

DESAIN DAN RANCANG BANGUN ALAT UJI "OPEN CIRCUIT WIND TUNNEL TIPE SUBSONIC"

Paul David Rey ¹⁾, Amiral Aziz ²⁾, Dudung Hermawan ³⁾ Muhammad Fahmi Nurkhozin ⁴⁾

^{1,2,3,4)} Jurusan Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam As-Syafi'iyah

²⁾ Balai Besar Teknologi Konversi Energi BPPT

Corresponding Author: david_rey76@yahoo.com

ABSTRAK

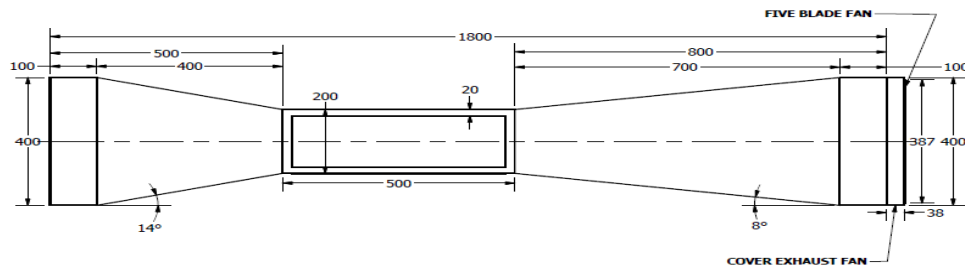
Wind Tunnel adalah sebagai alat bantu pengujian sifat aerodinamika suatu model benda seperti pesawat terbang, kapal, bangunan dan lain sebagainya. Wind Tunnel terdiri dari 3 komponen utama test section, contraction dan diffuser, sebagai penggeraknya menggunakan exhaust fan. Tujuan penelitian adalah mendesain dan merancang bangun alat uji open circuit wind tunnel tipe subsonic serta melakukan pengujian fungsional dan pengambilan data. Adapun kegiatan yang dilakukan antara lain melakukan perhitungan untuk komponen utama, membuat gambar kerja, pemilihan bahan untuk membuat alat uji, percobaan fungsi kerja alat dan pengambilan data untuk membandingkan hasil perhitungan terhadap hasil kerja alat. Kemudian alat ini dapat digunakan untuk praktikum mahasiswa di laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam As-syafi'iyah. Wind Tunnel ini berupa open circuit tipe subsonic ($M < 1$), dimana dimensi test section 0,2 m x 0,2 m x 0,5, dengan kecepatan angin maksimumnya 4 m/s besarnya $M = 0,0114$, dimensi contraction penampang masuk 0,4 m x 0,4 m dan keluar 0,2 m x 0,2 m x 0,5 m, dengan kecepatan angin maksimumnya 2,4 m/s besarnya $M = 0,00172$, dan dimensi diffuser penampang masuk 0,2 m x 0,2 m dan keluar 0,4 m x 0,4 m x 0,8 m, dengan kecepatan maksimumnya sama dengan ke-cepatan di test section 4 m/s besarnya $M = 0,00286$.

Kata kunci: *Wind tunnel*, desain, proses fabrikasi, *tipe subsonic*

I PENDAHULUAN

Pada era modern ini perkembangan ilmu pengetahuan mengenai aero-dinamika semakin meningkat, khususnya terowongan angin. Aerodinamika adalah ilmu yang mempelajari tentang udara yang mengalir, yang biasanya dikaitkan dengan udara di atmosfer. Terowongan angin pertama kali dibuat oleh Francis Wenham dan John Browning dari Inggris pada tahun 1871 berdasarkan keinginan untuk mensimulasikan penerbangan dalam atmosfir ^(4, 9). Dalam dunia aerodinamika dikenal sebuah alat uji yang disebut wind tunnel yang berfungsi untuk membantu proses analisis besaran aerodinamika yang dialami suatu benda. Wind tunnel dapat menghasilkan udara dengan kecepatan aliran konstan dan seragam dengan tingkat turbulensi yang rendah ⁽⁹⁾. Wind tunnel terbagi menjadi 2 jenis, yaitu Open Circuit (Saluran Terbuka) Close Circuit (Saluran Tertutup). Hal ini tentu membutuhkan kegiatan dan sarana penelitian yang menunjang. Berbagai penelitian yang sudah dilakukan, menunjukkan bahwa kebutuhan terowongan angin mampu dengan skala penuh dengan alat pendukung dan

