

INVESTIGASI PARAMETER KINERJA ALAT UJI OPEN CIRCUIT WIND TUNNEL TIPE SUBSONIC

Investigation of The Performance Parameters Of Subsonic Type Open Circuit Wind Tunnel Test Equipment

Rio Hermawan¹⁾, Amiral Aziz^{1 2)}, Paul David Rey¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Mesin Universitas Islam Assyafi'iyah Jakarta

²⁾Balai Besar Teknologi Konversi Energi BPPT

Email : rih8531@gmail.com

ABSTRACT

Wind tunnel is a device used to test aerodynamics of a model. In the investigation of wind tunnel data taken using an anemometer that is wind tunnel speed and temperature, in order to find Reynold number and Mach number. To find the drag force the test is carried out with cube, sphere, streamlined body and trailer models in the test section. The wind tunnel to be investigated is a subsonic type wind tunnel ($M < 1$), and the fluid flow is turbulent where the Reynold number is more than 4000. The results of the average Mach values are $L_1 = 0.005096$, $L_2 = 0.009274$, $L_3 = 0.00647$. the results of the average value of Reynold number are $L_1 = 40828.75$, $L_2 = 57105$, $L_3 = 49861.25$. the average value of drag force on the cube model = 0.0059442, sphere = 0.0271092, streamlined body = 0.0000282, trailer = 0.0030782.

Keywords: *Wind Tunnel, Subsonic*

ABSTRAK

Wind tunnel adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengujian aerodinamika terhadap sebuah model. Dalam investigasi wind tunnel data yang di ambil dengan menggunakan anemometer yaitu kecepatan angin dan temperatur, agar dapat mencari bilangan Reynold dan bilangan Mach. Untuk mencari drag force pengujian dilakukan dengan model cube, sphere, streamlined body dan trailer pada test section. Wind tunnel yang akan di Investigasi merupakan wind tunnel tipe subsonic ($M < 1$), dan aliran fluidanya adalah turbulen dimana bilangan Reynold lebih dari 4000. Hasil nilai rata-rata bilangan Mach adalah $L_1 = 0.005096$, $L_2 = 0.009274$, $L_3 = 0.00647$. Hasil nilai rata-rata bilangan Reynold adalah $L_1 = 40828.75$, $L_2 = 57105$, $L_3 = 49861.25$. Nilai rata-rata drag force pada model cube = 0.0059442, sphere = 0.0271092, streamlined body = 0.0000282, trailer = 0.0030782.

Kata Kunci : *Wind Tunnel, Subsonic*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wind tunnel adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengujian aerodinamika terhadap sebuah model, seperti pesawat atau mobil. *Wind tunnel* biasanya digunakan untuk mensimulasi sebuah kondisi aliran udara terhadap suatu model. Salah satu syarat *wind tunnel* layak digunakan untuk melakukan pengujian adalah aliran *wind tunnel* harus seragam. Untuk mengetahui apakah distribusi aliran dalam *wind tunnel* tersebut seragam atau tidak, maka diperlukan suatu pengujian kecepatan aliran.⁽¹⁰⁾

Pada tahun 1871 *Francis Wenham* dan *Jhon Browning* membuat terowongan angin untuk pertama kalinya. Untuk menunjang penelitian aeronautika dan non aeronautika, diperlukan sarana penelitian aerodinamika berkecepatan rendah oleh karna itu dirancang sebuah *wind tunnel* berskala laboratorium

dengan fasilitas penunjang yang diharapkan dapat memenuhi kebutuhan penelitian yang berkaitan dengan bidang aerodinamika. Menurut bentuk *wind tunnel* ada dua jenis yang cukup dikenal, yaitu : saluran terbuka (*Open Circuit*) dan saluran tertutup (*Close Circuit*).⁽¹⁸⁾

Keberadaan *wind tunnel* di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam As-syafi'iyah dimaksudkan untuk mendukung pengujian dan memfasilitasi penelitian dibidang aerodinamika. *Wind tunnel* tersebut dirancang dan dibuat oleh mahasiswa Teknik Mesin Universitas Islam Assyafi'iyah dalam rangka menuntaskan skripsi.

