisi *pressure tap* tegak lurus terhadap aliran serta tidak membuat gangguan dalam aliran agar didapat nilai *static pressure* yang *valid*. Dalam penelitian ini, pemasangan *pressure tap* pada *textile ducting* menggunakan lem, seperti pada Gambar 2, sehingga permukaan bagian dalam *textile ducting* tetap mulus (*flush mounted*). *Pressure tap* ini selanjutnya dihubungkan ke *manifold* dengan menggunakan selang/*hose*. Dari *manifold*, terdapat satu selang yang dihubungkan ke manometer miring (*inclined manometer*) untuk mengukur tekanan.



Gambar 2. Skema pemasangan *pressure tap*

Debit aliran udara divariasikan dengan memvariasikan kecepatan putar fan dengan mengatur *variable speed device*.

Tekstil yang digunakan pada penelitian ini adalah tekstil lokal yaitu tekstil *taslan balon* [2,3] yang memiliki *coating* pada bagian dalamnya. Bahan tekstil ini memiliki berat 0.2 kg/m^2 .

Untuk mengetahui sifat permeabilitas tekstil, dilakukan uji permeabilitas sesuai ASTM D737 (*Standard Test Method for Air Permeability of Textile Fabrics*) [4]. Permeabilitas udara menjadi suatu hal yang penting di sini karena apabila tekstil yang digunakan bersifat *air permeable* (permeabel terhadap udara) maka udara akan dapat menembus *textile duct*. Sifat *air permeable* ini tidak cocok untuk *textile ducting* jenis *high throw* yang menggunakan *orifice* untuk lubang keluar udara [5]. Hasil uji permeabilitas menunjukkan bahwa tekstil ini *non-permeable* dan dapat digunakan sebagai *high throw textiles ducting*. Tekstil ini mampu menahan tekanan hingga 50 mm H₂O pada uji ASTM D737, sementara tekanan batas minimal adalah 12.5 mm H₂O untuk dinyatakan *non-permeable*.

Kekasaran tekstil diukur sesuai Standar ASTM E1364 - 95(2005). Hasil pengukuran menunjukkan kekasaran bahan tekstil jenis *taslan* adalah $12.32 \text{ }\mu\text{m}$.

Kerugian Gesek

Kerugian gesek dihitung dengan menggunakan persamaan *Darcy-Weisbach* [6].

$$FL = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

dimana,

FL = Kerugian gesek (m)

f = Darcy-Weisbach *friction factor*

L = panjang *duct* (m)

D = diameter *duct* (m)

V = kecepatan udara (m/s)

g = percepatan gravitasi (9.8 m/s²)

Nilai f merupakan parameter yang belum diketahui untuk bahan taslan lokal ini, sehingga perlu dicari agar perancangan *textile ducting* dengan bahan ini dapat dilakukan. Dengan memperoleh nilai FL dari eksperimen, maka nilai f dapat dihitung.

Penentuan nilai f juga dapat dilakukan, apabila diketahui kekasaran permukaan dari material. Ini dilakukan dengan menggunakan rumus *Colebrook (Colebrook-White)* [6] sebagai berikut:

$$(2) \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7 D_h} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

dimana,

D_h = diameter hidrolis (untuk *duct* digunakan diameter dalam)