instrument ukur yang memadai untuk menguji kemampuan bangunan angin turbin pengembangannya adalah sangat penting ⁽¹⁰⁾. Adapun tujuan penelitian ini adalah mendesain dan merancang bangun Alat Uji "Open Circuit Wind Tunnel Tipe Subsonic" (Terowongan Angin Subsonik Tipe Rangkaian Terbuka) serta melakukan pengujian fungsional dan pengambilan data dimana data tersebut akan digunakan untuk membandingkan dengan hasil perhitungan. Kemudian alat ini dapat digunakan untuk praktikum Mahasiswa di labora-torium Fenomena Dasar Mesin Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam As-syafi'iyah.

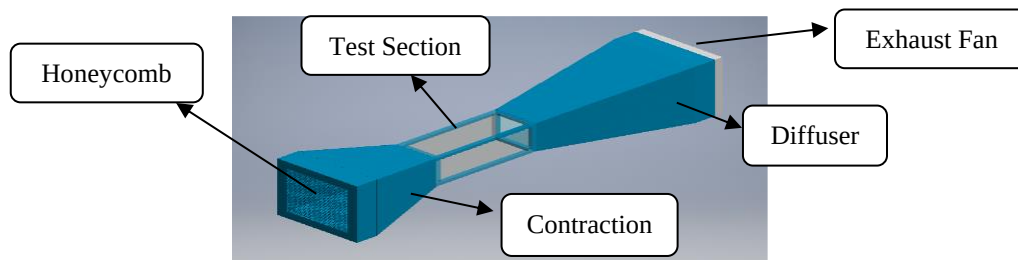


Gambar 1. Desain alat uji *wind tunnel*

II STUDI PUSTAKA

2.1. Pengertian *Wind Tunnel* (Terowongan Angin)

Wind Tunnel adalah suatu alat riset yang dikembangkan untuk membantu proses analisis pengaruh aliran udara yang bergerak pada sekitar objek padat. Model ditempatkan didalam test section wind tunnel, model diasumsikan diam dan udara bergerak dengan kecepatan tertentu (9, 14). Seorang anggota Aeronautical Society Great Brain bernama Frank H. Wenham (1824 – 1908), yang pertama kali membangun wind tunnel. Wind tunnel telah digunakan dalam waktu yang sangat lama untuk memverifikasi teori aerodinamis dari memfasilitasi desain pesawat khususnya untuk aplikasi didunia penerbangan ⁽¹⁰⁾. Wind Tunnel adalah salah satu alat percobaan yang sangat penting dalam mempelajari aerodinamika di bagian komponen test section yang berupa benda uji. Benda uji yang ingin dipelajari dapat berupa miniatur pesawat terbang, pesawat ulang alik, kubus, mobil dan sebagainya. Di mana terowongan ini berfungsi menghasilkan aliran angin dengan kecepatan yang seragam dengan tingkat turbulensi serendah mungkin pada saat aliran mencapai test section ⁽¹⁾. Hingga saat ini dan kedepannya, penelitian aerodinamika telah diperluas ke bidang ilmu pengetahuan lain seperti otomotif, teknik sipil, lingkungan, arsitektur dan lainnya, maka alat uji wind tunnel menjadi sangat penting sebagai keputusan dalam menentukan proses desain ⁽¹⁰⁾.



