

Studi Eksperimen Aliran Turbulen didalam Difuser Simetris 3D Berdinding Datar dengan Penambahan Splitter

Sutardi¹⁾, Harbangan D.²⁾

Laboratorium Mekanika Fluida,
Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya 60111
Phone/Fax: 031-592-2941,

1) Email: sutardi@me.its.ac.id; ²⁾Alumni T. Mesin, FTI-ITS

Abstrak

Difuser merupakan salah satu komponen saluran fluida yang digunakan untuk meningkatkan tekanan fluida. Peningkatan tekanan fluida ini sering dinyatakan dengan sebuah bilangan tanpa dimensi yang disebut sebagai *pressure recovery coefficient* (C_{pr}) dari sebuah difuser. Aliran didalam difuser pada umumnya mengalami separasi yang berakibat adanya penurunan nilai C_{pr} . Dengan penambahan *splitter* yang sesuai didalam sebuah difuser, nilai C_{pr} bisa ditingkatkan. Studi kali ini ditujukan untuk mengevaluasi karakteristik aliran fluida didalam sebuah difuser berdinding datar dengan penambahan *splitter*. Studi dilakukan secara eksperimen menggunakan sebuah terowongan angin berkecepatan rendah. Model uji didalam studi ini berupa difuser berdinding datar dengan sudut bukaan (2θ) = 20° , tinggi inlet (W_1) = 50 mm, lebar span (b) = 100 mm, panjang aksial diffuser (L) = 500 mm, dan area ratio (A_2/A_1) = 4,52. Bilangan Reynolds yang digunakan berdasarkan tinggi inlet difuser (Re) adalah $5,6 \times 10^4$ dan $8,7 \times 10^4$. Dalam studi ini, digunakan tiga jenis model uji: (i) difuser tanpa *splitter*, (ii) difuser dengan satu *splitter*, dan (iii) difuser dengan dua *splitter*. Pengukuran tekanan dilakukan menggunakan Pitot tube dan lubang tekanan (*pressure tap*) pada dinding. Hasil studi ini menunjukkan adanya peningkatan *pressure recovery coefficient* (C_{pr}) sebesar kurang lebih 11% untuk difuser dengan satu *splitter* dan 33% untuk difuser dengan dua *splitter* pada $Re = 5,6 \times 10^4$. Sementara itu, terjadi peningkatan C_{pr} kurang lebih sebesar 1,3% untuk difuser dengan satu *splitter* dan sekitar 5% untuk difuser dengan dua *splitter* untuk $Re = 8,7 \times 10^4$. Profil kecepatan dan koefisien tegangan geser pada dinding (C_f) juga dipresentasikan didalam paper ini. Koefisien tegangan geser pada dinding (C_f) secara keseluruhan menunjukkan bahwa C_f pada $Re = 5,6 \times 10^4$ lebih besar dibanding pada $Re = 8,7 \times 10^4$. Sementara itu, profil kecepatan baik pada $Re = 5,6 \times 10^4$ maupun $Re = 8,7 \times 10^4$ menunjukkan adanya kenaikan kecepatan pada daerah dekat dinding bawah pada sisi keluaran (*downstream*) dari difuser.

Keywords: Difuser dinding datar, *pressure recovery coefficient* (C_{pr}), *splitter*, koefisien tegangan geser pada dinding (C_f).

Pendahuluan

Penghematan penggunaan energi didalam sistem industri merupakan permasalahan yang bisa dikatakan tidak pernah selesai untuk dibahas. Didalam era dimana krisis energi yang berasal dari fosil sudah sangat signifikan, perancangan sistem energi yang lebih efisien merupakan tugas berat bagi para perancang (*designer*) maupun para peneliti, khususnya yang terkait dengan keteknikan (*engineering*).

