

## Karakteristik Kecepatan dan Intensitas Turbulensi Aliran Fluida didalam Closed Circuit Low-Speed Wind Tunnel

Sutardi<sup>1\*</sup>, Romi D K N, Fahmi F H, Abel B A, dan Anastia E P.

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri

ITS Surabaya Indonesia 60111,

<sup>1)</sup> Email: sutardi@me.its.ac.id

### Abstrak

Wind tunnel merupakan elemen atau perangkat eksperimen yang tidak dapat dipisahkan dari perkembangan aerodinamika. Secara umum, ada dua jenis wind tunnel: siklus terbuka (*open loop wind tunnel*) dan siklus tertutup (*closed-loop wind tunnel*). Selanjutnya, berdasarkan kecepatan aliran didalam wind tunnel, maka wind tunnel juga dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis: *low speed wind tunnel* dan *high speed wind tunnel*, termasuk didalamnya *sub-sonic* dan *supersonic wind tunnels*. Didalam studi ini digunakan sebuah *low-speed wind tunnel* jenis siklus tertutup. Kecepatan maksimum aliran udara didalam wind tunnel ini sekitar 46 m/det dengan intensitas turbulensi (*IT*) dapat mencapai serendah 0.49 persen. Parameter aliran yang dievaluasi adalah distribusi kecepatan dan intensitas turbulensi (*IT*) didalam beberapa bagian dari wind tunnel. Pengukuran tekanan didalam wind tunnel dilakukan menggunakan Pitot tube yang dihubungkan dengan *pressure transducer* yang telah dikalibrasi. Nilai tekanan yang terukur ini kemudian dikonversikan kedalam kecepatan dan intensitas trubulensi aliran. Hasil studi menunjukkan bahwa kualitas difuser yang terpasang pada wind tunnel, khususnya difuser kecil sudah cukup baik. Intensitas turbulensi aliran pada sisi inlet difuser ini sekitar 0.49 persen pada kecepatan 32 m/det. Di beberapa bagian dari wind tunnel, intensitas turbulensi masih relatif besar, seperti pada sisi outlet elbow kecil dimana *IT* mencapai > 18 persen. Hasil studi juga menunjukkan bahwa elbow, baik yang besar maupun yang kecil berperan dalam hal menjadikan aliran tidak seragam pada penampang saluran wind tunnel.

**Kata kunci:** Wind tunnel, profil kecepatan, intensitas turbulensi, Pitot tube, pressure transducer, difuser, elbow.

### Pendahuluan

Dari segi konstruksi, wind tunnel dikelompokkan menjadi dua: (i) wind tunnel siklus terbuka dan (ii) wind tunnel siklus tertutup. Wind tunnel siklus terbuka sudah sangat banyak digunakan, baik didalam lembaga-lembaga penelitian, industri, maupun lembaga pendidikan. Wind tunnel jenis terbuka ini lebih sederhana dan dengan mudah untuk dibangun. Wind tunnel jenis tertutup relatif lebih rumit dalam disainnya, sehingga pengguna wind tunnel jenis tertutup ini tidak sebanyak pengguna wind tunnel jenis terbuka. Didalam wind tunnel dengan siklus tertutup juga bisa dijamin kualitas aliran fluida yang lebih baik daripada

kualitas aliran didalam wind tunnel dengan siklus terbuka. Kualitas aliran ini meliputi antara lain intensitas turbulensi dan getaran dari konstruksi wind tunnel.

Dari segi penggunaan daya atau energi, wind tunnel jenis tertutup lebih hemat dibandingkan dengan wind tunnel jenis terbuka untuk kapasitas dan luas penampang uji (*test section area*) yang sama. Dari sebuah studi ditunjukkan bahwa untuk sebuah jenis fan atau blower tertentu, kapasitas maksimum diperoleh bila digunakan wind tunnel jenis tertutup. Hal ini dikarenakan kerugian tekanan didalam siklus terbuka lebih besar daripada didalam siklus tertutup. Messina [1] mendapatkan bahwa untuk sebuah fan tertentu mampu

menghasilkan kapasitas sekitar 11 persen untuk wind tunnel jenis tertutup dibandingkan untuk wind tunnel jenis terbuka.