Gambar 2. Alat uji wind tunnel yang dirancang

2.1. Klasifikasi Wind Tunnel

Wind tunnel dapat diklasifikasikan dan disesuaikan dengan masing-masing kecepatan udara dari terowongan udara yang dibuatnya. Wind Tunnel memiliki 5 jenis sebagai berikut ⁽⁴⁾:

a) Subsonic Wind Tunnel

Yaitu digunakan pada operasi bilangan *Mach* yang sangat rendah (*incompressible*), dengan kecepatan di *test section* (seksi uji) sampai dengan ($M < 0,3$), sedangkan untuk kecepatan *subsonic* bilangan *Mach* ($M < 1$) ^(4, 10).

b) High Subsonic Wind Tunnel

Memiliki kecepatan mencapai ($0,4 < M < 0,75$). Didesain dengan prinsip yang sama dengan *subsonic wind tunnel* ^(4, 10).

c) Transonic Wind Tunnel

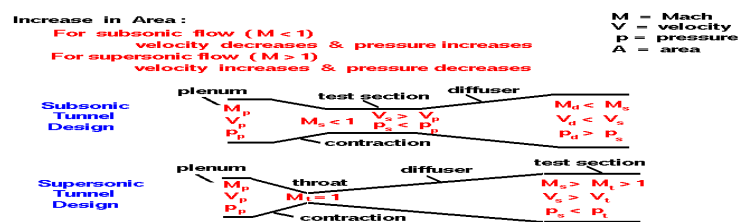
Memiliki kecepatan mencapai ($0,9 < M < 1,2$). Dapat mencapai kecepatan mendekati kecepatan suara, kecepatan tertinggi diraih ketika pada seksi uji (*test section*) ⁽⁴⁾.

d) Supersonic Wind Tunnel

Wind tunnel jenis ini dapat menghasilkan kecepatan *supersonic* mencapai ($1,2 < M < 5$) ^(4, 10).

e) Hypersonic Wind Tunnel

Wind tunnel jenis ini dapat menghasilkan kecepatan di *test section* ($5 < M < 15$) ^(4, 10).



Gambar 3. Desain wind tunnel ⁽¹⁰⁾

III METODOLOGI PENELITIAN.

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur dan lapangan langsung untuk kemudian dijadikan referensi untuk melakukan metode penelitian sebagai berikut:

1. Perhitungan komponen utama wind tunnel
2. Pembuatan gambar teknik 2D & 3D wind tunnel
3. Melakukan proses fabrikasi alat uji wind tunnel

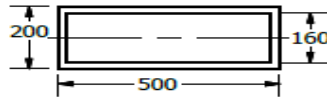
4. Melakukan Uji fungsional dan percobaan alat uji
5. Pengumpulan dan pengolahan data
6. Menyimpulkan dari hasil pengolahan data.

IV HASIL PERANCANGAN DAN PENGUJIAN.

4.1 Perhitungan Test Section.

Dimensi *test section* = 0,2 m x 0,2 m x 0,5 m

Kecepatan udara (v) maksimum di *test section* = 4 m/s



Gambar 5. Dimensi *test section*

Besarnya Bilangan Mach pada *test section*.

$$M = \frac{v}{c}$$

$$M = \frac{4 \text{ m/s}}{349,40 \text{ m/s}}$$

$$M = 0,0114$$

Karena $M < 1$ pada *test section*, maka alat uji *wind tunnel* ini menggunakan aliran tipe *subsonic*.

Kecepatan suara pada *test section*.

$$C = \sqrt{k \cdot R \cdot T}$$

$$C = \sqrt{1,4 \times 287 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \times (30,7^\circ\text{C} + 273,15 \text{ K})}$$

$$C = 349,40 \text{ m/s}$$

Massa jenis fluida (ρ) atau udara tergantung pada suhu ruangan ($30,7^\circ\text{C}$), maka untuk (ρ) dihitung terlebih dahulu:

$$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3 \left(\frac{Pr}{101,325 \text{ KPa}} \right) \left(\frac{288,15^\circ\text{C}}{273,15 \text{ K} + T} \right)$$

$$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3 \times \left(\frac{1,013 \times 10^2 \text{ KPa}}{101,325 \text{ KPa}} \right) \times \left(\frac{288,15^\circ\text{C}}{273,15 \text{ K} + 30,7^\circ\text{C}} \right)$$

$$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3 \times \left(\frac{288,15^\circ\text{C}}{303,85^\circ\text{C}} \right)$$

$$\rho = 1,162 \text{ kg/m}^3$$

Laju aliran masa (*massa flow rate*) pada *test section* juga mengikuti persamaan *kontinuitas*, maka laju aliran masa pada seluruh sistem *wind tunnel* berbanding sama.

