ANALISIS KINERJA TEROWONGAN ANGIN SUBSONIK DENGAN MENGGUNAKAN *CONTRACTION CONE* POLINOMIAL ORDE 5

PERFORMANCE ANALYSIS OF SUBSONIC WIND TUNNEL WITH 5th ORDER POLYNOMIAL CONTRACTION CONE

Mahesa Agni[1], M.Ramdlan Kirom, M.Si.[2], Hertiana Bethaningtyas, S.T., M.T.[3]

[1,2,3]Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Univesitas Telkom mahesaagni09@gmail.com[1], mramdlankirom@telkomuniversity.ac.id [2], hertiana@telkomuniversity.ac.id[3]

ABSTRAK

Terowongan angin adalah sebuah alat untuk membantu proses analisis aliran udara di sekitar benda padat. Terowongan angin terdiri dari motor dan *fan*, *dimer*, *contraction cone* dan *diffuser*. *Contraction cone* adalah salah satu bagian terowongan angin yang mempengaruhi kualitas aliran di dalam *test section*, dalam perancangan *contraction cone* digunakan persamaan polinomial orde 5 yang di temukan oleh Bell dan Mehta. Persamaan polinomial orde 5 pada *contraction cone* mampu menghindari pemisahan aliran, sehingga didapatkan keseragaman aliran pada *test section* [7]. Terowongan angin yang akan dianalisis merupakan terowongan angin subsonik (M < 1) dengan sirkuit terbuka, ukuran test section 25 cm x 25 cm, kecepatan maksimum angin di dalam *test section* terowongan adalah 7 m/s dengan pengaturan tegangan motor 50 v, 70 v, 90 v, 125 v, 175 v. Fluktuasi aliran rata – rata pada pengaturan tegangan motor 50 v sebesar 0,0698 m/s, 70 v sebesar 0,0278 m/s, 90 v sebesar 0,0348 m/s, 125 v sebesar 0,0952 m/s dan 175 v sebesar 0,0952 m/s.

Kata Kunci : Terowongan angin, kecepatan angin, subsonik, polinomial, *contraction cone*

ABSTRACT

The wind tunnel is a tool to help the process analysis of air flow around solid objects. The design of wind tunnel consists of motor and fan, dimer, contraction cone and diffuser. Contraction cone is one part of a wind tunnel that affect the quality of the flow in the test section, the contraction cone design used 5th order polynomial equation are found by Bell and Mehta. 5th order polynomial equation in contraction cone able to avoid flow separation, to obtain uniformity of flow in the test section [7] . Wind tunnel that will be analyzed is the subsonic wind tunnel (M < 1) with open circuit, test section dimension is 25 cm x 25 cm, maximum wind speed in the tunnel is 7 m/s, with setting motor voltage 50 v, 70 v, 90 v, 125 v, 175 v. The average flow fluctuations on setting motor voltage 50 v is 0,0698 m/s, 70 v is 0,0278 m/s, 90 v is 0,0348 m/s, 125 v is 0,0952 m/s and 175 v is 0,0952 m/s.

Keywords : *Wind tunnel, wind Speed, subconic, polynomial, contraction cone*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada era modern ini perkembangan ilmu pengetahuan mengenai aerodinamika semakin meningkat, ilmu mengenai aerodinamika banyak diaplikasikan pada industri pesawat terbang, desain *body* kendaraan bermotor baik mobil maupun sepeda motor dan perancangan turbin angin. Untuk mengetahui pengaruh gaya aerodinamika pada suatu objek diperlukan suatu alat yang digunakan sebagai sarana pengujian.

