



ANALISA PENGARUH PUTARAN *BLADE* DAN ARAH SUDUT SERANG TERHADAP KOEFISIEN *DRAG* DAN *LIFT* PADA MODEL PROTOTIPE *AIRFOIL* NACA 0012 DENGAN MENGGUNAKAN ALAT UJI *WIND TUNNEL OPEN CIRCUIT* UNTUK SARANA LABORATORIUM FLUIDA

Satria Fajar Saputra¹, Syahrul Agustian²

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jalan Semolo waru No. 45 Surabaya 60118, Indonesia

E-mail: Agustiansyahrul16@gmail.com

ABSTRAK

The development of science and technology is a research tool developed to assist in analyzing the effects of wind moving around solid objects. Wind tunnel open circuit that works to suck the air from the outside and enter through small pipes to obtain uniform flow in the test section tube so that the low turbulence can be adjusted during testing of lift and shear force. The purpose of this research is to know the effect of blade rotation and the direction of angle of attack to drag and lift coefficient on model prototype airfoil NACA 0012 by using wind tunnel open circuit test. Variations made with blade round Rpm 1200, Rpm 1500, Rpm 1800 and the attack angle 5°, 10°, 15°. Type wind tunnel open circuit and model prototype airfoil type NACA 0012. Test results on blade variation Rpm 1800 and angle of attack 15° yield value coefficient lift (C_L) 18,004 while testing on variation of blade Rpm 1800 and angle of attack 15° yield value shear coefficient (C_d) 11,907, the larger the blade round will be the greater the reynold number because the airflow is getting turbulen. Wind tunnel open circuit with dimensions that have been specified and existing specifications so that wind tunnel open circuit test can be used as a practicum and research on aerodynamics.

Keywords: *Wind tunnel open circuit, airfoil NACA 0012, blade round, Angle of attack, style lift and shear force.*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan sangat berkembang pesat sejak manusia mulai mengenal dunia mesin dan mesin tersebut dapat meringankan pekerjaan manusia, termasuk dibidang aerodinamika khususnya terowongan angin. terowongan angin atau dalam bahasa aslinya *Wind Tunnel* adalah salah satu perkembangan ilmu dan teknologi yang merupakan sebuah alat riset yang dikembangkan untuk membantu

dalam menganalisa efek angin yang bergerak di sekitar objek padat.

Terowongan angin pertama kali dibuat pada tahun 1871 oleh Frank H Wenham dan Jhon Browning dari inggris, berdasarkan keinginan untuk simulasi penerbangan dalam atmosfer.

Menurut bentuknya terowongan angin ada dua jenis yang cukup dikenal, yaitu: saluran terbuka (*open circuit*) dan saluran tertutup (*closed circuit*). Airfoil

adalah bentuk aerodinamika yang ditujukan untuk menghasilkan gaya angkat (*lift*) yang besar dengan gaya hambat (*drag*) yang sekecil mungkin.

Ketika suatu *airfoil* dilewati oleh aliran fluida maka karena adanya pengaruh interaksi antara aliran udara dengan permukaan akan timbul variasi kecepatan di sepanjang permukaan atas dan bawah *airfoil* serta di bagian depan dan belakang *airfoil*. Perbedaan kecepatan aliran udara antara permukaan atas dan bawah *airfoil* akan menimbulkan gaya resultan yang arahnya tegak lurus arah datangnya aliran fluida, gaya ini disebut sebagai gaya angkat (*lift*).

Perbedaan kecepatan aliran udara antara bagian depan dan bagian belakang *airfoil* akan menimbulkan gaya resultan yang arahnya searah dengan arah datangnya aliran fluida, gaya ini disebut sebagai gaya hambat (*drag*). Gaya angkat yang dihasilkan oleh *airfoil* inilah yang kemudian dimanfaatkan pada berbagai aplikasi teknik. gaya angkat yang terjadi akan berubah-ubah tergantung geometri *airfoil* dan kondisi operasinya. Pada pesawat terbang, gaya angkat pada sayap utama digunakan sebagai gaya pelawan gaya berat pesawat yang memungkinkan pesawat terbang dapat lepas landas dan tetap melayang di angkasa, cara mengubah ubah sudut serangnya sehingga gaya angkat yang dihasilkan.

Pada kendaraan darat, dengan bentuk bodi yang memiliki kontur permukaan atas yang lebih panjang dari pada kontur permukaan bawah maka kecepatan aliran udara melewati permukaan atas lebih tinggi dari pada kecepatan aliran udara melewati permukaan bawahnya sehingga tekanan statis di permukaan atas lebih rendah dari pada tekanan statis di permukaan bawah, akibatnya arah gaya resultan aerodinamika yang bekerja pada kendaraan memiliki arah ke atas.

Beda kecepatan udara yang terjadi di permukaan atas dan bawah *airfoil* yang dipasang tersebut dirancang sedemikian rupa dengan rancangan geometri tertentu dan atau dengan pengaturan sudut serangnya agar menghasilkan gaya tekan ke bawah sehingga

meningkatkan stabilitas, pengendalian, dan traksi kendaraan pada kecepatan tinggi.

Dalam laporan ini penulis akan membahas bagaimana mengoprasikan sebuah terowongan angin *open circuit* sehingga dapat dilakukan oleh semua kalangan yang ingin mengamati dan meneliti tentang gaya-gaya pada bodi yang terjadi serta mengetahui bagaimana cara kerja dan kegunaan dari terowongan angin seperti pada terowongan angin yang sesungguhnya.