$$\dot{m} = \rho \cdot Q$$

$$\dot{m} = 1,162 \text{ kg/m}^3 \times 0,136 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = 0,158 \text{ kg/s}$$

Debit aliran pada *test section* dilambangkan dengan (Q), berdasarkan persamaan *kontinuitas*, maka debit aliran diseluruh sistem *wind tunnel* berbanding sama.

$$Q = A \cdot v$$

$$Q = 0,034 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m/s}$$

$$Q = 0,136 \text{ m}^3/\text{s}$$

Maka Bilangan Reynold (Re) aliran yang terjadi di *test section*.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_h}{\mu}$$

$$Re = \frac{1,162 \text{ kg/m}^3 \times 4 \text{ m/s} \times 0,2 \text{ m/s}}{1,86 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}}$$

$$Re = 49978,49462$$

$$Re = 4,9 \times 10^4$$

Untuk menguji jenis aliran, terlebih dahulu mencari Bilangan Reynold (Re) sejauh x (Re_x), maka nilai x yaitu dihitung dari panjang *test section*.

$$Re_x = \frac{\rho \cdot v \cdot x}{\mu}$$

$$Re_x = \frac{1,162 \text{ kg/m}^3 \times 4 \text{ m/s} \times 0,5 \text{ m/s}}{1,86 \times 10^{-5}}$$

$$Re_x = 124946,2366$$

$$Re_x = 1,2 \times 10^5$$

Boundry Layer Thickness (ketebalan lapisan batas) yang terjadi pada *test section* pada satu sisi dicari nilai Re_x adalah $1,2 \times 10^5$, nilai Re_x nya masuk kedalam tipe aliran transisi, jadi bisa disebut dengan aliran laminar.

$$\delta = \frac{4,91 \cdot x}{Re_x^{0.5}}$$

$$\delta = \frac{4,91 \times 0,5 \text{ m}}{(1,2 \times 10^5)^{0.5}}$$

$$\delta = 7,087 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Dimensi luas atau penampang (A_3) pada bagian keluar *test section*.

$$\text{Luas } (A_3) = a - (2 \cdot \delta) \times a - (2 \cdot \delta)$$

$$\text{Luas } (A_3) = 0,2 \text{ m} - (2 \times 0,007087 \text{ m}) \times 0,2 \text{ m} - (2 \times 0,007087 \text{ m})$$

$$\text{Luas } (A_3) = 0,186 \text{ m} \times 0,186 \text{ m}$$

$$\text{Luas } (A_3) = 0,034 \text{ m}^2$$

Untuk menghitung Bilangan Reynold, terlebih dahulu mencari besar Diameter hidrolik (D_h) dari penampang *test section*.

$$D_h = \frac{4 \cdot a^2}{4 \cdot a} = a$$

$$D_h = \frac{4 \times 0,2^2}{4 \times 0,2} = a$$

$$D_h = \frac{0,16}{0,8} = 0,2 \text{ m}$$

Tekanan udara statis luar (P_0) berdasarkan Teori Torricelli atau tekanan udara standar.

$$P_0 = 101396,16 \text{ N/m}^2 = 101396,16 \text{ Pa}$$

Tekanan Dinamis (P_{dy}) didalam *test section*.

$$P_{dy} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

$$P_{dy} = \frac{1}{2} \times 1,162 \text{ kg/m}^3 \times (4)^2 \text{ m/s}$$

$$P_{dy} = 9,296 \text{ Pa}$$

Tekanan Statis (P_s) didalam *test section*.