ε = kekasaran permukaan

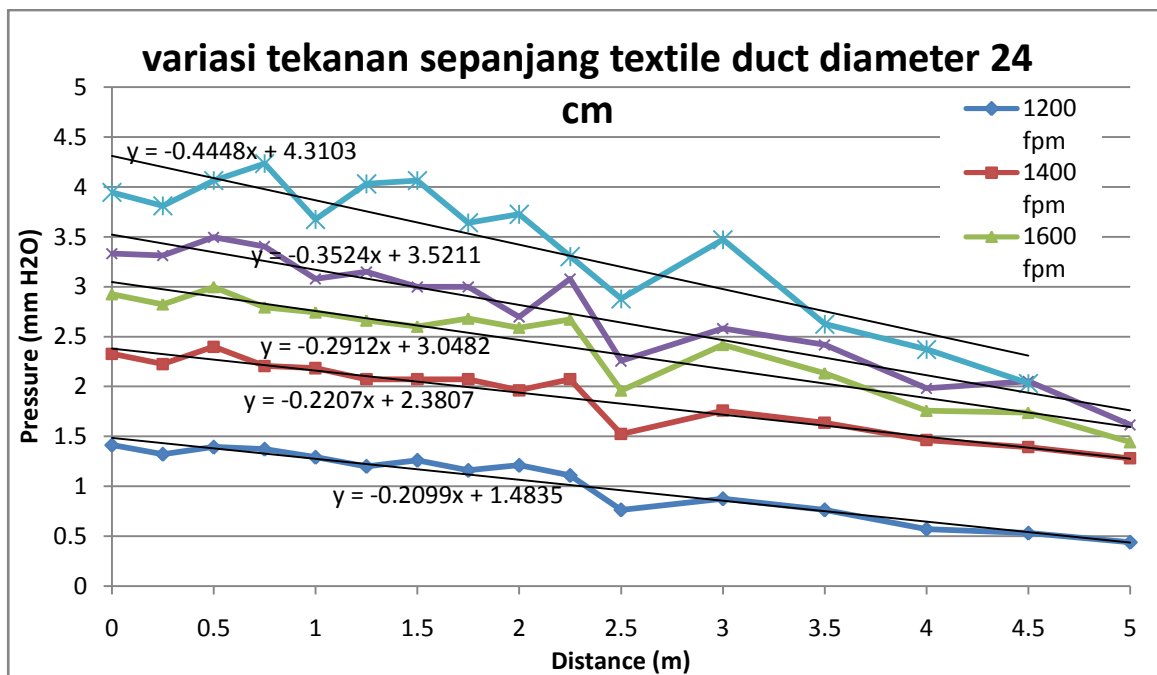
Rumus *Colebrook* ini adalah rumus yang digunakan untuk aliran turbulen, sesuai dengan kondisi aliran pada *textile ducting*. Dari rumus ini, terlihat bahwa f merupakan fungsi dari bilangan *Reynolds* dan kekasaran relatif.

3. Hasil dan Analisa

Sepanjang saluran lurus, tekanan statik dalam *duct* bervariasi dimana tekanan semakin berkurang terhadap penambahan jarak. Ini disebabkan oleh adanya gesekan pada dinding *duct*. Jatuh tekanan (*pressure drop*) karena adanya gesekan antara fluida dengan dinding inilah yang disebut dengan kerugian gesek atau *friction loss*. Kerugian gesek ini merupakan *major loss* pada aliran didalam pipa atau *duct*.

Percobaan pengukuran kerugian gesek ini dilakukan pada daerah yang telah berkembang penuh (*fully developed*). Pada daerah yang berkembang penuh ini, gradien penurunan tekanan terhadap jarak adalah linear. Oleh karena itu, data yang diperoleh dari eksperimen kemudian diplot ke grafik untuk dibuat *trendline* linearnya. Dari persamaan *trendline* inilah diperoleh harga jatuh tekanannya.

Dari percobaan yang dilakukan, tekanan didalam *textile duct* menurun terhadap pertambahan jarak panjang sebagaimana ditampilkan grafik pada Gambar 3.



Gambar 3. Variasi tekanan terhadap jarak

Dengan menggunakan persamaan *Darcy-Weisbach* maka dapat dicari nilai dari *friction factor* (f) spesifik untuk bahan *textile ducting* dengan bahan taslan ber-coating seperti yang diuji ini. *Pressure drop* per satuan panjang (mm H₂O/m) pada tiap-tiap kecepatan yang diujikan dalam eksperimen besarnya adalah sesuai gradien *trendline* masing-masing grafik. Nilai jatuh tekanan yang digunakan pada perhitungan adalah berdasarkan gradien *trendline* dan bukan berdasarkan beda tekanan dari antara dua *tap*. Hal ini dimaksudkan untuk meminimalkan resiko kesalahan karena kerusakan atau gangguan pada *tap*.