Dalam dunia aerodinamika dikenal sebuah media uji yang disebut terowongan angin yang berfungsi untuk membantu proses analisis besaran aerodinamika yang dialami suatu benda. Terowongan angin dapat menghasilkan udara dengan kecapatan aliran konstan dan seragam dengan tingkat turbulensi yang rendah. Komponen yang digunakan untuk pembuatan terowongan angin ini diantaranya adalah motor dan *fan*, *test section*, *honeycombs*, *contraction cone* dan *diffuser* [1]. *Contraction cone* adalah salah satu bagian terowongan angin yang mempengaruhi kualitas aliran di dalam *test section*, dalam perancangan *contraction cone* digunakan persamaan polinomial orde 5 yang di temukan oleh Bell dan Mehta. Persamaan polinomial order 5 pada *contraction cone* mampu menghindari pemisahan aliran, sehingga didapatkan keseragaman aliran pada *test section* [7].

1.2. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah:

a. Terowongan angin yang dirancang merupakan Terowongan angin sistem terbuka tipe subsonik.
b. Terowongan angin dibuat dalam skala laboratorium dengan ukuran luas penampang *test section* 250 x 250 mm^2 dan panjang 500 mm.
c. Kecepatan angin dalam *test section* terowongan angin 0-7 m/s.

1.3. Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah

a. Bagaimana pengaruh *contraction cone* yang dirancang menggunakan persamaan polinomial orde 5 di dalam *test section* terowongan angin?
b. Bagaimana distribusi aliran di dalam *test section* terowongan angin?

1.4. Tujuan

Tujuan dari pengerjaan Tugas Akhir ini adalah:

a. Menguji laju aliran di penampang *test section*.
b. Dapat mengetahui distribusi aliran di dalam *test section* terowongan angin.

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini diantaranya adalah:

a. Studi Literatur: Dengan mencari sumber-sumber referinsi yang berkaitan dengan Tugas Akhir.
b. Observasi: Dengan melihat secara langsung terowongan angin yang telah dibuat di Politeknik Negeri Bandung.
c. Interview: Dengan berkonsultasi kepada dosen pembimbing dan rekan-rekan yang telah mengambil Tugas Akhir mengenai turbin angin untuk menambah informasi.

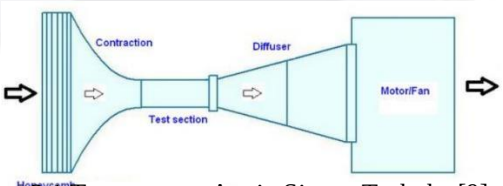
DASAR TEORI

2.1 Terowongan Angin

Terowongan angin adalah sebuah alat untuk membantu proses analisis pengaruh aliran udara di sekitar benda padat. Terowongan angin dapat digunakan untuk mensimulasikan keadaan jenis aliran udara yang sebenarnya pada suatu benda yang berada dalam pengaruh gaya-gaya aerodinamik [9].

2.1.1 Terowongan Angin Sistem Terbuka

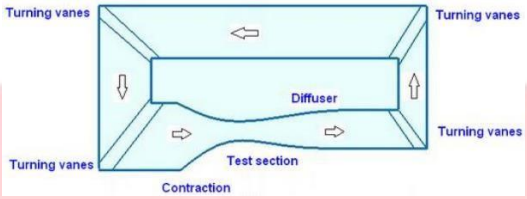
Pada sistem terbuka, udara yang telah dihisap dilepaskan kembali ke lingkungan. Keuntungan penggunaan terowongan angin sistem terbuka adalah biaya konstruksi yang rendah dan tidak menimbulkan masalah jika menyalakan motor pembakaran ketika melakukan visualisasi karena udara yang dialirkan dilepas kembali ke lingkungan. [9].



Gambar 2.1 Terowongan Angin Sistem Terbuka [9]

2.1.2 Terowongan Angin Sistem Tertutup

Sedangkan pada sistem tertutup, udara yang telah dihisap disirkulasikan kembali secara terus menerus. Keuntungan terowongan angin sistem tertutup adalah aliran udara dapat dikendalikan dengan baik dan tidak dipengaruhi udara sekitar. Jika laju penggunaan tinggi maka konsumsi energi yang dibutuhkan lebih kecil dibandingkan terowongan angin sistem terbuka. tingkat kebisingan yang sangat rendah sehingga tidak menimbulkan permasalahan lingkungan.