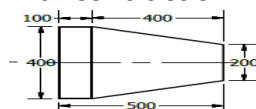
$$P_s = P_0 - P_{dy}$$

$$P_s = 101396,16 \text{ Pa} - 9,296 \text{ Pa}$$

$$P_s = 101386,864 \text{ Pa}$$

4.2 Perhitungan *Contraction*

Kecepatan udara (v) maksimum di *contraction* = 2,4 m/s.



Gambar 6. Dimensi *contraction*

Besarnya Bilangan Mach pada *contraction*.

$$M = \frac{v}{c}$$

$$M = \frac{0,6 \text{ m/s}}{349,40 \text{ m/s}}$$

$$M = 0,00172$$

Bilangan Reynold (Re) aliran yang terjadi di *contraction* pada saluran masuk.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_h}{\mu}$$

$$Re = \frac{1,162 \text{ kg/m}^3 \times 0,6 \text{ m/s} \times 0,4 \text{ m}}{1,86 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 14993,54839$$

$$Re = 1,4 \times 10^4$$

Bilangan Reynold (Re) aliran yang terjadi di *contraction* pada saluran keluar.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_h}{\mu}$$

$$Re = \frac{1,162 \text{ kg/m}^3 \times 2,4 \text{ m/s} \times 0,2 \text{ m}}{1,86 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 29987,096777$$

$$Re = 2,9 \times 10^4$$

Untuk menguji jenis aliran, dicari dahulu Bilangan Reynold (Re) sejauh x (Re_x), nilai x dihitung dari panjang *contraction*.

$$Re_x = \frac{\rho \cdot v \cdot x}{\mu}$$

$$Re_x = \frac{1,162 \text{ kg/m}^3 \times 2,4 \text{ m/s} \times 0,5 \text{ m}}{1,86 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}}$$

$$Re_x = 74967,74194$$

$$Re_x = 7,4 \times 10^4$$

Dimensi luas atau penampang (A1) pada daerah masuk *contraction*.

$$\text{Luas (A1)} = s^2$$

$$\text{Luas (A1)} = (0,4 \text{ m})^2$$

$$\text{Luas (A1)} = 0,16 \text{ m}^2$$

Untuk menghitung Bilangan Reynold, terlebih dahulu mencari besar Diameter hidrolis (D_h) dari penampang *contraction*.

Diameter hidrolis (D_h) *contraction* pada saluran masuk.

$$D_h = \frac{4 \cdot a^2}{4 \cdot a} = a$$

$$D_h = \frac{4 \times 0,4^2}{4 \times 0,4} = 0,4 \text{ m}$$

Diameter hidrolis (D_h) *contraction* pada saluran keluar.

$$D_h = \frac{4 \cdot a^2}{4 \cdot a} = a$$

$$D_h = \frac{4 \times 0,2^2}{4 \times 0,2} = 0,2 \text{ m}$$

Tekanan udara statis luar (P₀) berdasarkan Teori Torricelli atau tekanan udara standar.

$$P_0 = 101396,16 \text{ N/m}^2 = 101396,16 \text{ Pa}$$

Tekanan Dinamis (P_{dy}) didalam *contraction*.

$$P_{dy} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

$$P_{dy} = \frac{1}{2} \times 1,162 \text{ kg/m}^3 \times (2,4)^2 \text{ m/s}$$

$$P_{dy} = 3,346 \text{ Pa}$$

Tekanan Statis (P_s) didalam *contraction*.

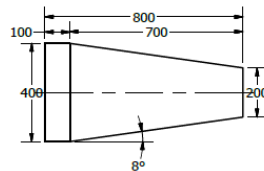
$$P_s = P_0 - P_{dy}$$

$$P_s = 101396,16 \text{ Pa} - 3,346 \text{ Pa}$$

$$P_s = 101392,814 \text{ Pa}$$

4.3 Perhitungan *Diffuser*

Besarnya Bilangan Mach pada *diffuser*.