Didalam sistem fluida, perancangan saluran (*piping* dan *ducting*) memegang peranan yang sangat vital terhadap penggunaan energi penggerak fluida, baik pompa, fan, blower, maupun kompresor. Hal ini tidak terlepas dari besarnya kerugian tekanan fluida selama mengalir didalam saluran. Kerugian tekanan didalam

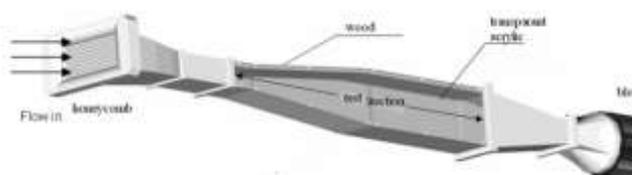
saluran ini mayoritas disebabkan oleh adanya gesekan fluida dengan dinding saluran akibat dari sifat kekentalan (viskositas fluida). Didalam aliran yang berkembang penuh (*fully developed flow*), seratus persen kerugian tekanan diakibatkan oleh adanya gesekan fluida dengan dinding saluran.

Faktor lain yang menjadi penentu kerugian tekanan aliran fluida ialah aliran sekunder yang meliputi separasi aliran dan terbentuknya pusaran (*vortex*). Separasi aliran bisa terjadi didalam saluran yang mengalami pembesaran secara mendadak (tiba-tiba), sementara itu, pusaran aliran bisa terjadi didalam saluran yang berpenampang tidak melingkar, seperti penampang persegi atau penampang segitiga. Selain itu, separasi aliran juga bisa terjadi didalam saluran yang mengalami kenaikan tekanan searah aliran (*adverse pressure gradient*), seperti aliran fluida didalam sebuah difuser.

Oleh karena itu, usaha untuk mengurangi nilai kerugian tekanan aliran yang melalui saluran dengan potensi kerugian tekanan yang tinggi selalu dilakukan. Salah satu cara untuk mengurangi kerugian tekanan ialah dengan cara menekan agar kemungkinan terjadinya separasi aliran didalam saluran dapat dikurangi. Hal ini seperti yang dilakukan oleh Reinhard (2006), yaitu dengan menambahkan pelat-pelat pemisah (*splitter plates*) didalam sebuah difuser. Studi numerik yang dilakukannya menunjukkan bahwa pembesaran nilai *aspect ratio* (*AR*) dapat meningkatkan nilai *pressure recovery coefficient* (*Cpr*). Raghunatan dan Cooper (2000) mengevaluasi pengaruh hisapan dan hembusan terhadap separasi lapis batas (*boundary layer*) didalam sebuah difuser dinding datar. Selain itu, pengaruh hisapan dan hembusan tersebut terhadap *Cpr* juga dievaluasi. Hasil studi mereka menunjukkan bahwa terhindarnya separasi aliran berdampak positif terhadap peningkatan nilai *Cpr*. Untuk mengevaluasi lebih detail terkait dengan pencegahan separasi aliran menggunakan *splitter plates*, maka dilakukan sebuah studi eksperimen didalam sebuah terowongan angin (*wind tunnel*) kecil. Parameter yang dievaluasi meliputi profil kecepatan, distribusi tekanan, dan koefisien tegangan geser pada dinding (*Cf*). Profil kecepatan dan distribusi tekanan digunakan untuk mendeteksi lokasi terjadinya separasi aliran dan kemungkinan terjadinya aliran balik (*back flow*).

Metoda Eksperimen

Eksperimen dilakukan didalam laboratorium Mekanika Fluida, Jurusan Teknik Mesin, FTI ITS. Peralatan utama yang digunakan ialah sebuah saluran udara atau *wind tunnel* dimana aliran udara dibangkitkan oleh sebuah blower hisap dengan daya input 0.34 kW dengan kapasitas aliran udara maksimum sebesar 15 m³/menit. Secara keseluruhan, instalasi pengujian ditunjukkan pada gambar 1. Model uji didalam studi ini ialah sebuah difuser yang dilengkapi dengan pelat-pelat pemisah didalamnya (*splitter plates*) (Gambar 2). Pengambilan data dilakukan pada kecepatan rata-rata pada sisi masuk difuser sebesar 17.34 m/det dan 26.97 m/det, yang berkaitan dengan bilangan Reynolds (*Re*) berdasar tinggi sisi masuk difuser (*W₁*) sebesar 5.6 x 10⁴ dan 8.7 x 10⁴.