Gambar 2.2 Terowongan Angin Sistem Tertutup [9]

Baik terowongan angin sistem terbuka maupun tertutup terdapat tiga tipe yang dibedakan berdasarkan perbandingan kecepatan suara, tiga tipe tersesbut adalah [9]:

a. Subsonik: Kecepatan aliran udara lebih kecil dari kecepatan suara.
b. Transonik: Kecepatan aliran udara sama dengan kecepatan suara.
c. Supersonik: Kecepatan aliran udara lebih besar dari kecepatan suara.

2.1.3 Bagian-bagian terowongan angin

Komponen-komponen utama yang digunakan dalam pembuatan terowongan angin diantaranya adalah :

a. Motor

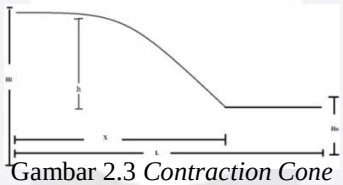
Digunakan sebagai penggerak yang dapat memutar sudu-sudu blower dengan memanfaatkan energi listrik. Posisi motor diletakan di belakang *diffuser* sehingga aliran udara yang masuk kedalam terowongan angin melalui *contraction cone*.

b. *Contraction Cone*

Contraction Cone digunakan untuk meningkatkan kecepatan rata-rata dan mengurangi variasi kecepatan rata-rata yang tidak menentu [7]. Perancangan *contraction cone* dapat menggunakan rumus :

$$h = [-10(\xi^3) + 15(\xi^4) - 6(\xi^5)](\quad - \quad) + \quad \qquad (2.1)$$

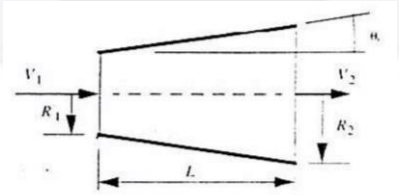
$$\xi = \frac{x}{l}$$



Gambar 2.3 *Contraction Cone*

c. *Diffuser*

Diffuser adalah peralatan mekanik yang dirancang untuk mengontrol karakteristik fluida dan untuk memperlambat kecepatan fluida.



Gambar 2.4 *Difusser* [1]

Bentuk penampang yang digunakan adalah persegi sesuai dengan bentuk *test section*. Sudut yang diperlukan dalam perancangan *difusser* [1]:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\quad - \quad}{l}\right) = \arctan\left(\frac{1}{2} \times \frac{\sqrt{A_g} - 1}{L/D_1}\right) \qquad (2.2)$$

d. *Test section*

Test section merupakan bagian dari terowongan angin yang akan digunakan untuk meletakkan benda atau objek yang akan diuji [9].

e. *Honeycombs*

Dinamakan *honeycombs* karena bentuknya yang menyerupai sarang lebah. *Honeycombs* digunakan untuk menyearahkan aliran sebelum masuk kedalam terowongan angin sehingga alirannya bersifat laminar [1] :

$$V_{hc}=\frac{V_{ts}}{CR} \quad (2.3)$$

Contraction ratio adalah perbandingan luas penampang masukan test section dan luas penampang masukan *Contraction Cone* [5]. Panjang sisi penampang honeycombs dapat dihitung dengan :

$$Re = \frac{\rho . v . \square_h}{\mu} \quad (2.4)$$

Dengan syarat aliran laminar memiliki bilangan Reynold kurang dari atau sama dengan 2100. Untuk menghitung sisi *honeycombs*, misalnya yang berbentuk persegi:

$$\square_h = \frac{(\square^2)}{\square} \qquad \text{Jadi, s = sisi = } D_h \quad (2.5)$$