Dengan rumus *Darcy-Weisbach*, *friction loss* yang diperoleh adalah dalam satuan *head*/kolom dari fluida yang mengalir didalam pipa atau *duct* yang bersangkutan. Karena fluida yang mengalir didalam *duct* adalah udara maka besarnya *friction loss* adalah dalam satuan *head* udara. Pada umumnya dalam aplikasi *ducting* nilai tekanan dinyatakan dalam *head* air (H₂O) dan bukan *head* udara walaupun yang mengalir adalah udara, maka nilai f hasil penelitian ini diubah menjadi *friction loss* dalam satuan *head* air (mm H₂O atau in. H₂O). Nilai dari f untuk *head* air kira-kira seperseribu dari f untuk *head* udara, karena untuk menghasilkan tekanan yang sama air membutuhkan kolom (*head*) setinggi seperseribu dari tinggi kolom yang dibutuhkan udara. Hubungan tersebut dapat diperoleh dari persamaan di bawah ini.

$$\frac{f \text{ untuk head udara}}{f \text{ untuk head air}} = \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{udara}}} \approx \frac{1.2}{1000} \tag{3}$$

Oleh karena penelitian ini bertujuan untuk memperoleh *friction loss* dalam satuan *head* air (mm H₂O atau in H₂O) sebagaimana umumnya dalam perancangan *textile ducting*, maka nilai f yang dicari dan dianalisis adalah nilai f untuk memperoleh *friction loss* dalam *head* air. Tabel 1

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

menunjukkan nilai f yang dihitung dengan persamaan *Darcy-Weisbach* dengan data friction loss hasil pengukuran.

Tabel 1. Nilai f hasil eksperimen

| Q (m ³ / s) | V (m/ s) | Re | friction loss (mmH ₂ O/m) | friction loss (mH ₂ O /m) | f (head H ₂ O) (10 ⁻⁵) |
|------------------------------|----------------|-----|---|---|---|
| 0.27 | 6.0 | 925 | 0.209 | 0.0002 | 2.7 |
| 0.32 | 7.0 | 108 | 0.22 | 0.0002 | 2.1 |
| 0.37 | 8.1 | 126 | 0.291 | 0.0002 | 2.0 |
| 0.40 | 8.8 | 136 | 0.352 | 0.0003 | 2.1 |
| 0.45 | 10. | 154 | 0.444 | 0.0004 | 2.1 |

Selain melalui eksperimen jatuh tekanan, perhitungan nilai f juga dapat diperoleh menggunakan rumus *Colebrook*. Dengan mengetahui terlebih dahulu data kekasaran permukaan dari material maka nilai f dapat dihitung dengan rumus *Colebrook* tersebut. Material *textile duct* yang diuji ini, yaitu taslan, memiliki kekasaran permukaan sebesar 12,32 mikrometer berdasarkan pengujian di laboratorium. Tabel 2 menunjukkan nilai f hasil perhitungan dengan persamaan *Colebrook*.

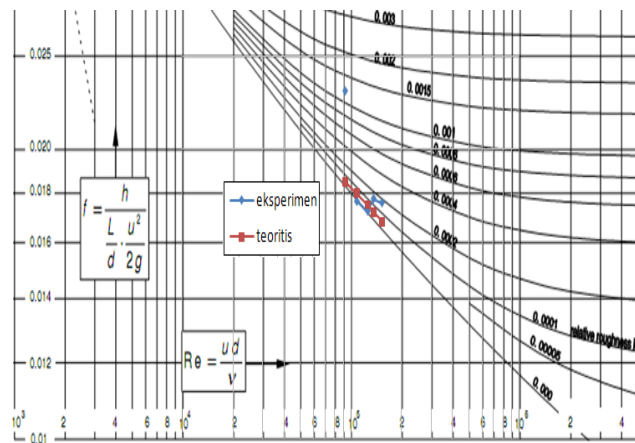
Tabel 2 Nilai f untuk diplot ke *Moody chart*