Gambar 1. Instalasi eksperimen

Pengukuran tekanan di bagian internal saluran dilakukan menggunakan *total pressure tube*, sedangkan pengukuran tekanan pada dinding saluran dilakukan menggunakan lubang-lubang tekanan (*pressure taps*) yang diletakkan pada dinding difuser. Baik *total pressure tube* maupun lubang-lubang tekanan kemudian dihubungkan dengan manometer miring (*inclined manometer*) yang diisi dengan minyak merah (*red oil*) dengan *specific gravity* (*SG*) sebesar 0.804.

Profil kecepatan diperoleh dengan perhitungan menggunakan data perbedaan tekanan total (*total pressure* atau *stagnation pressure*, *p₀*) pada penampang lintang tertentu dengan tekanan statis pada dinding pada posisi *streamwise* yang bersesuaian. Perhitungan tegangan geser pada dinding (*τ_w*) didasarkan pada metoda Preston. Persamaan yang digunakan ialah seperti yang diusulkan oleh Bechert (1995) sebagai berikut:

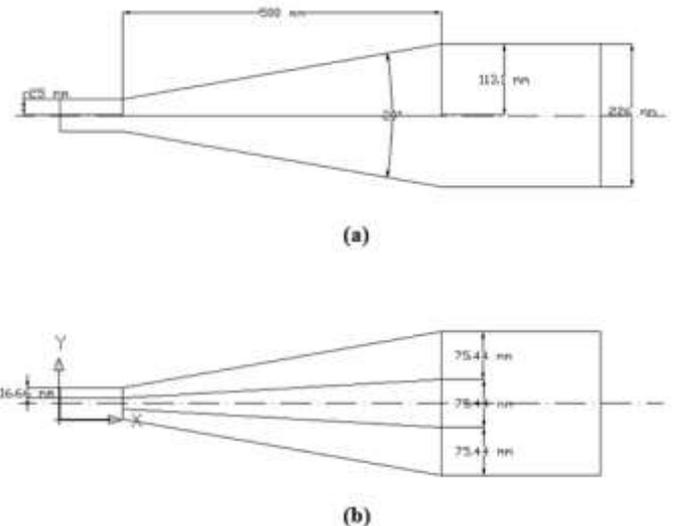
$$\tau^+ = [28,44 \cdot (\Delta p^+)^2 + 6,61 \cdot 10^{-6} \cdot (\Delta p^+)^{3,5}]^{1/4}, \quad (1)$$

dimana:

$$\tau^+ = \left(\frac{\tau_w d^2}{\rho v^2} \right), \quad (2)$$

dan

$$\Delta p^+ = \left(\frac{\Delta p d^2}{\rho v^2} \right). \quad (3)$$



Gambar 2. Difuser dengan *splitter*: (a) difuser dengan satu *splitter*; (b) difuser dengan dua *splitter*.

Tegangan geser pada dinding (*τ_w*) kemudian dihitung menggunakan pers. (2), sedangkan koefisien gesekan kulit atau koefisien tegangan geser pada dinding (*skin friction coefficient*, *Cf*) dihitung berdasarkan pers. (4) berikut:

$$C_f = \frac{\tau_w}{\frac{1}{2} \rho U_{ref}^2}, \quad (4)$$

dimana U_{ref} adalah kecepatan referensi, dalam hal ini ialah kecepatan *freestream* aliran udara pada saat memasuki difuser. Sebagai alternatif dari penggunaan persamaan kalibrasi Preston tube ialah seperti yang diusulkan oleh Patel (1965).