Pada pengujian distribusi kecepatan aliran *wind tunnel*, pada titik uji aliran yang digunakan untuk mengukur karakteristik aliran pada *wind tunnel* terdapat pada *exhaust fan*. Pengujian distribusi kecepatan aliran *wind tunnel* sebelumnya dilakukan dengan

menggunakan anemometer. Cara kerja anemometer sangat sederhana, adalah dengan adanya hembusan angin dari *wind tunnel* yang mengenai baling-baling *anemometer*, kemudian baling-baling tersebut akan berputar dengan kecepatan tertentu, kecepatan putaran tersebut akan dapat terbaca oleh *anemometer* dalam bentuk angka atau nilai kecepatan.⁽¹⁰⁾

1.2 Perumusan Masalah

Maka dapat disimpulkan rumusan masalahnya yaitu:
Bagaimana menginvestigasi parameter kinerja alat uji *open circuit wind tunnel tipe subsonic*.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan pada penelitian uji *open circuit wind tunnel* ini adalah sebagai berikut :

1. Data teknik alat uji dengan rincian sebagai berikut :
 - a. Nama : Wind Tunnel
 - b. Tipe / jenis : Open Circuit/Subsonic
 - c. Ukuran : Panjang 1800 mm, Lebar 400 mm, tinggi 400 mm
2. Data yang diambil pada alat uji dan alat yang digunakan :
 - a. Kecepatan udara.
 - b. Temperatur
 - c. Anemometer.
3. Data yang diolah/dihitung adalah :
 - a. Bilangan Mach
 - b. Bilangan Reynold
 - c. Drag Force
4. Benda uji :
 - a. Cube
 - b. Streamlined body
 - c. Sphere
 - d. Trailer

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini dengan judul "Investigasi Parameter Kinerja Alat Uji Open Circuit Wind Tunnel Tipe Subsonic" adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui besarnya distribusi kecepatan angin yang masuk kedalam *wind tunnel* dengan desain yang telah dibuat.
2. Mengetahui karakteristik aliran fluida kompressible.
3. Untuk mengetahui gaya hambatan yang bekerja pada benda uji.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Wind Tunnel

Wind tunnel adalah peralatan yang dipergunakan untuk menghasilkan aliran udara

pada kecepatan tertentu. Ada dua tipe *wind tunnel* yaitu jalur terbuka dan jalur tertutup. Pada jalur terbuka seksi uji dapat terbuka atau tertutup (Aurelius dan Rofail, 2001; Bell dan Mehta, 1998; Boudreau, 2009; Mehta dan Bradshaw, 1979). Pada *wind tunnel* tipe terbuka (gambar 2.2) konstruksi lebih sederhana, murah, hemat ruangan dan tidak dipengaruhi oleh fluktuasi temperatur karena tempertur ruangan relatif lebih stabil. Pada tipe tertutup (gambar 2.3) udara disirkulasikan sepanjang *wind tunnel* sehingga ukurannya lebih besar, mahal dan lebih sulit untuk dibuat. Kelebihan dari tipe ini adalah *fan* yang dipergunakan dapat lebih kecil dibandingkan pada tipe terbuka untuk kecepatan angin yang sama.⁽²⁰⁾

Frank H. Wenham (1824 – 1908), yang pertama kali membangun *wind tunnel*, Seorang anggota *Aeronautical Society Great Brain*. *wind tunnel* telah digunakan dalam waktu yang sangat lama untuk memverifikasi teori aerodinamis dari memfasilitasi desain pesawat khususnya untuk aplikasi didunia penerbangan.⁽¹⁸⁾

2.2 Definisi Drag










Drag force adalah gaya ke belakang, menarik mundur, dan disebabkan oleh gangguan aliran udara oleh sayap, badan pesawat dan objek-objek lain. *Drag* kebalikan dari dorongan, dan beraksi kebelakang parallel dengan arah angin relative.⁽²²⁾