| Re | f exp. (head H ₂ O) | f exp. (head udara) | f colebrook (head udara) |
|--------|--|-----------------------------|----------------------------------|
| 92502 | 0.000027 | 0.023 | 0.0185 |
| 108355 | 0.000021 | 0.0176 | 0.018 |
| 126055 | 0.000020 | 0.0172 | 0.0175 |
| 136675 | 0.000021 | 0.0177 | 0.0172 |
| 154067 | 0.000021 | 0.0176 | 0.0168 |

Grafik pada Gambar 4 menunjukkan perbandingan antara nilai f hasil eksperimen dan nilai f yang diperoleh dengan rumus *Colebrook* yang sudah disesuaikan untuk satuan kolom air (head H₂O) di plot dalam diagram *Moody*.

Nilai dari f hasil eksperimen ternyata terletak di sekitar nilai *Colebrook*-nya, dan cenderung lebih besar.

Perbedaan kedua nilai f ini dapat disebabkan oleh kekasaran permukaan yang tidak seragam di sepanjang *textile duct*. Sesuai dengan rumus *Colebrook* atau juga dapat dibaca pada *Moody chart*, f yang merupakan fungsi bilangan *Reynolds* dan kekasaran relative, akan meningkat nilainya apabila pada bilangan *Reynolds* yang sama nilai dari kekasaran relatif pipa lebih besar.



Gambar 4. Perbandingan nilai f Colebrook dengan nilai f eksperimen

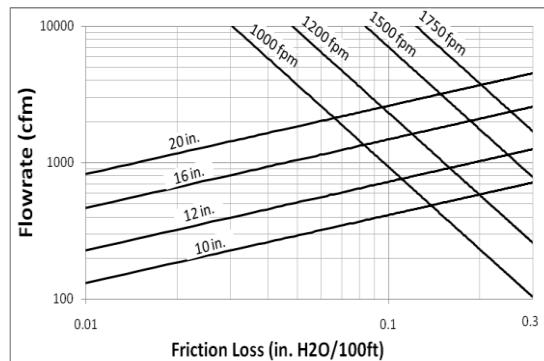
Perbedaan kedua nilai ini juga dapat disebabkan oleh adanya kemungkinan-kemungkinan gangguan atau perubahan bentuk (deformasi) dari *textile duct*, mengingat *duct* dengan bahan tekstil ini sangat mudah berubah bentuknya yang tentunya akan mempengaruhi pola aliran dan kemudian parameter-parameter aliran lainnya. Gangguan-gangguan yang mungkin terjadi dalam instalasi *textile ducting* antara lain adalah jahitan-jahitan dan persambungan-persambungan serta kemungkinan lipatan maupun sedikit perubahan *cross sectional area* di sepanjang *duct* karena proses penyambungan/penjahitan yang tidak sempurna.

Hasil ini menunjukkan bahwa rumus *Colebrook* atau *Moody chart* dapat digunakan untuk menaksir f bahan tekstil taslan produk lokal.

Nilai f yang diperoleh dari eksperimen ini hanya berlaku pada Reynolds regime yang diujikan, yaitu antara 92000 sampai 154000. Secara praktis nilai faktor gesekan ini dapat digunakan pada berapa saja ukuran diameter *duct* dan kecepatan inlet selama masih dalam jangkauan bilangan *Reynolds* tersebut. Untuk *textile ducting*, range bilangan *Reynolds* sebesar ini sudah dapat digunakan pada perancangan karena *textile ducting* bekerja pada kecepatan yang relatif rendah, 1000 fpm – 1500 fpm (5 m/s – 7.5 m/s), terkait dengan kekuatan dari material tekstil.