Hasil dan Analisa

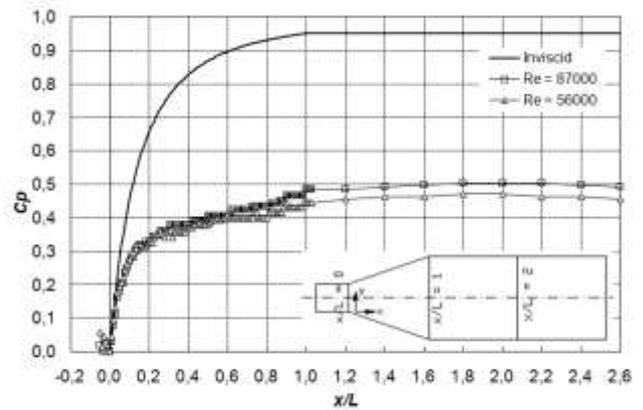
-. Distribusi Koefisien Tekanan (C_p)

Gambar 3 menunjukkan distribusi koefisien tekanan pada dinding difuser untuk dua bilangan Reynolds (Re) yang berbeda (5.6×10^4 dan 8.7×10^4). Koefisien tekanan (C_p) didefinisikan sebagai:

$$C_p = \frac{P_s - P_{ref}}{\frac{1}{2} \rho U_{ref}^2}, \quad (5)$$

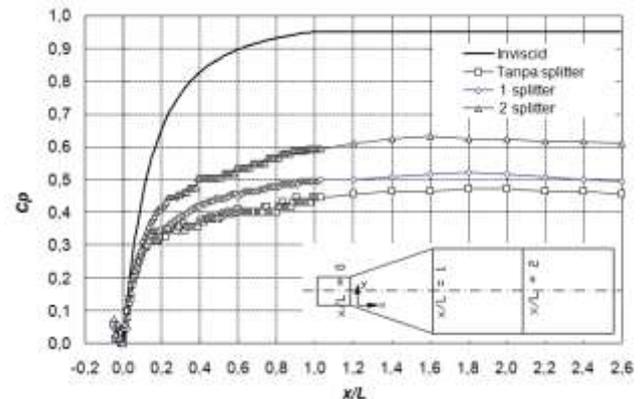
dimana p_s adalah tekanan statis pada dinding difuser dan p_{ref} adalah tekanan statis acuan atau referensi. Distribusi C_p secara teoritis yang disebut sebagai $C_{p_{inviscid}}$, juga ditampilkan sebagai perbandingan terhadap C_p hasil eksperimen ($C_{p_{eksperimen}}$) pada kedua harga Re . Secara umum, nilai $C_{p_{inviscid}}$ berharga lebih tinggi dibandingkan dengan $C_{p_{eksperimen}}$. Nilai maksimum dari $C_{p_{inviscid}}$ terjadi pada $x/L = 1.0$ sampai $\sim 0,98$. Sementara itu, nilai maksimum dari C_p untuk aliran nyata (riil) hanya mencapai ~ 0.50 .

Ada dua hal yang menyebabkan kenaikan tekanan yang tidak maksimal untuk kasus aliran riil dibandingkan dengan aliran inviscid. Pertama, gesekan antara dinding difuser dengan fluida di dekat dinding menyebabkan kerugian tekanan akibat aksi viskositas fluida. Kedua, hukum kekekalan massa mengharuskan adanya peningkatan kecepatan pada *freestream*, dan sebagai konsekuensi dari penurunan kecepatan di daerah dekat dinding. Hal yang terakhir ini berdampak terhadap penurunan tekanan akibat adanya kenaikan tekanan dinamik/energi kinetik aliran pada *freestream*.



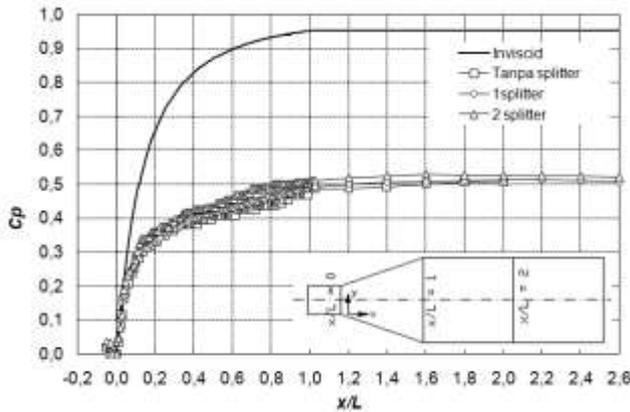
Gambar 3. Distribusi koefisien tekanan pada dinding difuser (C_p) tanpa splitter pada $Re = 5,6 \times 10^4$ dan $8,7 \times 10^4$.