Coefisien drag (*Cd*) adalah bilangan yang menunjukkan besar kecilnya tahanan fluida yang diterima oleh suatu benda. Harga koefisien drag yang kecil menunjukkan hambatan fluida yang diterima benda saat berjalan adalah kecil, dan begitu juga sebaliknya. nilai *Cd* sangat bergantung pada bentuk dari suatu geometri. Coefisien drag ini sangat dipengaruhi oleh bentuk bodi, misalnya : 1. *Cube* 2. *Sphere* 3. *Streamlined body* 4. *Trailer*. Dalam dinamika fluida, gaya hambat (yang kadang-kadang disebut hambatan fluida atau seretan) adalah gaya yang menghambat pergerakan sebuah benda padat melalui sebuah fluida (cairan atau gas). Bentuk gaya hambat yang paling umum tersusun dari sejumlah gaya gesek, yang bertindak sejajar dengan permukaan benda, plus gaya tekanan, yang bertindak dalam arah tegak lurus dengan permukaan benda. Bagi sebuah benda padat yang bergerak melalui sebuah fluida, gaya hambat merupakan komponen dari aerodinamika gaya resultan atau gaya dinamika fluida yang bekerja dalam arahnya pergerakan. Komponen tegak lurus terhadap arah pergerakan ini dianggap sebagai gaya angkat. Dengan begitu gaya hambat berlawanan dengan arah pergerakan benda, dan dalam sebuah kendaraan yang digerakkan mesin

diatasi dengan gaya dorong. Gaya hambat dapat dirumuskan sebagai berikut:⁽²²⁾

$$F_{\text{drag}} = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot c_d \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \dots \dots \dots (6)$$

- Cd = Coefisien drag.
- ρ = kerapatan (densitas) fluida. (1,165 Kg/m³)
- v = Kecepatan fluida (m/s)
- A = Luas penampang (m²)

Shape	Drag Coefficient
Sphere → 	0.47
Half-sphere → 	0.42
Cone → 	0.50
Cube → 	1.05
Angled Cube → 	0.80
Long Cylinder → 	0.82
Short Cylinder → 	1.15
Streamlined Body → 	0.04
Streamlined Half-body → 	0.09

Measured Drag Coefficients

Gambar 1. Bentuk frontal area pada benda dan koefisien dragnya.⁽¹²⁾

2.3 Model Yang Diuji

Cube (kubus)
 Coefisien drag : 1,05 (diambil dari gambar 1.)
 $A = D^2 \dots \dots \dots (7)$

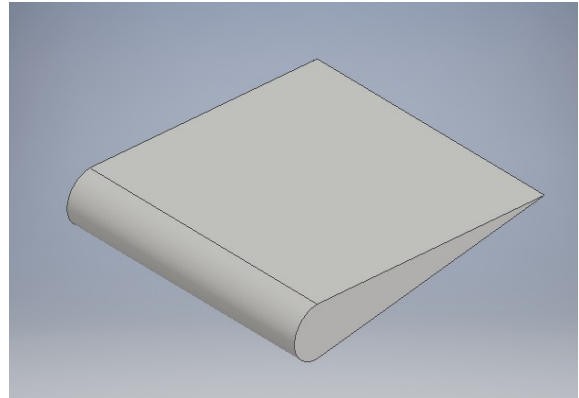


Gambar 2.. Kubus

Streamlined Body

Coefisien drag : 0,04 (diambil dari gambar 2.1.)

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \dots \dots \dots (8)$$



Gambar 3. Streamlined body

Sphere (Bola)

Coefisien drag : 0,47 (diambil dari gambar 7.)

$$A = 4 \cdot \pi \cdot r^2 \dots \dots \dots (9)^{(21)}$$



Gambar 4. bola

Gandengan Traktor - Trailer

Coefisien drag : 0,96
 $A = p \cdot l \dots \dots \dots (10)$
 $A_{\text{total}} = A_1 + A_2 \dots \dots \dots (11)$



Gambar 5. Gandengan traktor –trailer

Metode Eksperimen

Wind Tunnel adalah alat riset dikembangkan untuk membantu dalam menganalisa efek angin yang bergerak atau di

sekitar object padat. Pada umumnya, perancangan *wind tunnel* berdasarkan dari data-data hasil eksperimen. Eksperimen ini menggunakan exhaust fan dengan 5 blade untuk menghasilkan hembusan angin di dalam *wind tunnel*. Dengan eksperimen yang dilakukan dapat dihasilkan kecepatan angin di setiap bagian-bagian *wind tunnel*.