2.2 Persamaan Fluida Dasar

Fluida mempunyai sifat-sifat yang mempengaruhi keadaan fluida itu sendiri, persamaan fluida dapat digambarkan secara mendasar dengan keadaan *steady*. Keadaan ada gesekan aliran, keadaan aliran yang tidak dapat dimampatkan. Dirumuskan dengan [8]:

a. Persamaan Kontinuitas

$$\int \square_1 . V_1 . \square\square_1 = \int \square_2 . V_2 . \square\square_2 \quad (2.6)$$

Persamaan jika aliran bersifat *incompressible* dan *steady flow*:

$$Q = \square_1 . V_1 = \square_2 . V_2 \quad (2.7)$$

b. Persamaan Bernouli

$$P_1 + \rho . v_1^2 + \rho . g . h_1 = P_2 + \frac{\rho}{2} . v_2^2 + \rho . g . h_2 \quad (2.8)$$

2.3.1 Bilangan Mach

Bilangan Mach (M) adalah perbandingan antara suatu kecepatan fluida terhadap kecepatan suara dalam suatu medium :

$$C=\sqrt{\square\square T} \quad (2.9)$$

Bilangan Mach :

$$M = \frac{V}{\square} \quad (2.10)$$

Besar bilangan Mach pada tipe subsonik adalah kurang dari 1, pada supersonik M lebih besar dari 1, pada transonik M terletak diantara 0,8 dan 1,3, sedangkan pada tipe hipersonik M lebih besar dari 5.

2.3.2 Bilangan Reynold

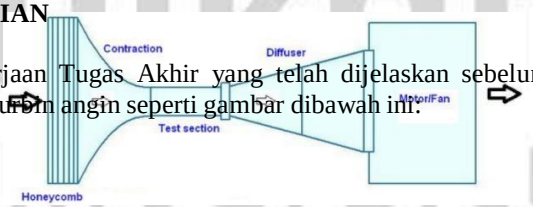
Bilangan Reynold adalah bilanga yang tidak berdimensi yang digunakan untuk menetukan suatu aliran fluida bersifat laminer, transisi atau turbulen [2][3].

$$Re = \frac{\rho . v . D_h}{\mu} \quad (2.11)$$

3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Sesuai dengan tujuan pengerjaan Tugas Akhir yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dibuatlah model terowongan angin untuk pengujian turbin angin seperti gambar dibawah ini:



Gambar 3.1 Terowongan Angin Sistem Terbuka [9]

1. *Test section*

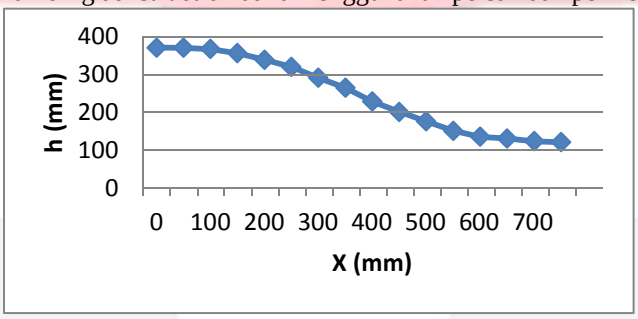
Langkah pertama perancangan terowongan angin adalah dengan menentukan luas *Test section* terlebih dahulu. *Test section* akan dibuat 250 x 250 mm^2 dan panjang 500 mm dengan kecepatan angin yang harus dihasilkan di dalam *Test section* antara 0-7 m/s.

2. *Honeycombs*

Kemudian pengarah udara yang dibuat seperti sarang lebah (*honeycombs*) digunakan agar aliran udara yang dihasilkan bersifat laminar. *Honeycombs* terbuat dari pipa PVC dengan diameter 2,5 cm dan panjang *honeycombs* yang dipakai adalah 10 cm. Untuk perhitungan dapat dilihat di lampiran 1.

3. *Constraction cone*

Perancangan bentuk dinding *constraction cone* menggunakan persamaan polinomial orde 5.