Gambar 4 menunjukkan distribusi koefisien tekanan (C_p) pada dinding difuser yang dilengkapi dengan satu dan dua *splitter* pada $Re = 5,6 \times 10^4$ yang dibandingkan dengan C_p untuk difuser tanpa *splitter*. Dari gambar 4 bisa dilihat bahwa pada $Re = 5,6 \times 10^4$ ini koefisien tekanan lokal maksimum, $C_{p_{mak}}$, untuk difuser dengan *splitter* meningkat dibandingkan dengan $C_{p_{mak}}$, untuk difuser tanpa *splitter*. Dengan satu *splitter*, $C_{p_{mak}}$ meningkat sekitar 11%, sedangkan dengan dua *splitter*, $C_{p_{mak}}$ meningkat sekitar 34%.



Gambar 4. Distribusi koefisien tekanan pada dinding difuser (C_p) untuk diffuser dengan 1 dan 2 *splitter* pada $Re = 5,6 \times 10^4$.

Distribusi C_p untuk difuser dengan satu dan dua *splitter* pada $Re = 8,7 \times 10^4$ ditunjukkan pada gambar 5. Berbeda dengan pada Re rendah, pada $Re = 8,7 \times 10^4$ ini peran *splitter* terlihat kurang signifikan dalam peningkatan nilai C_p . Walaupun terjadi peningkatan $C_{p_{mak}}$, nilai peningkatannya tidak lebih dari 5%. Untuk difuser dengan dua *splitter*, peningkatan $C_{p_{mak}}$ hanya sekitar 4.9%, sedangkan satu *splitter* hanya mampu meningkatkan $C_{p_{mak}}$ sekitar 1.8%. Peningkatan $C_{p_{mak}}$ pada $Re = 8,7 \times 10^4$ ini diperkirakan masih didalam batas-batas ketidakpastian eksperimen untuk nilai C_p ($\sim 5\%$).



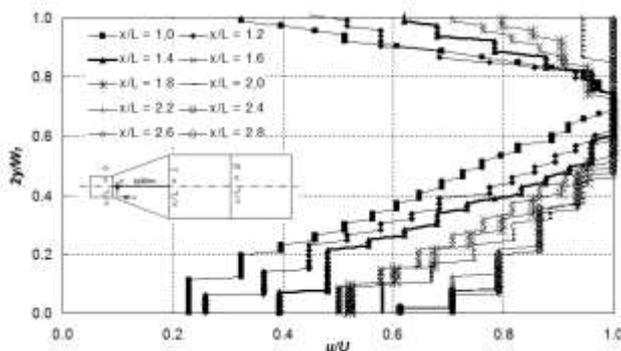
Gambar 5. Distribusi koefisien tekanan pada dinding difuser (C_p) untuk difuser dengan 1 dan 2 splitter pada $Re = 8,7 \times 10^4$.

Dalam bentuk *pressure recovery coefficient* (C_{pr}) hasil studi ini menunjukkan adanya peningkatan C_{pr} sebesar kurang lebih 11% untuk difuser dengan satu *splitter* dan 33% untuk difuser dengan dua *splitter* pada $Re = 5,6 \times 10^4$. Sementara itu, terjadi peningkatan C_{pr} kurang lebih sebesar 1,3% untuk difuser dengan satu *splitter* dan sekitar 5% untuk difuser dengan dua *splitter* untuk $Re = 8,7 \times 10^4$. Disini C_{pr} didefinisikan sebagai:

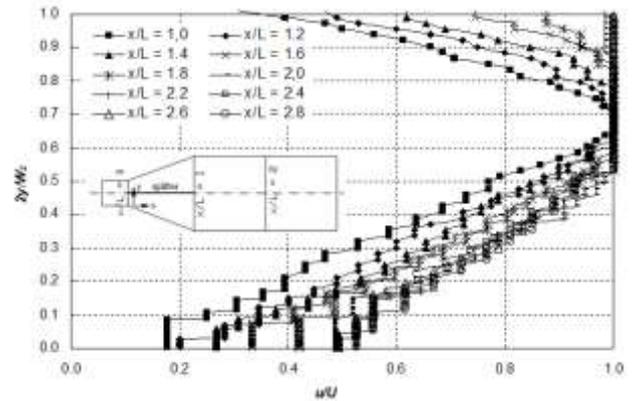
$$C_{pr} = \frac{p_s(x/L=1) - p(x/L=0)}{\frac{1}{2} \rho U_{ref}^2} \quad (6)$$