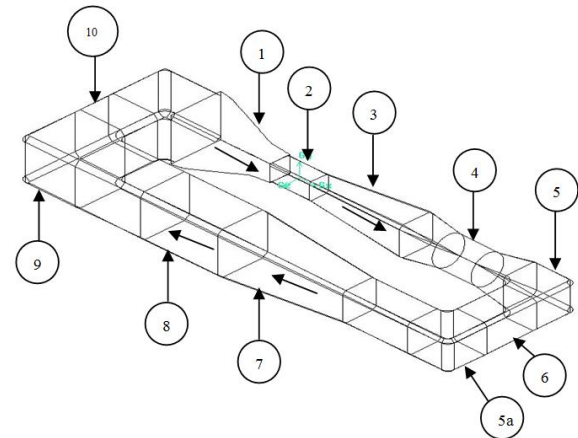
Komponen utama wind tunnel yang menghasilkan kerugian terbesar ialah difuser yang terletak di bagian hilir (*downstream*) dari *test section*. Kontribusi kerugian tekanan pada difuser ini lebih dari 30 persen dari kerugian tekanan total. Komponen yang berkontribusi terhadap kerugian tekanan terbesar kedua ialah belokan pada saluran untuk wind tunnel jenis tertutup, dimana kontribusinya mencapai sekitar 16 persen dari kerugian tekanan total. Oleh karena itu, kajian mengenai kerugian tekanan didalam sebuah rancangan wind tunnel perlu dilakukan secara seksama dalam rangka untuk memperoleh sebuah rancangan yang efisien tetapi mampu menghasilkan kualitas aliran yang maksimal. Telah banyak kajian tentang disain dari wind tunnel, baik siklus terbuka maupun siklus tertutup, seperti telah ditunjukkan pada Lingdren dan Johansson [2], Barlow et al [3], dan Mehta dan Bradshaw [4].

Didalam studi ini akan dikaji karakteristik aliran udara didalam wind tunnel siklus tertutup dimana analisa difokuskan pada profil kecepatan dan intensitas turbulensi di beberapa bagian dari wind tunnel tersebut.

### Peralatan Eksperimen

Eksperimen dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS. Peralatan utama dari eksperimen ini ialah sebuah *closed-loop low speed wind tunnel*, dimana aliran udara dimotori oleh sebuah fan aksial dengan daya input sebesar 4 kW dengan putaran motor 2800 rpm. Kapasitas aliran yang dapat dihasilkan sebesar 15000 m<sup>3</sup>/jam. Dengan kapasitas aliran sebesar ini, kecepatan maksimum aliran udara yang dapat dihasilkan didalam *test section* sebesar kurang lebih 46 m/det. Intesitas turbulensi pada *test section*

*centerline* sebesar 0.46 persen pada kecepatan 32 m/det. Gambar 1 menunjukkan diagram skematis dari wind tunnel yang digunakan didalam studi ini.



Gambar 1. Diagram skematis dari *closed-loop low speed wind tunnel*

Keterangan

gambar:

- |   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1). Nozel, <i>honey comb</i> dan <i>screens</i> | 6). Penyambung elbow kecil  |
| 2). <i>Test section</i> 1                       | 7). Diffuser 2              |
| 3). Diffuser 1                                  | 8). <i>Test Section</i> 2   |
| 4). Fan   | 9). Elbow besar             |
| 5). Elbow kecil                                 | 10). Penyambung elbow besar |
| 5a). Elbow kecil                                |                             |

Pengukuran kecepatan dilakukan menggunakan Pitot tube yang dihubungkan dengan *pressure transducer* yang telah dikalibrasi. Kalibrasi *pressure transducer* dilakukan menggunakan *inclined manometer* yang diisi dengan *red oil*. *Differential pressure* yang terbaca pada *pressure transducer* kemudian dikonversikan menjadi besaran kecepatan dan selanjutnya diproses untuk memperoleh nilai kecepatan lokal dan intensitas turbulensi lokal.