Gambar 3.2 Desain *Contraction Cone*

4. *Diffuser*

Bentuk penampang yang digunakan adalah persegi menyesuaikan dengan bentuk *test section*, perbandingan luas penampang *test section* dan *diffuser* adalah 1:2. Sudut yang digunakan dalam perancangan *difusser* 3.90^o dengan panjang *diffuser* 0,75 m .

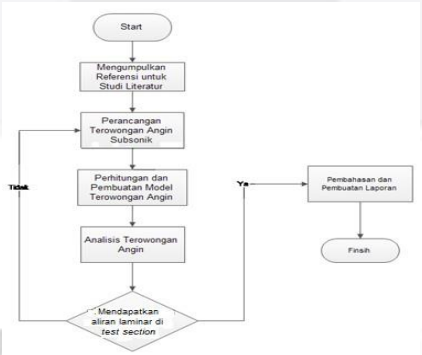
5. Motor

Motor yang digunakan untuk penghasil angin diletakkan di bagian belakang *diffuser*. Untuk perhitungan dapat dilihat di lampiran 1. Spesifikasi motor yang digunakan :

Model : SEKAI IFL 1850 Power : 100 watt

Diameter Fan : 18" = 45,5 cm Voltage : 220v/50 Hz

3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Percobaan

Tabel Hasil Pengukuran Kecepatan Angin di Dalam *Test Section*

Jarak (cm)	Pengaturan tegangan motor 50 v Kecepatan angin (m/s)

	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4	Daerah 5
0	1,55	1,39	1,35	1,54	1,51
10	1,57	1,38	1,31	1,56	1,50
20	1,57	1,38	1,35	1,53	1,50
30	1,50	1,41	1,35	1,51	1,50
40	1,48	1,47	1,34	1,57	1,51
50	1,55	1,44	1,37	1,58	1,48
Kecepatan rata - rata	1,53	1,41	1,34	1,54	1,5
Pengaturan tegangan motor 70 v					
Jarak (cm)	Kecepatan angin				
	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4	Daerah 5
0	2,96	2,91	2,75	2,79	2,92
10	2,96	2,90	2,75	2,78	2,91
20	2,99	2,91	2,74	2,79	2,91
30	2,98	2,93	2,73	2,78	2,90
40	2,94	2,88	2,71	2,79	2,89
50	2,90	2,84	2,62	2,63	2,89
Kecepatan rata - rata	2,95	2,89	2,71	2,76	2,9
Pengaturan tegangan motor 90 v					
Jarak (cm)	Kecepatan angin (m/s)				
	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4	Daerah 5
0	4,33	4,32	4,03	4,04	4,30
10	4,33	4,28	4,01	4,02	4,32
20	4,29	4,32	4,01	4,03	4,30
30	4,29	4,25	4,02	4,07	4,30
40	4,15	4,25	3,91	4,05	4,30
50	4,14	4,22	3,91	3,93	4,28
Kecepatan rata - rata	4,25	4,27	3,98	4,02	4,3
Pengaturan tegangan motor 125 v					
Jarak (cm)	Kecepatan angin (m/s)				
	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4	Daerah 5
0	5,96	5,72	5,58	5,44	5,87
10	5,74	5,82	5,48	5,35	5,88
20	5,62	5,78	5,42	5,32	5,87
30	5,57	5,77	5,37	5,41	5,87
40	5,73	5,70	5,36	5,40	5,87
50	5,61	5,59	5,30	5,23	5,86
Kecepatan rata - rata	5,7	5,73	5,41	5,35	5,87
Pengaturan tegangan motor 175 v					
Jarak (cm)	Kecepatan angin (m/s)				
	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4	Daerah 5
0	7,62	7,58	6,95	6,72	7,38
10	7,66	7,49	6,85	6,82	7,43
20	7,67	7,35	6,74	6,85	7,45
30	7,32	7,35	6,57	6,95	7,36
40	7,36	7,52	6,65	6,85	7,35
50	7,32	7,32	6,55	6,66	7,35
Kecepatan rata - rata	7,49	7,43	6,71	6,8	7,38