Cara Kerja Wind Tunnel

Pada *wind tunnel* rangkaian terbuka, motor penggerak pada *exhaust fan* berputar terhubung dengan baling-baling menghisap udara dari lingkungan ke dalam *wind tunnel*. Putaran *exhaust fan* menyebabkan aliran udara dengan kecepatan tertentu mengalir melalui *wind tunnel* namun aliran udara yang dihasilkan *exhaust fan* belum laminar, Kemudian aliran udara tersebut masuk ke dalam Contraction melalui honeycomb lalu aliran udara menjadi laminar. setelah melewati contraction maka kecepatan aliran udara perlahan meningkat, maka aliran udara tersebut masuk kedalam test section, dan setelah melewati test section maka kecepatan aliran meningkat. Setelah melewati test section, aliran udara masuk kedalam diffuser, dan setelah melewati diffuser ke cepatan aliran udara perlahan menurun. Kemudian aliran udara tersebut terbuang ke lingkungan.

Alat Uji Dan Alat Ukur

Exhaust Fun

Exhaust fan berfungsi untuk menghisap udara di dalam ruang untuk dibuang ke luar, dan pada saat bersamaan menarik udara segar di luar ke dalam ruangan. Selain itu *exhaust fan* juga bisa mengatur volume udara yang akan disirkulasikan pada ruang. Supaya tetap sehat ruang butuh sirkulasi udara agar selalu ada pergantian udara dalam ruangan dengan udara segar dari luar luar ruangan. Adapun spesifikasi *Exhaust fan* yang digunakan adalah :

1. Tegangan : 220 Volt/50 Hz
2. Daya : 19 Watt
3. Berat : 2,1 Kg
4. Warna : Putih
5. Ukuran : 40cm x 40cm



Gambar 6. Exhaust fan

Variable Switch Drive (VSD)

Variable Switch Drive digunakan untuk mengatur putaran *Exhaust fan*



Gambar 7. Variable Switch Drive

Kabel

Kabel dalam bahasa Inggris disebut *cabl*e merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal dari satu tempat ke tempat lain.



Gambar 8. Kabel

MCB (Miniature Circuit Breaker)

MCB (*Miniature Circuit Breaker*) atau Miniatur Pemutus Sirkuit adalah sebuah perangkat elektromekanikal yang berfungsi sebagai pelindung rangkaian listrik dari arus yang berlebihan.



Gambar 9. Miniature Circuit Breaker

Lampu LED

Lampu LED adalah komponen elektronika yang dapat memancarkan cahaya monokromatik ketika diberikan tegangan.



Gambar 10.. Lampu LED

Anemometer

Anemometer merupakan jenis alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin yang digunakan dalam bidang meteorologi dan geofisika seperti BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika). Secara etimologi, alat ini berasal dari bahasa Yunani, yaitu *anemos* yang berarti angin. Perancang pertama alat ini adalah *Leon Batista Alberti* pada tahun 1450. Cara kerja Anemometer yaitu pada saat tertiup angin, maka baling-baling yang terdapat pada Anemometer akan bergerak sesuai dengan arah mata angin. Semakin besar kecepatan angin meniup, maka semakin cepat pula perputaran dari baling-baling tersebut. Berdasarkan jumlah perputaran per detiknya, maka akan diketahui jumlah dari kecepatan anginnya. Pada dasarnya anemometer merupakan alat yang berfungsi untuk mengukur kecepatan udara ataupun kecepatan gas. Untuk dapat menentukan kecepatan, anemometer mengenali perubahan pada beberapa sifat fisik dari fluida ataupun efek fluida pada perangkat mekanis dimasukkan ke aliran. Salah satu contoh alat ukur Anemometer dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 11. Anemometer

Fogging

Fogging merupakan proses pengasapan atau menyemprotkan insektisida. Alat ini digunakan untuk mengetahui bentuk profil aliran udara pada alat uji *open circuit wind tunnel tipe subsonic*.



Gambar 12. Fogging

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Bilangan Mach

Dari persamaan (2) diperoleh nilai Kecepatan suara lokal :

1. Temperatur $30,5\text{ }^{\circ}\text{C} = 303,65\text{ K}$

$$c = \sqrt{RTk} = \frac{c}{\dots} = \sqrt{286,9\text{ J} (kg \cdot k) \cdot 303,65\text{ K} \cdot 1,4 \left[\frac{1(kg \cdot m)}{N \cdot s^2} \right]} = 349,2\text{ m/s}$$

349,2 m/s

2. Temperatur $30,6\text{ }^{\circ}\text{C} = 303,75\text{ K}$

$$c = \frac{\sqrt{RTk}}{1} = c = \sqrt{\frac{286,9 J (kg \cdot k) \cdot 303,75 K \cdot 1,4 \left[\frac{1 (kg \cdot m)}{N \cdot s^2} \right]}{1}} = 349,3 \text{ m/s}$$