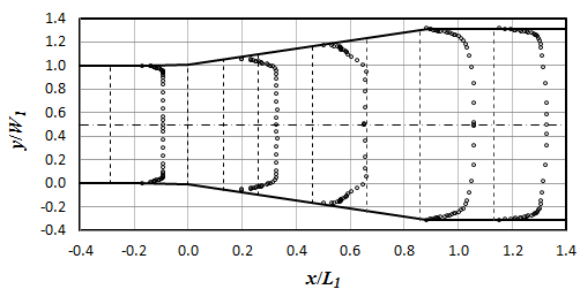
### Hasil dan Analisa

#### Profil Kecepatan

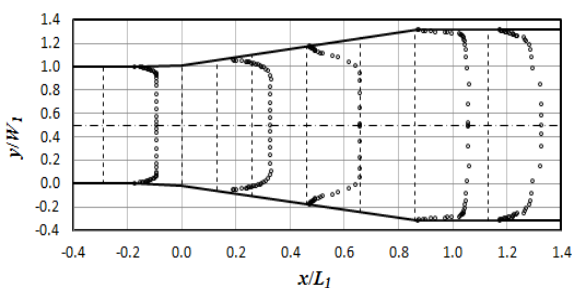
Gambar 2 menunjukkan distribusi profil kecepatan didalam difuser kecil (bagian no. 3 pada Gambar 1),  $U/U_{max}$  pada  $Re_{Dh} = 1.98$

$\times 10^5$ , sedangkan gambar 3 adalah pada  $Re_{Dh} = 3.86 \times 10^5$ . Dari gambar 2 terlihat bahwa tidak terlihat gejala separasi aliran pada dinding difuser. Hal ini menunjukkan bahwa difuser memiliki performa yang cukup baik dalam hal pengendalian aliran, yaitu proses *recovery* energi kinetik aliran menjadi energi potensial tekanan dari aliran fluida yang melaluinya.

Pada gambar 3 juga terlihat bahwa aliran tidak mengalami separasi pada dinding difuser untuk nilai  $Re_{Dh} = 3.86 \times 10^5$ , walaupun pada profil yang ketiga terlihat sedikit perbedaan bila dibandingkan hal yang serupa pada gambar 2. Sekali lagi bahwa pada nilai  $Re_{Dh} = 3.86 \times 10^5$  ini difuser masih memiliki performa yang cukup baik.



Gambar 2. Distribusi profil kecepatan  $U/U_{max}$  pada  $Re_{Dh} = 1.98 \times 10^5$ .

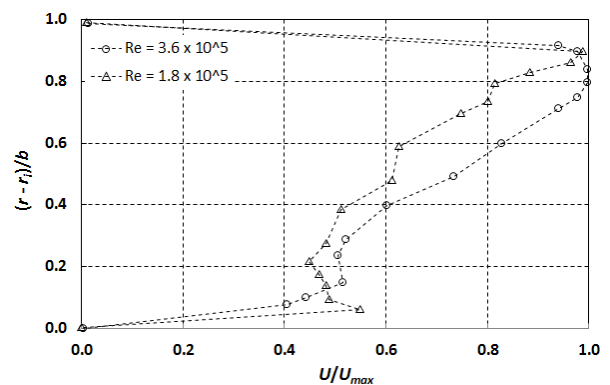


Gambar 3. Distribusi profil kecepatan  $U/U_{max}$  pada  $Re_{Dh} = 3,86 \times 10^5$ .

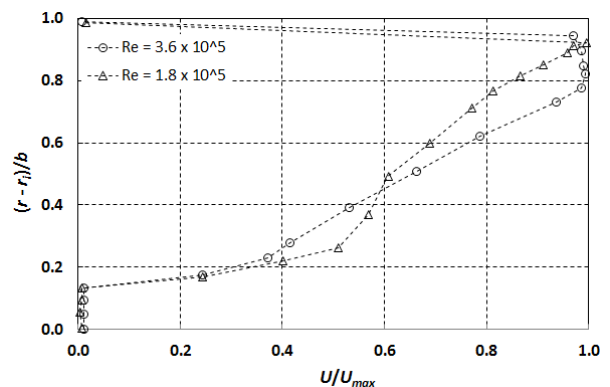
Gambar 4 dan 5 menunjukkan profil kecepatan pada sisi inlet dan outlet elbow kecil (bagian no. 5a pada Gambar 1),  $U/U_{max}$  pada dua nilai  $Re_{Dh}$ . Pada kedua gambar tersebut terlihat adanya percepatan aliran pada sisi radius terluar dari elbow. Hal ini disebabkan oleh pengaruh dari

elbow kecil pada sisi upstream (bagian 5 pada Gambar 1). Karena jarak elbow 5 dan elbow 5a cukup dekat, maka pengaruh adanya elbow 5 terhadap elbow 5a tidak dapat dihindari. Didalam studi berikutnya, ketidakseragaman distribusi kecepatan ini diminimalkan dengan penambahan sudu pengarah didalam elbow tersebut.