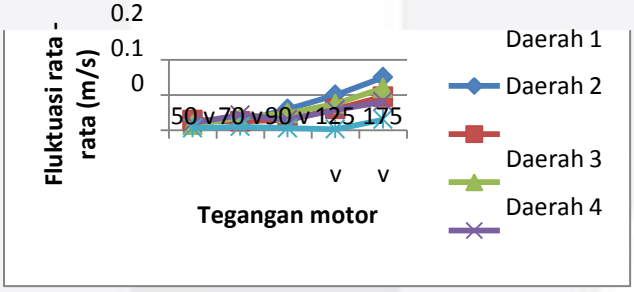
4.2 Analisa Hasil Percobaan

Dari tabel hasil pengukuran dan grafik fungsi kecepatan angin terhadap jarak didapatkan nilai kecepatan angin disetiap daerah pengukuran tidak jauh berbeda, pengaruh jarak pengukuran terhadap kecepatan angin sangat kecil, membuktikan keseragaman aliran udara didalam *test section* cukup baik untuk pengujian turbin angin. Untuk menentukan fluktuasi aliran didalam *test section* dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus simpangan rata – rata dengan hasil sebagai berikut :

Tabel Simpangan Rata – Rata

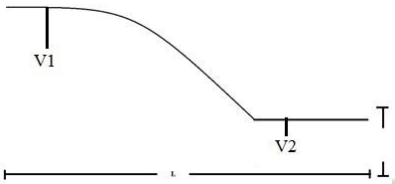
Tegangan	Fluktuasi aliran (m/s)					Fluktuasi Aliran rata – rata (m/s)	Fluktuasi (%)
	Daerah 1	Daerah 2	Daerah 3	Daerah 4	Daerah 5		
50 v	0,03	0,028	0,015	0,021	0,006	0,0698	6,98 %
70 v	0,025	0,025	0,036	0,043	0,01	0,0278	2,78 %
90 v	0,06	0,03	0,048	0,03	0,006	0,0348	3,48 %
125 v	0,1	0,06	0,075	0,058	0,003	0,0595	5,92 %
175 v	0,15	0,095	0,12	0,081	0,03	0,0952	9,52 %

Dari tabel simpangan rata – rata didapatkan fluktuasi aliran udara di dalam *test section* sangat kecil, dengan fluktuasi aliran rata – rata pada pengaturan tegangan motor 50 v sebesar 0,0698 m/s, 70 v sebesar 0,0278 m/s, 90 v sebesar 0,0348 m/s, 125 v sebesar 0,0952 m/s dan 175 v sebesar 0,0952 m/s.



Grafik Fluktuasi Rata - Rata Aliran Udara di Dalam *Test Section*

Setelah itu dilakukan analisis perbandingan kecepatan pada *contraction cone* dengan kecepatan di dalam *test section*.



Gambar 4.3. Kecepatan di V_1 dan V_2

Tabel 4.3 Kecepatan di V_1 dan V_2

Pengaturan tegangan motor	V_1	V_2	
		menggunakan anemometer	menggunakan persamaan kontinuitas
70 v	0,56 m/s	2,95 m/s	5,04 m/s
90 v	0,91 m/s	4,27 m/s	8,19 m/s
125 v	1,22 m/s	5,87 m/s	10,98 m/s
175 v	1,46 m/s	7,5 m/s	13,4 m/s

Dari tabel 4.3 didapatkan bahwa kecepatan di V_2 selalu meningkat ini terjadi karena perbandingan luas penampang di V_1 dan V_2. Setelah itu dilakukan perbandingan kecepatan di V_2 dari hasil pengukuran anemometer dan kecepatan di V_2 dengan menggunakan persamaan kontinuitas. Kecepatan di V_2 hasil pengukuran anemometer dengan kecepatan di V_2 menggunakan persamaan kontinuitas selalu lebih kecil, yaitu pada pengaturan tegangan motor 70 v sebesar 58,53 %, 90 v sebesar 52,13 %, 125 v sebesar 53,46 % dan 175 v sebesar 55,9 %. Hal ini terjadi karena adanya kerugian akibat gesekan fluida dengan dinding terowongan angin, tingkat kepresisian pada pembuatan *honeycombs* dan *contraction cone* yang ukurannya masih kurang tepat dan kondisi angin disekitar pengujian yang tidak bisa di prediksi.