Untuk keperluan praktis, berdasarkan data-data hasil penelitian dibuat “*friction chart textile duct taslan*”, seperti ditunjukkan pada gambar 5. *Friction chart* merupakan suatu *chart* yang menunjukkan hubungan antara besarnya kerugian gesek pada *duct* persatuan panjang dengan *flowrate*, diameter *duct* serta kecepatan alirannya. *Chart* ini sangat membantu dalam perancangan instalasi *ducting*.

Dari data-data pada tabel 1, diambil satu nilai yang dapat mewakili data-data tersebut yaitu sebesar 2.1×10^{-5} . Dengan satu nilai f yang digunakan secara umum tanpa memperhatikan bilangan *Reynolds*-nya, maka dapat dibuat prediksi *friction chart* untuk berbagai ukuran *duct* serta kecepatan aliran. Gambar 5 berikut ini merupakan *friction chart* untuk *textile duct* berbahan taslan, yang dihasilkan dengan perhitungan rumus *Darcy-Weisbach* menggunakan harga rata-rata f hasil eksperimen.



Gambar 5. Friction chart textile duct taslan

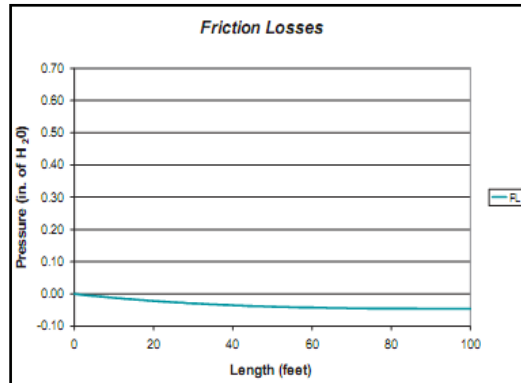
Range kecepatan dan ukuran diameter *duct* dibatasi pada harga-harga tersebut untuk menghindari semakin membesarnya kesalahan (*error*). Kesalahan ini dikarenakan harga-harga f dari hasil eksperimen yang kemudian diambil nilai rata-ratanya tersebut hanya diambil pada suatu Reynolds *regime* yang relatif sempit. Sumber perambatan kesalahan yang lainnya dapat disebabkan pengaruh perubahan diameter *duct* karena nilai dari f pada aliran turbulen selain merupakan fungsi dari kekasaran permukaan juga merupakan fungsi dari diameter *duct*.

Data hasil eksperimen dengan diameter *duct* 10 inci pada 1200 fpm menunjukkan jatuh tekanan sebesar 0,034 in. H₂O sepanjang 16,4 ft (5 m) yang berarti pada sepanjang 100 ft jatuhnya adalah sebesar 0,21 in. H₂O. Nilai ini tidak terlalu jauh dari nilai yang ditunjukkan *friction chart* (0,2 in. H₂O). Dengan demikian, secara praktis *chart* ini telah dapat digunakan dalam perhitungan atau estimasi besarnya kerugian gesek pada *textile duct* berbahan *taslan*. Namun untuk memperoleh hasil yang lebih akurat sesuai dengan nilai bilangan Reynolds dari aliran, tetap dapat dilakukan perhitungan menggunakan rumus *Darcy-Weisbach* dengan nilai f pada bilangan Reynolds tersebut.

Sebagai pembandingan, diambil data kerugian gesek dari rata-rata produk *textile duct* dari *DuctSox*. Gambar 6 merupakan grafik yang menunjukkan variasi perubahan tekanan terhadap jarak pada *textile duct* produksi *DuctSox*. Grafik karakteristik kerugian gesek ini adalah berdasarkan produk *textile duct* ukuran diameter 24 inci, panjang 100 ft, dengan udara suplai 5000 cfm. Grafik ini menunjukkan gradien jatuh tekanan yang semakin mengecil dengan semakin bertambahnya jarak pada *duct*. Hal ini karena *textile duct* yang diujikan untuk memperoleh grafik ini adalah *textile duct* yang tertutup di bagian ujungnya, sehingga udara melambat hingga akhirnya di ujung (*end cap*) kecepatan menjadi nol. Karena kerugian gesek merupakan fungsi kecepatan, maka pada kecepatan yang semakin rendah kerugian gesek juga semakin rendah.