3. Temperatur 30,7 °C = 303,85 K

$$c = \frac{\sqrt{RTk}}{1} = c = \sqrt{\frac{286,9 J (kg \cdot k) \cdot 303,85 K \cdot 1,4 \left[\frac{1 (kg \cdot m)}{N \cdot s^2} \right]}{1}} = 349,3 \text{ m/s}$$

4. Temperatur 30,8 °C = 303,95 K

$$c = \frac{\sqrt{RTk}}{1} = c = \sqrt{\frac{286,9 J (kg \cdot k) \cdot 303,95 K \cdot 1,4 \left[\frac{1 (kg \cdot m)}{N \cdot s^2} \right]}{1}} = 349,4 \text{ m/s}$$

Dari persamaan (1) diperoleh nilai Bilangan Mach pada L_1 :

$$Ma = \frac{v}{c} = \frac{2,2 \text{ m/s}}{349,4 \text{ m/s}} = 0,006296$$

Dari persamaan (1) diperoleh nilai Bilangan Mach pada L_2 :

$$Ma = \frac{v}{c} = \frac{3,8 \text{ m/s}}{349,3 \text{ m/s}} = 0,010878$$

Dari persamaan (1) diperoleh nilai Bilangan Mach pada L_3 :

$$1. Ma = \frac{v}{c} = \frac{2,8 \text{ m/s}}{349,3 \text{ m/s}} = 0,008016$$

3.2 Bilangan Reynold

Dari alat uji terowongan angin yang dibuat didapatkan spesifikasi luas pada area seperti berikut :

$$\text{Diameter pada } L_1 = \sqrt{(0,26)^2 + (0,26)^2} = \sqrt{0,1352} = 0,367 \text{ m}$$

$$\text{Diameter pada } L_2 = \sqrt{(0,2)^2 + (0,2)^2} = \sqrt{0,08} = 0,282 \text{ m}$$

$$\text{Diameter pada } L_3 = \sqrt{(0,25)^2 + (0,25)^2} = \sqrt{0,125} = 0,353 \text{ m}$$

Luas penampang pada benda uji

1. Dari persamaan (7) diperoleh nilai A pada Cube

$$D = 43 \text{ mm} = 0,043 \text{ m}$$

$$A = D^2 = (0,043 \text{ m})^2 = 0,00185 \text{ m}^2$$

2. Dari persamaan (8) diperoleh nilai A pada Sphere

$$D = 64 \text{ mm} \quad r = 32 \text{ mm} = 0,032 \text{ m}$$

$$A = 4 \cdot \pi \cdot r^2 = 4 \cdot 3,14 \cdot (0,032 \text{ m})^2 = 0,01286 \text{ m}^2$$

$$= 0,01286 \text{ m}^2$$

3. Dari persamaan (9) diperoleh nilai A pada Streamlined body

$$D = 18 \text{ mm} = 0,018 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{3,14}{4} \cdot (0,018 \text{ m})^2 = 0,785 \cdot 0,000324 = 0,00025 \text{ m}^2$$

4. Dari persamaan (10) diperoleh nilai A_1 dan A_2 pada Trailer

$$A_1 = p : 50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m}$$

$$l : 38 \text{ mm} = 0,038 \text{ m}$$

$$A = p \cdot l = 0,05 \text{ m} \cdot 0,038 \text{ m} = 0,0019 \text{ m}^2$$

$$A_2 = p : 38 \text{ mm} = 0,038 \text{ m}$$

$$l : 20 \text{ mm} = 0,02 \text{ m} = 0,038 \text{ m} \cdot 0,02 \text{ m} = 0,00076 \text{ m}^2$$

Dari persamaan (11) diperoleh nilai A_{total} Trailer

$$A_{\text{total}} = A_1 + A_2 = 0,0019 \text{ m}^2 + 0,00076 \text{ m}^2 = 0,00266 \text{ m}^2$$

Dari persamaan (5) diperoleh nilai Bilangan Reynold pada L_1 :

$$1. Re = \frac{v D}{\nu} = \frac{2,2 \text{ m/s} \cdot 0,367 \text{ m}}{1,60 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} = \frac{0,8074}{0,000016} = 50462,5$$