- Distribusi Kecepatan ($u(y)$)

Gambar 6 sampai dengan gambar 9 menunjukkan distribusi kecepatan pada penampang melintang di daerah *downstream* dari difuser yang dilengkapi dengan satu dan dua *splitter* untuk kedua bilangan Reynolds (Re). Terlepas dari data yang *scatter*, terlihat adanya konsistensi peningkatan kecepatan di daerah dekat dinding sejalan dengan perkembangan ke arah *downstream*, sampai dengan $x/L \sim 2.0$.

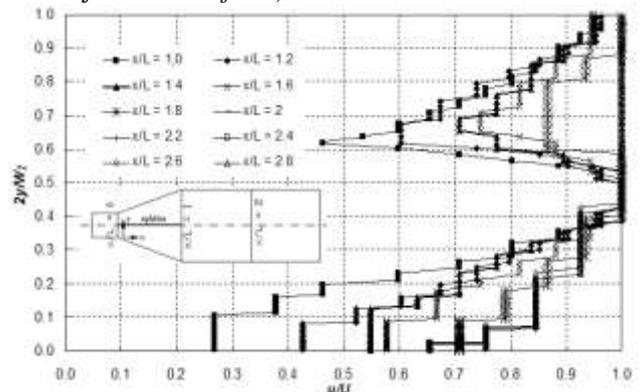


Gambar 6. Distribusi profil kecepatan di daerah *downstream* dari difuser dengan 1 *splitter* $Re = 5,6 \times 10^4$.

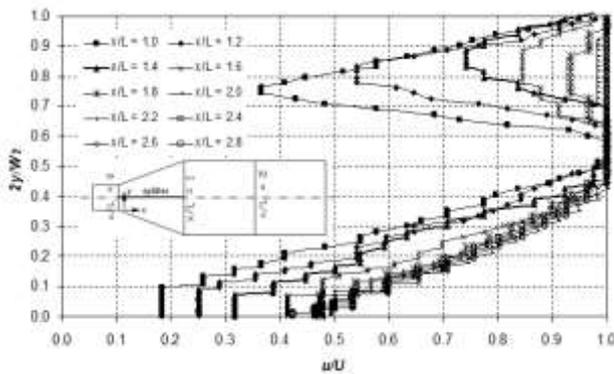


Gambar 7. Distribusi profil kecepatan di daerah *downstream* dari difuser dengan 1 *splitter* $Re = 8,7 \times 10^4$.

Gambar 10 dan 11 menunjukkan sederetan distribusi kecepatan di daerah *downstream* dari difuser pada $Re = 5,6 \times 10^4$. Gambar 10 adalah untuk difuser dengan satu *splitter*, sedangkan gambar 11 adalah untuk difuser dengan dua *splitter*. Terlihat bahwa penambahan *splitter* berdampak terhadap penurunan kecepatan aliran di daerah tengah saluran. Untuk difuser dengan dua *splitter*, selain terjadi defisit momentum pada *centerline*, defisit momentum juga terjadi di lokasi sekitar $1/3 W_2$ dari dinding, dimana W_2 adalah tinggi outlet dari difuser. Defisit momentum inilah yang merupakan salah satu faktor yang menyebabkan C_{pr} tidak dapat mencapai harga maksimum atau mendekati C_{pr} untuk aliran inviscid (*frictionless flow*).



Gambar 8. Distribusi profil kecepatan di daerah *downstream* dari difuser dengan 2 *splitter* $Re = 5,6 \times 10^4$.