Gambar 7. Dimensi *diffuser*

$$M = \frac{v}{c}$$

$$M = \frac{1 \text{ m/s}}{349,40 \text{ m/s}}$$

$$M = 0,00286$$

Karena $M < 1$ pada *diffuser*, maka alat uji *wind tunnel* ini menggunakan aliran tipe *subsonic*. Kecepatan suara pada *diffuser*.

$$c = \sqrt{k \cdot R \cdot T}$$

$$c = \sqrt{1,4 \times 287 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \times (30,7^\circ\text{C} + 273,15 \text{ K})}$$

$$c = 349,40 \text{ m/s}$$

Kecepatan di A3 sama dengan kecepatan di *test section* bisa disebut v_3 .

$$A_{ts} \cdot v_{ts} = A_{du} \cdot v_{du}$$

$$v_d = \frac{A_{ts} \times v_{ts}}{A_{du}}$$

$$v_d = \frac{0,04 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m/s}}{0,04 \text{ m}^2}$$

$$v_d = 4 \text{ m/s}$$

Bilangan Reynold (Re) aliran yang terjadi di *diffuser* pada saluran masuk.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_h}{\mu}$$

$$Re = \frac{1,162 \text{ kg/m}^3 \times 4 \text{ m/s} \times 0,2 \text{ m}}{1,86 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}}$$

$$Re = 49978,49462$$

$$Re = 4,9 \times 10^4$$

Bilangan Reynold (Re) aliran yang terjadi di *diffuser* pada saluran keluar.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D_h}{\mu}$$

$$Re = \frac{1,162 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ m/s} \times 0,4 \text{ m}}{1,86 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}}$$

$$Re = 24989,24731$$

$$Re = 2,4 \times 10^4$$

Untuk menguji jenis aliran, dicari dahulu Bilangan Reynold (Re) sejauh x (Re_x), nilai x dihitung dari panjang *diffuser*.

$$Re_x = \frac{\rho \cdot v \cdot x}{\mu}$$

$$Re_x = \frac{1,162 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ m/s} \times 0,8 \text{ m/s}}{1,86 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}}$$

$$Re_x = 49978,49462$$

$$Re_x = 4,9 \times 10^4$$

Dimensi luas atau penampang (A_4) pada bagian keluar *diffuser*.

$$\text{Luas } (A_4) = s^2$$

$$\text{Luas } (A_4) = (0,4 \text{ m})^2$$

$$\text{Luas } (A_4) = 0,16 \text{ m}^2$$

Untuk menghitung Bilangan Reynold, terlebih dahulu mencari besar Diameter hidrolis (D_h) dari penampang *diffuser*.

Diameter hidrolis (D_h) *diffuser* pada saluran masuk.

$$D_h = \frac{4 \cdot a^2}{4 \cdot a} = a$$

$$D_h = \frac{4 \times 0,2^2}{4 \times 0,2} = 0,2 \text{ m}$$

Diameter hidrolis (D_h) *diffuser* pada saluran keluar.

$$D_h = \frac{4 \cdot a^2}{4 \cdot a} = a$$

$$D_h = \frac{4 \times 0,4^2}{4 \times 0,4} = 0,4 \text{ m}$$

Tekanan udara statis luar (P_0) berdasarkan Teori *Torricelli* atau tekanan udara standar.

$$P_0 = 101396,16 \text{ N/m}^2 = 101396,16 \text{ Pa}$$

Tekanan Dinamis (P_{dy}) didalam *diffuser*.

$$P_{dy} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

$$P_{dy} = \frac{1}{2} \times 1,62 \text{ kg/m}^3 \times (1)^2 \text{ m/s}$$

$$P_{dy} = 0,581 \text{ Pa}$$

Tekanan Statis (P_s) didalam *diffuser*.