Dari persamaan (5) diperoleh nilai Bilangan Reynold pada L_2 :

$$1. Re = \frac{v D}{\nu} = \frac{3,8 \text{ m/s} \cdot 0,282 \text{ m}}{1,60 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} = \frac{1,0716}{0,000016} = 66975$$

Dari persamaan (5) diperoleh nilai Bilangan Reynold pada L_3 :

$$1. Re = \frac{v D}{\nu} = \frac{2,8 \text{ m/s} \cdot 0,353 \text{ m}}{1,60 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}} = \frac{0,9884}{0,000016} = 61775$$

3.3 Drag Force

Dari persamaan (6) diperoleh nilai Drag Fore dengan model Cube pada L_2 :

$$F_{\text{drag}} = (1/2) \cdot c_d \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A = 0,5 \times 1,05 \times 1,165 \text{ kg/m}^3 \times (2,7 \text{ m/s})^2 \times 0,00185 \text{ m}^2 = 0,008248 \text{ N}$$

Dari persamaan (6) diperoleh nilai Drag Fore dengan model Steamlined body pada L_2 :

$$F_{\text{drag}} = (1/2) \cdot c_d \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A = 0,5 \times 0,04 \times 1,165 \text{ kg/m}^3 \times (2,7 \text{ m/s})^2 \times 0,00025 \text{ m}^2 = 0,000042 \text{ N}$$

3.4 Hasil Pengujian

percobaan yang dilakukan seperti pada tabel dibawah ini :

Setelah dilakukan perhitungan dari rumus pada landasan teori diatas maka didapatkan nilai perhitungan Bilangan Mach, Bilangan Reynold dan Drag Force dari setiap Tabel 1. Hasil data perhitungan Bilangan Reynold

Lokasi Anemomete r	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

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	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

Tabel 3. Hasil perhitungan coefisien drag

Kecepatan	Cube	Sphere	Streamlined body	Trailer
v ₁ (100%)	0.008248	0.040699	0.000042	0.005369
v ₂ (80%)	0.007071	0.033834	0.000039	0.003807
v ₃ (60%)	0.006517	0.027602	0.000026	0.003346
v ₄ (40%)	0.004989	0.022004	0.000021	0.002141
v ₅ (20%)	0.002896	0.011407	0.000013	0.000728
rata-rata	0.0059442	0.0271092	0.0000282	0.0030782

4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapat dari perhitungan dan analisa alat uji open circuit wind tunnel ini adalah :

1. Setelah pengujian dilakukan didapatkan data Bilangan Mach dengan nilai rata-rata yaitu L₁ = 0,005096 , L₂ = 0,009274 , L₃ = 0,00647. Dengan hasil (M<1) maka kecepatan ini adalah tipe subsonic.
2. Didapatkan data dari hasil perhitungan rata-rata Bilangan Reynold L₁ = 40828.75 , L₂ = 57105 , L₃ = 49861.25 maka dapat disimpulkan bahwa Bilangan Reynold nya lebih dari 4000 jenis alirannya yaitu aliran turbulen.
3. Nilai Drag Forcenya dari hasil percobaan yang dilakukan didapatkan data hasil perhitungan rata-rata Drag Force pada test section yaitu Cube = 0.0059442, Steamlined

body = 0.0000282, sphere = 0.0271092 , Trailer = 0.0030782, Jadi Streamlined body adalah yang lebih kecil nilai Drag Forcenya dibandingkan

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Aerodinamika Pada bodi mobil. <http://proyek-lebah.blogspot.com>. Diperoleh 23 Agustus 2019.
2. Aerodinamika Wind Tunnel <http://www.ilmuterbang.com>, diperoleh 22 Agustus 2019.
3. Bilangan Mach. <https://fitransyah.wordpress.com>, diperoleh 22 Agustus 2019
4. Bilangan Reynold. <http://turmudikemiri.blogspot.com>. Diperoleh 23 Agustus 2019.