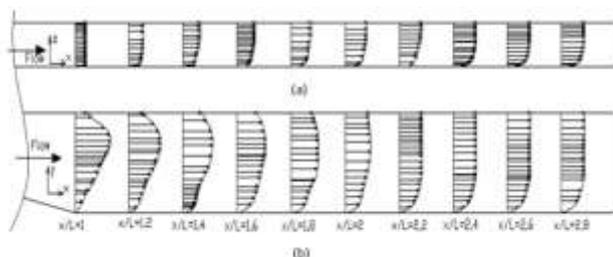


Gambar 9. Distribusi profil kecepatan di daerah *downstream* dari difuser dengan 2 *splitter* $Re = 8,7 \times 10^4$.

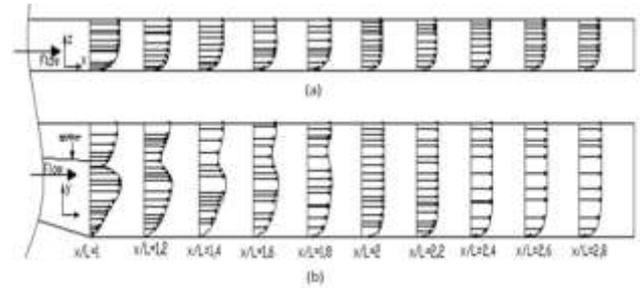
-. *Distribusi Koefisien Gesekan Kulit (Skin friction coefficient, Cf)*

Gambar 12 menunjukkan distribusi koefisien gesekan kulit (C_f) untuk dinding bawah di daerah *downstream* dari difuser dengan penambahan satu *splitter*, dua *splitter*, dan tanpa *splitter* pada $Re = 5,6 \times 10^4$. Dari gambar terlihat bahwa C_f untuk difuser dengan satu dan dua *splitter* mengalami kenaikan yang signifikan pada rentang $1,0 < x/L < 2,0$, kemudian terjadi penurunan nilai C_f sepanjang $x/L > 2,0$. Pengurangan nilai C_f ini dimungkinkan adanya penurunan nilai gradien kecepatan pada dinding di daerah atau pada rentang x/L tersebut.

Gambar 13 menunjukkan distribusi koefisien gesekan kulit (C_f) untuk dinding bawah di daerah *downstream* dari difuser dengan penambahan satu *splitter*, dua *splitter*, dan tanpa *splitter* pada $Re = 8,7 \times 10^4$. Dari gambar terlihat bahwa C_f pada Re tinggi ini mirip dengan C_f pada Re rendah, yaitu nilai C_f meningkat dengan bertambahnya x/L pada rentang $1,0 < x/L < 2,0$. Untuk difuser tanpa *splitter*, C_f terus meningkat sampai dengan $x/L = 2,8$. Nilai C_f untuk difuser tanpa *splitter* memiliki nilai C_f yang paling tinggi dibandingkan dengan C_f untuk difuser dengan satu dan dua *splitter* pada rentang $x/L > 2,0$.



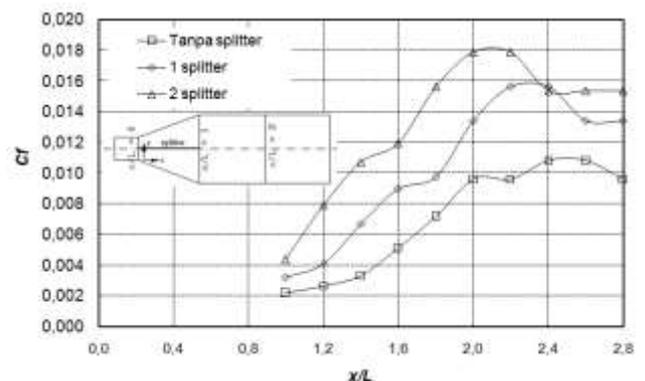
Gambar 10. Distribusi profil kecepatan pada bidang (a) horizontal dan (b) vertikal pada difuser dengan satu *splitter* pada $Re = 5,6 \times 10^4$.