$$P_s = P_0 - P_{dy}$$

$$P_s = 101396,16 \text{ Pa} - 0,581 \text{ Pa}$$

$$P_s = 101395,579 \text{ Pa}$$

Tabel 1. Hasil perhitungan penelitian pada alat uji *wind tunnel*

NO.	HASIL	NAMA KOMPONEN UTAMA		
		TEST SECTION	CONTRACTION	DIFFUSER
1	Massa Jenis Fluida (ρ)	1,162 kg/m ³	1,162 kg/m ³	1,162 kg/m ³
2	Kecepatan Suara (c)	349,40 m/s	349,40 m/s	349,40 m/s
3	Laju aliran massa ($\dot{m}$)	0,158 kg/s	0,158 kg/s	0,158 kg/s
4	Bilangan Mach (M)	0,0115	0,00129	0,00286
5	Diameter hidrolis (D_h)			
	Saluran Masuk	0,2 m	0,4 m	0,2 m
	Saluran Keluar		0,2 m	0,4 m

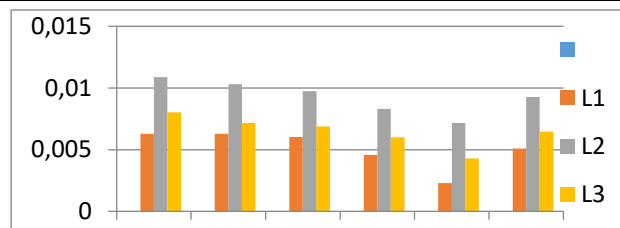
6	Debit Aliran (Q)	0,136 m ³ /s		
7	Kecepatan Udara (v)			
	Sisi Masuk	4 m/s	0,6 m/s (V1)	4 m/s (V3)
	Sisi Keluar		2,4 m/s (V2)	1 m/s (V4)
8	Luas Penampang (A) Bagian Masuk Bagian Keluar	0,04 m ² (A2) 0,034 m ² (A3)	0,16 m ² (A1) 0,04 m ² (A2)	0,04 m ² (A3) 0,16 m ² (A4)
9	Bilangan Reynold (Re)			
	Saluran Masuk	4,9 x 10 ⁴	1,4 x 10 ⁴	4,9 x 10 ⁵
	Saluran Keluar		2,9 x 10 ⁴	2,4 x 10 ⁴
10	Bilangan Reynold "Panjang" (Re _x)	1,2 x 10 ⁵	7,4 x 10 ⁴	4,9 x 10 ⁴
11	Boundry Layer Thickness (δ)	7,087 x 10 ⁻³ m		
12	Tekanan Udara Statis Luar (P ₀)	101396,16 Pa	101396,16 Pa	101396,16 Pa
13	Tekanan Dinamis (P _{dy})	9,296 Pa	3,346 Pa	0,581 Pa
14	Tekanan Statis (P _s)	101386,864 Pa	101392,814 Pa	101395,579 Pa

4.4. Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian yang dilakukan menggunakan alat ukur anemometer dengan durasi 20 detik maka dapat diketahui nilai kecepatan angin pada setiap lokasi yang telah ditentukan pada alat ini. Kemudian dengan data tersebut maka akan dihitung untuk mendapatkan Bilangan Mach number, Bilangan Reynold number dan Coefisien Drag.

Tabel 2. Hasil data perhitungan Bilangan Mach

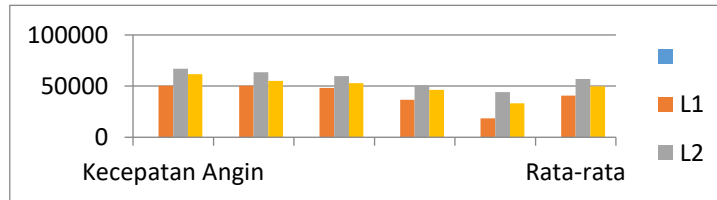
Lokasi Anemometer	Kecepatan Angin					Rata-rata
	v ₁ (100%)	v ₂ (80%)	v ₃ (60%)	v ₄ (40%)	v ₅ (20%)	
L1	0.006296	0.006296	0.006017	0.004581	0.00229	0.005096
L2	0.010878	0.010303	0.009733	0.008299	0.007157	0.009274
L3	0.008016	0.007157	0.00687	0.006012	0.004295	0.00647