5. Bruce R. Munson, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, 2003. *Mekanika Fluida Jilid 1 dan 2*. Edisi Keempat. Erlangga. Jakarta.
6. Closed return wind tunnel. <http://eprints.undip.ac.id>. diperoleh 21 Februari 2019.
7. Definisi Fluida <https://docplayer.info/48019897-Bab-ii-dasar-teori-2-1-definisi-fluida.html>, diperoleh 22 Agustus 2019.
8. Dr.Ir. Harijono Djodjodhardjo. 1983. *Mekanika Fluida*. Erlangga. Jakarta.
9. Fluida. <https://www.belajarmipa.com> diperoleh 22 Agustus 2019.
10. Hanifah, Siti and Handayani, Sri Utami (2015) *Analisis Distribusi Kecepatan Aliran Wind Tunnel Tipe Terbuka. Tugas Akhir. Universitas Diponegoro. Semarang*.
11. Ir. M. Orianto, BSE, Ir. W.A. Pratikto, M.Sc. 1989. *Mekanika Fluida I*. Edisi pertama. BPFE. Yogyakarta.
12. Koefisien drag CD terhadap pola aliran. <https://almer-farhan.blogspot.com/2012/05/koefisien-drag-cd-terhadap-pola-aliran.html>. diperoleh 21 februari 2019
13. Nidia Yuniarsih, Wowo Rosbandrio. (2015) *Pengembangan Terowongan Angin Kecepatan Rendah (Low Speed Wind Tunnel) Untuk tujuan Edukatif Di Politeknik Negeri Batam*. ISSN 2085-3858. Vol 7(1) 19-22.
14. Open return wind tunnel. <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/tunoret.html>. diperoleh 21 Februari 2019.
15. Pengaruh Kecepatan Angin. <https://carapedia.com>. Diperoleh 23 Agustus 2019.
16. Pengertian Aerodinamika. <http://purnama-bgp.blogspot.com>. Diperoleh 23 Agustus 2019.
17. Pengukuran kecepatan Angin dan Alatnya. <http://www.alamikan.com>.diperoleh 23 Agustus 2019.
18. Prasetyo. (2018). *Rancang Bangun Alat Uji Open Circuit Wind Tunnel Tipe Subsonic. Tugas Akhir. Universitas Darma Persada. Jakarta*.
19. Ridwan. Seri diktat kuliah. *Mekanika Fluida Dasar*. Universitas Gunadarma.
20. Sri Utami Handayani. (2014). *Pengembangan dan Analisa Keseragaman Aliran Terowongan Angin Tipe Terbuka Sebagai Sarana Pengujian Aerodinamika*. ISBN 978-979-3514-46-8. A.309-A.314
21. Rumus luas permukaan bola. <https://rumusbilangan.com/rumus-luas-permukaan-bola>. diperoleh 23 Agustus 2019.
22. Teori Dasar Kd Baru. <https://www.slideshare.net>. Diperoleh 23 Agustus 2019.
23. Terowongan Angin. <http://aeroengineering.co.id> diperoleh 22 Agustus 2019
24. Victor L. Streeter, E. Benjamin Wylie, Arko Prijono, M.S.E. 1993. *Mekanika Fluida Jilid I*, Edisi Delapan. Erlangga. Jakarta.
25. Pengukuran kecepatan Angin dan Alatnya. <http://www.alamikan.com>.diperoleh 23 Agustus 2019.
26. Prasetyo. (2018). *Rancang Bangun Alat Uji Open Circuit Wind Tunnel Tipe Subsonic. Tugas Akhir. Universitas Darma Persada. Jakarta*.
27. Ridwan. Seri diktat kuliah. *Mekanika Fluida Dasar*. Universitas Gunadarma.
28. Sri Utami Handayani. (2014). *Pengembangan dan Analisa Keseragaman Aliran Terowongan Angin Tipe Terbuka Sebagai Sarana Pengujian Aerodinamika*. ISBN 978-979-3514-46-8. A.309-A.314.
29. Rumus luas permukaan bola. <https://rumusbilangan.com/rumus-luas-permukaan-bola>. diperoleh 23 Agustus 2019.
30. Teori Dasar Kd Baru. <https://www.slideshare.net>. Diperoleh 23 Agustus 2019.
31. Terowongan Angin. <http://aeroengineering.co.id> diperoleh 22 Agustus 2019
32. Victor L. Streeter, E. Benjamin Wylie, Arko Prijono, M.S.E. 1993. *Mekanika Fluida Jilid I*, Edisi Delapan. Erlangga. Jakarta.
33. Wind tunnel design. <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/tunnoz.html>. diperoleh 21 Februari 2019.