Bila pada gambar 4 tidak terlihat adanya gejala aliran balik pada sisi inlet elbow, pada gambar 5 terlihat adanya gejala aliran balik pada penampang di sisi outlet elbow. Hal ini ditunjukkan dengan adanya beberapa titik pada penampang sisi outlet yang memiliki nilai kecepatan nol ( $0 < [r-r_i]/b < 0.15$ ). Hal ini mengindikasikan adanya aliran sekunder dari sisi radius terbesar elbow menuju sisi radius terkecil elbow).



Gambar 4. Profil kecepatan aliran pada sisi inlet elbow kecil untuk dua  $Re_{Dh}$ .

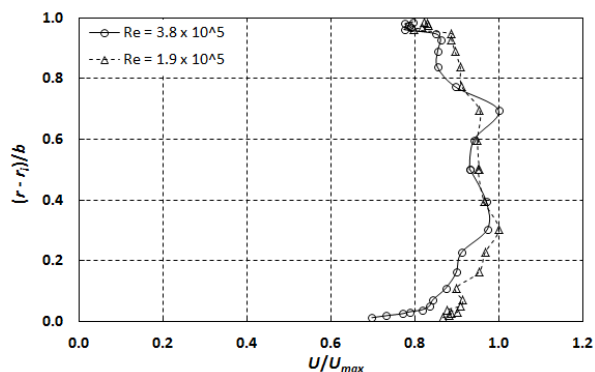


Gambar 5. Profil kecepatan aliran pada sisi outlet elbow kecil untuk dua  $Re_{Dh}$ .

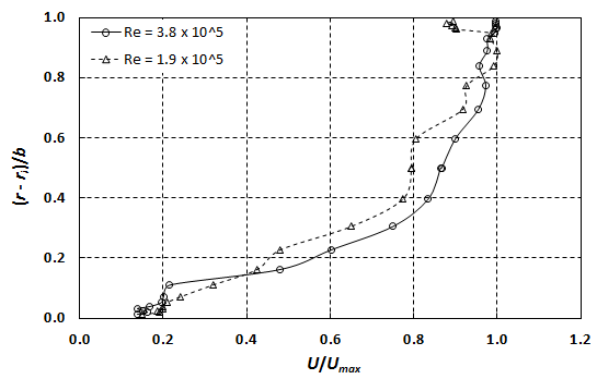
Gambar 6 dan 7 menunjukkan profil kecepatan pada sisi inlet dan outlet elbow besar (bagian no. 9 pada Gambar 1),  $U/U_{max}$

pada dua nilai  $Re_{Dh}$ . Berbeda dengan gambar 4 yang menunjukkan adanya percepatan aliran pada sisi terluar dari radius elbow, pada gambar 6 terlihat bahwa profil kecepatan relatif lebih uniform untuk kedua nilai  $Re_{Dh}$ . Hal ini dapat dimaklumi bahwa letak dari elbow besar (bagian 9) berada pada sisi hilir dari difuser besar (7) dan saluran lurus (bagian 8). Kedua komponen saluran yang disebut terakhir tersebut berperan untuk menjadikan aliran mampu ber-recovery – sebelum masuk ke elbow 9.

Pada gambar 7, kembali terlihat adanya percepatan aliran pada sisi radius terluar elbow. Hal ini serupa dengan yang terjadi pada sisi inlet dan outlet elbow kecil yang diuraikan sebelumnya. Gejala percepatan aliran pada elbow besar tersebut terjadi untuk kedua bilangan Reynolds.



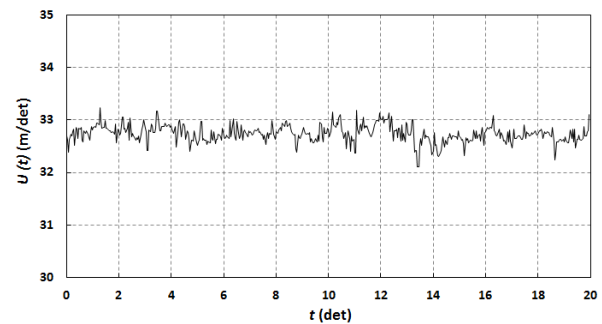
Gambar 6. Profil kecepatan aliran pada sisi inlet elbow besar untuk dua  $Re_{Dh}$ .



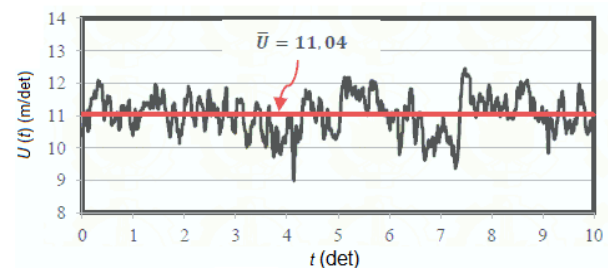
Gambar 7. Profil kecepatan aliran pada sisi outlet elbow besar untuk dua  $Re_{Dh}$ .