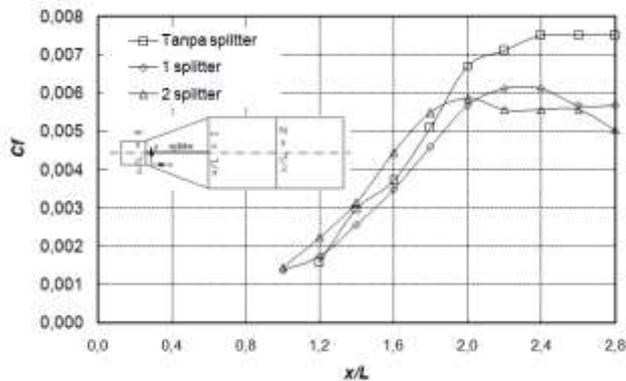
Gambar 11. Distribusi profil kecepatan pada bidang (a) horizontal dan (b) vertikal pada difuser dengan dua *splitter* pada $Re = 5,6 \times 10^4$.

Kesimpulan

- 1). Pada $Re = 5,6 \times 10^4$, difuser dengan satu *splitter* menghasilkan peningkatan $C_{pr} \sim 11\%$, sedangkan difuser dengan dua *splitter* menghasilkan peningkatan $C_{pr} \sim 33\%$.
- 2). Difuser dengan satu *splitter* pada $Re = 8,7 \times 10^4$ menghasilkan peningkatan $C_{pr} \sim 1,3\%$, sedangkan difuser dengan dua *splitter* menghasilkan peningkatan $C_{pr} \sim 5\%$.
- 3). Penambahan *splitter* dapat meningkatkan C_{pr} difuser. Namun demikian, penambahan *splitter* pada Re yang tinggi dapat menurunkan C_{pr} . Hal ini disebabkan meningkatnya efek gesekan fluida pada Re tinggi.
- 4). Secara keseluruhan harga C_f pada $Re = 5,6 \times 10^4$ lebih besar dibandingkan dengan C_f pada $Re = 8,7 \times 10^4$.
- 5). Baik pada $Re = 5,6 \times 10^4$ maupun pada $Re = 8,7 \times 10^4$, profil kecepatan menunjukkan adanya kenaikan kecepatan pada daerah dekat dinding bawah pada sisi *downstream* dari difuser.



Gambar 12. Distribusi koefisien gesekan kulit (C_f) pada dinding di daerah *downstream* dari difuser dengan satu, dua, dan tanpa *splitter* untuk $Re = 5,6 \times 10^4$.



Gambar 13. Distribusi koefisien gesekan kulit (C_f) pada dinding di daerah *downstream* dari difuser dengan satu, dua, dan tanpa *splitter* untuk $Re = 8,7 \times 10^4$.

(2000).

Reinhard, W., *Influence of Aspect Ratio on Diffuser Performance*, Institute for Thermodynamics and Energy Conversion, Vienna University of Technology, diakses dari www.zid.tuwien.ac.at/ (2006).

Ucapan Terima kasih

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan kesempatan seluas-luasnya kepada tim peneliti dalam penggunaan fasilitas laboratorium Mekanika Fluida.

Nomenklatur

- AR Aspect ratio (-)
- C_f Koefisien gesekan kulit (-)
- C_p Koefisien tekanan (-)
- C_{pr} Pressure recovery coefficient (-)
- L Panjang difuser (m)
- p Tekanan (N/m^2)
- W_1 tinggi sisi masuk difuser (m)
- W_2 tinggi sisi outlet dari difuser (m)
- x Jarak ke arah *streamwise* (m)

Greek letters

- ρ Rapat massa (*density*, (kg/m^3))
- μ Viskositas absolut ($N \cdot det/m^2$)
- τ_w Tegangan geser pada dinding (N/m^2)

Subsripts

- mak Maksimum
- 0 Stagnasi

Referensi

Bechert, D. W., *Calibration of Preston tube*, AIAA J. 34 (1) (1995).

Patel, V. C., *Calibration of the Preston tube and limitations on its use in pressure gradients*, J. Fluid Mech, vol. 23 (part I), pp. 185-208 (1965).

Raghunathan, S. & Cooper, R. K., *Passive Boundary Layer Control With Slots in Short Diffusers*, J. Fluid Eng., vol. 122, pp 177-179