Untuk memperoleh nilai kerugian gesek *textile ducting* taslan lokal dengan ukuran diameter 24 inci pada 5000 cfm, *friction chart* pada Gambar 5 tidak dapat digunakan karena bilangan Reynolds yang besar ($Re=328777$) jauh diatas bilangan Reynolds yang diujikan ($Re=154067$) dan dengan demikian nilai f akan jauh berbeda dari yang diasumsikan pada *friction chart* tersebut. Untuk memperoleh besarnya kerugian gesek pada *textile duct* berbahan taslan ini digunakan rumus *Darcy-Weisbach*. Nilai f diperoleh dari *Moody chart* atau dari rumus *Colebrook* yaitu sebesar 0.0144. Dengan memasukkan ke dalam rumus *Darcy-Weisbach* nilai dari variabel diameter, $d = 24$ inci (0,61 m); kecepatan aliran, $v = 1592$ fpm (8,09 m/s); dan panjang *duct*, $l = 20$ ft (6 m); maka diperoleh kerugian gesek (*head loss*) sebesar 0,022 inci H₂O. Hasil ini menunjukkan bahwa kerugian gesek dari *textile duct* berbahan taslan lokal lebih besar 10 persen dibandingkan dengan

textile duct produk *DuctSox*. Kerugian gesek yang lebih besar tentu akan berpengaruh pada kebutuhan daya yang diperlukan untuk operasinya misalnya untuk *blower*. Oleh karena itu diperlukan kajian lebih lanjut mengenai perbandingan kebutuhan daya dan tentunya biaya operasional antara *textile duct* lokal ini dengan *textile duct* impor yang ada di pasaran.



Gambar 6. Variasi tekanan terhadap jarak pada textile duct DuctSox.

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dan perhitungan menggunakan data-data yang diperoleh, dapat diambil kesimpulan:

- Bahan tekstil taslan lokal dapat digunakan sebagai material *textile ducting* jenis *high throw* karena *non-permeable*. Permukaan tekstil taslan cukup halus sehingga mempunyai nilai f yang relatif kecil.
- Nilai f dapat ditaksir dengan menggunakan persamaan *Colebrook* atau *Moody chart*.
- *Friction chart* untuk tekstil taslan telah dapat dikonstruksi meskipun masih harus dikembangkan lebih lanjut agar menjadi lebih lengkap mencakup range ukuran duct dan debit udara yang besar, sehingga dapat digunakan dalam desain.

Saran

Untuk memahami karakteristik *duct* berbahan tekstil taslan dengan lebih baik, perlu dilakukan pengujian jatuh tekanan pada *textile duct* berbahan *taslan* lokal ini dengan menggunakan *textile duct* berujung tertutup (dengan *end cap*) dan menggunakan *orifice* seperti keadaan operasinya. Dengan demikian diharapkan dapat dibuat grafik yang lebih praktis yang juga mencakup pengaruh ukuran *orifice* terhadap karakteristik jatuh tekanan pada *textile duct*.

Daftar Pustaka

- [1] *Air flow demonstration apparatus AFD-240GTAE*, user manual.
- [2] Saputra, Andhi., *Tekstil Berbahan Polyester Sebagai Bahan Ducting*, Skripsi Program Sarjana FTUI. Depok, 2008.

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

- [3] Harun, Yulfari., *Pola Keluaran Aliran Udara pada Textile Ducting berbahan Polyester*, Skripsi Program Sarjana FTUI. Depok, 2007.
- [4] American Society for Testing and Material. *ASTM D737-04: Standard Test Method for Air Permeability of Textile Fabrics*. Philadelphia: ASTM, 2008.
- [5] DuctSox. *Design Methods for Fabric Ducts System*. Indiana: DuctSox Corp., 2008.
- [6] Munson, Bruce R., Donald F. Young, and Theodore H. Okiishi. *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 4th ed. John Wiley & Sons, Inc., 2002.