5 KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis terowongan angin dan hasil pengujian aliran udara di dalam *test section* dapat disimpulkan bahwa :

- Perancangan *contraction cone* dengan menggunakan persamaan polinomial orde 5 dapat menghasilkan aliran yang cukup seragam di dalam *test section*. Dimana fluktuasi rata - rata pada tegangan motor 50 v sebesar 0,0698 m/s, 70 v sebesar 0,0278 m/s, 90 v sebesar 0,0348 m/s, 125 v sebesar 0,0592 m/s dan 175 v sebesar 0,0952 m/s, atau berfluktuasi pada tegangan motor 50 v sebesar 6,98 %, 70 v sebesar 2,78 %, 90 v sebesar 3,48 %, 125 v sebesar 5,92 % dan 175 v sebesar 9,52 %. Dari hasil analisis pengaturan tegangan motor tidak berpengaruh terhadap fluktuasi aliran di dalam *test section*.
- Fluktuasi terkecil berada pada daerah 5, ini disebabkan karena daerah 5 berada di tengah – tengah *test section* sehingga aliran udara tidak terganggu oleh gesekan fluida terhadap dinding *test section*.

5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka penulis memberikan saran agar tugas akhir dapat dikembangkan menjadi lebih baik lagi. Berikut saran yang dapat disampaikan penulis, antara lain:

- Apabila terowongan angin akan digunakan untuk penelitian yang lebih mendalam tentang karakteristik aliran, maka harus dipergunakan alat pengukuran kecepatan angin yang lebih akurat, seperti *hot wire anemometer* dan *pitot static tube* yang dilengkapi dengan akuisisi data untuk merekam data hasil pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Raharjo, Irwan. (2005). *Perancangan dan Pembuatan Terowongan Angin*. Universitas Kristen Petra, Jurusan Teknik Mesin. Surabaya

[2] Munson, Bruce. R, Donald F.Young & Theodore H.Okhiisi. 2003. *Mekanika Fluida*. Jilid 1. (Dr. Ir. Harinaldi & Ir. Budiarso, M.Eng). Erlangga. Jakarta

[3] Munson, Bruce. R, Donald F.Young & Theodore H.Okhiisi. 2003. *Mekanika Fluida*. Jilid 2. (Dr. Ir. Harinaldi & Ir. Budiarso, M.Eng). Erlangga. Jakarta

[4] Boudreau, Harold Sherwood. (2009). *Design, Construction, and Testing of an Open Atmospheric Boundary Layer Wind Tunnel*. University of Florida, Civil Engineering. USA

[5] Mehta, R.D, Bradshaw, P. (1979). *Design Rules for Small Low-Speed Wind Tunnels*. The Aeronautical Journal of the Royal Aeronautical Society, Vol.73, P.443

[6] Ikhsan, Ikhwanul, Hipi, Akbar. M. (2011). *Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Kinerja Kincir Angin Tipe Propeller Pada Wind Tunnel Sederhana*. Universitas Hasanuddin, Jurusan Teknik Mesin. Makassar

[7] Bell, J. H., and R. D. Mehta. (1988). *Contraction Design for Small Low Speed Wind Tunnels*. Stanford University. Department of Aeronautics and Astronaoutics. USA

[8] Dalal, Vikas. (2013). *Designing and Construction of Low Speed Wind Tunnel WiWuTo investigate the robustness of small model aircrafts and launcher controllers*. University of Würzburg, German