Gambar 8. Grafik hasil perhitungan Bilangan Mach

Tabel 3. Hasil data perhitungan Bilangan Reynold

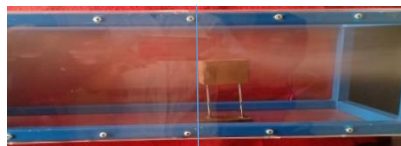
Lokasi Anemometer	Kecepatan Angin					Rata-rata
	v ₁ (100%)	v ₂ (80%)	v ₃ (60%)	v ₄ (40%)	v ₅ (20%)	
L1	50462.5	50462.5	48168.75	36700	18350	40828.75
L2	66975	63450	59925	51112.5	44062.5	57105
L3	61775	55156.25	52950	46331.25	33093.75	49861.25



Gambar 9. Grafik hasil perhitungan Bilangan Reynold

4.5 Pengujian Bentuk Profil Aliran Udara

Dari hasil percobaan yang dilakukan menggunakan mesin kabut / fogging dapat dilihat bentuk profil aliran tersebut seperti dibawah ini:



Gambar 10. Pengujian bentuk aliran udara cube



Gambar 11. Pengujian bentuk aliran udara streamlined body



Gambar 12. Pengujian bentuk aliran udara sphere



Gambar 13. Pengujian bentuk aliran udara trailer

V KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian untuk alat uji wind tunnel, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai Mach *number* pada komponen utama alat uji *wind tunnel* (*test section*, *contraction*, dan *diffuser*) dirancang untuk $M < 1$, sehingga alat uji ini mempunyai *tipe subsonic*.
2. Berdasarkan Table-2 hasil pengujian, nilai Mach Number untuk alat uji ini $M < 1$ sehingga sesuai dengan perancangan oleh karena itu alat uji ini mempunyai *tipe subsonic*.
Karna masih ada beberapa kekurangan dari alat uji wind tunnel ini maka disarankan melanjutkan penelitian ini untuk menyempurnakan peralatan ini diantaranya menambahkan alat ukur tekanan, flow meter dan sebagainya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh LPPM Universitas Islam As-Syafi'iyah Jakarta Kontrak Penelitian Nomor: 27/0202/LPPM-UIA/VI/2020

DAFTAR PUSTAKA

- Ageng, Agus, Riyadi. (2010). Pembuatan Dan Pengujian Terowongan Angin Kecepatan Rendah Tipe Terbuka (Open Circuit Low Speed Wind Tunnel). Skripsi. Universitas Lampung.
- Bilangan Reynold, <http://triapambudi.blogspot.com>, diperoleh 18 Agustus 2019.
- Bruce R. Munson, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, 2002. *Dasar- Dasar Mekanika Fluida*. Edisi Keempat. John Wiley & Sons, Inc.
- Bruce R. Munson, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, 2003. *Mekanika Fluida Jilid 1 & 2*. (Dr. Ir. Harinaldi & Ir. Budiarmo, M.Eng). Edisi Keempat. Erlangga. Jakarta.
- C.S. Kusumohadi, N.G. Yoga, H. Arrozi. (2015). *Perancangan Awal Terowongan Angin Kecepatan Rendah Untuk Pengujian Otomotif*. Science and Engineering National Seminar 1, 7-17.
- Hanifah, S. (2015). *Analisis Distribusi Kecepatan Aliran Wind Tunnel Tipe Terbuka*. Tugas Akhir. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Mahesa Agni, M.Ramdlan Kirom, M.Si., Hertiana Bethaningtyas, S.T., M.T. (2015). *Analisis Kinerja Terowongan Angin Subsonik Dengan Menggunakan Contraction Cone Polinomial Orde 5*, 2(3), 7368-7375.
- Prasetyo. (2018). Rancang Bangun Alat Uji Open Circuit Wind Tunnel Tipe Subsonic. Tugas Akhir. Universitas Darma Persada. Jakarta..