*Intensitas Turbulensi*

Fluktuasi kecepatan pada *centerline* didalam wind tunnel untuk dua lokasi aksial ditunjukkan pada gambar 8 dan 9. Dua lokasi tersebut adalah pada sisi inlet difuser kecil (gambar 8) dan pada sisi outlet dari elbow kecil (gambar 9). Sebenarnya pengukuran fluktuasi kecepatan juga dilakukan di beberapa lokasi aksial lainnya di dalam wind tunnel, seperti pada sisi outlet dari difuser kecil dan pada sisi outlet dari elbow besar. Namun demikian, plot dari fluktuasi kecepatan tersebut tidak ditampilkan pada tulisan ini, tetapi hanya akan dinyatakan berapa nilai dari intensitas turbulensinya saja.



Gambar 8. Fluktuasi kecepatan sebagai fungsi waktu pada inlet diffuser kecil.



Gambar 9. Fluktuasi kecepatan sebagai fungsi waktu pada outlet elbow kecil.

Berdasarkan analisa pada gambar 8 dan 9, maka intensitas turbulensi pada *centerline* pada sisi inlet difuser kecil dan pada sisi outlet dari elbow kecil adalah sekitar 0.49 persen ( $Re_{Dh} = 5.8 \times 10^5$ ) dan 5.31 persen ( $Re_{Dh} = 3.6 \times 10^5$ ) (Lihat Tabel 1). Intensitas turbulensi dalam hal ini

dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$IT = \frac{U_{rms}}{\bar{U}} \times 100\% \quad (1)$$

$$U_{rms} = \sqrt{(U'(t) - \bar{U})^2} \quad (2)$$

dimana :

$\bar{U}$  : Kecepatan rata-rata, m/s

$U'$  : Kecepatan (t), m/s

Tabel 1. Intensitas turbulensi untuk beberapa lokasi *centerline* didalam wind tunnel

Lokasi	Intensitas Turbulensi (%)
Inlet difuser kecil	0.49 ( $Re_{Dh} = 5.8 \times 10^5$ )
Outlet difuser kecil	1.36 ( $Re_{Dh} = 5.8 \times 10^5$ )
Outlet elbow kecil	18.65 ( $Re_{Dh} = 1.8 \times 10^5$ )
	5.31 ( $Re_{Dh} = 3.6 \times 10^5$ )
Outlet difuser besar	13.97 ( $Re_{Dh} = 3.1 \times 10^5$ )

## Kesimpulan

Dari studi aliran didalam *closed-loop low speed wind tunnel* ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1). Performa difuser kecil sudah cukup baik dengan tidak ditemukannya gejala separasi aliran didalamnya, paling tidak untuk kedua bilangan Reynolds yang digunakan didalam eksperimen.
- 2). Intensitas turbulensi didalam *test section* utama (bagian 2 dari gambar 1) cukup rendah dengan dibuktikannya nilai intensitas turbulensi ini pada sisi inlet

difuser kecil ( $IT = 0.49$  persen, pada  $Re_{Dh} = 5.8 \times 10^5$ ).

- 3). Elbow berperan cukup signifikan dalam mengubah keseragaman aliran pada penampangnya, yang dibuktikan dengan ketidakseragaman aliran pada penampang sisi outlet untuk difuser kecil dan difuser besar.

## Referensi

- [1] M. Messina, Experimental Validation of Pressure Loss in Anemometer Testing Equipment, Renewable and Sustainable Energy Rev., Vol. 16 (2012) 2980-2987.
- [2] B. Lindgren & A.V. Johansson, Design and Evaluation of a Low-Speed Wind Tunnel with Expanding Corners, Tech. Report, Royal Inst. of Technology, Dept. of Mechanics, Stockholm (2002), Swedia.
- [3] J.B. Barlow, W.H. Rae Jr., & A. Pope, Low Speed Wind Tunnel Testing, 3<sup>rd</sup> ed., John Wiley & Sons Inc. (1999), New York.
- [4] R.D. Mehta & P. Bradshaw, P., Design Rules for Small Low-Speed Wind Tunnels, Technical Notes Aeronautical J. Royal Aero. Soc. (1979) 442-449.