Pengertian Airfoil

Airfoil atau *Aerofoil* adalah suatu bentuk geometri yang apabila ditempatkan di suatu aliran fluida akan memproduksi gaya angkat (*lift*) lebih besar dari gaya hambat (*drag*). Gaya angkat terjadi pada *airfoil* karena kecepatan aliran udara di permukaan atas *airfoil* lebih rendah dari pada kecepatan aliran udara di permukaan bawahnya.

Salah satu parameter geometris yang menentukan besarnya gaya angkat yang dihasilkan suatu *airfoil* adalah lokasi ketebalan maksimumnya.

Semakin jauh lokasi - ketebalan maksimum dengan ujung awal maka akan mengakibatkan semakin akhir pula terjadinya peningkatan kecepatan aliran udara yang melewati permukaan *airfoil* sehingga akan menjadi salah satu faktor yang menyebabkan kecepatan rata-rata pada sepanjang permukaan tersebut menjadi lebih rendah. Namun selain faktor tersebut masih ada faktor lain yang menentukan besarnya kecepatan rata-rata aliran udara baik di permukaan atas maupun di permukaan bawah *airfoil*, yaitu: besarnya sudut serang dan besarnya kecepatan aliran udara.

Untuk mengetahui kombinasi pengaruh kedua faktor di atas terhadap koefisien angkat dan koefisien hambat *airfoil*.

Klasifikasi Geometri airfoil NACA

Sekitar tahun 1932, NACA melakukan pengujian beberapa bentuk *airfoil* yang dikenal dengan NACA seri 4 digit. Distribusi ini tidak dipilih berdasarkan teori, tetapi diformulasikan berdasarkan pendekatan bentuk sayap yang efektif yang digunakan

saat itu, seperti yang dikenal adalah *airfoil* Clark Y.

Pada *airfoil* NACA seri empat, digit pertama menyatakan persen maksimum *chamber* terhadap *chord*. Digit kedua menyatakan persepuluh posisi maksimum *chamber* pada *chord* dari *leading edge*. Sedangkan dua digit terakhir menyatakan persen ketebalan *airfoil* terhadap *chord*. *Airfoil* yang tidak memiliki kelengkungan, dimana *chamber line* dan *chord* berhimpit disebut *airfoil* simetrik.

Gaya - Gaya Pada Pesawat Terbang

1. *Thrust* adalah gaya dorong yang dihasilkan oleh mesin (power plant) / baling-baling. *Thrust* beraksi paralel dengan sumbu longitudinal yang mendorong pesawat untuk menciptakan kecepatan aliran udara pada sayapnya.
2. *Drag* adalah gaya ke belakang, *Drag* kebalikan dari *thrust*, dan beraksi kebelakang paralel dengan arah angin relatif.
3. *Weight* (gaya berat) adalah kombinasi berat dari muatan pesawat. *Weight* melawan *lift* (gaya angkat) dan beraksi secara vertical ke bawah sesuai dengan arah pusat bumi.
4. *Lift* (gaya angkat) adalah melawan gaya dari *weight* dan dihasilkan oleh efek dinamis dari udara yang beraksi di sayap dan beraksi tegak lurus pada arah penerbangan.

Sesuai dengan hukum Bernoulli, pesawat akan terbang ketika gaya angkat yang dihasilkan oleh sayap pesawat tersebut lebih besar dari gaya berat pesawat.

Definisi Koefisien Lift Dan Persamaannya

Gaya *Lift* atau biasa disebut gaya angkat, gaya angkat ini sebagian besar ditimbulkan pada sayap pesawat terbang. Gaya angkat tersebut dipengaruhi pula oleh sudut yang dibuat oleh penampang sayap dan besarnya berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan fluida yang mengalir di sekitar sayap.

Koefisien *lift* adalah sebuah fungsi dari parameter tak berdimensi, Koefisien *lift* sangat dipengaruhi oleh bentuk benda,

koefisien *lift* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_l = \frac{F_l}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A} \quad (1)$$

Dimana:

- C_L = Koefisien *Lift*
- V = Kecepatan fluida (m/s)
- A = Luas permukaan benda (m^2)
- F_L = Gaya *lift* (N)
- ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

Definisi Koefisien Drag Dan Persamaannya

Drag adalah gaya yang menghambat pergerakan sebuah benda padat melalui sebuah fluida (cairan atau gas) dimana gaya tersebut mempunyai arah yang sejajar dengan sumbu kecepatan aliran udara.

Koefisien *drag* (C_d) adalah bilangan yang menunjukkan besar kecilnya tahanan fluida yang diterima oleh suatu benda. Koefisien *drag* didefinisikan sebagai berikut:

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A} \quad (2)$$

Dimana:

- C_d = Koefisien *Drag*
- V = Kecepatan aliran fluida (m/s)
- A = Luas permukaan benda (m^2)
- F_d = Gaya *Drag* (N)
- ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

Viskositas

Viskositas suatu fluida adalah suatu sifat yang sangat penting dalam penganalisaan tingkah laku fluida dan gerakan fluida dekat batas padat. Dimensi viskositas ditentukan dari hukum viskositas Newton penyelesaian untuk viskositas μ , menurut persamaan hukum viskositas newton yaitu:

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad (3)$$

Dimana :

- μ = Viscositas ($N \cdot s/m^2$)
- τ = Tegangan geser (N/m^2)
- du/dy = Perubahan kecepatan dibagi dengan jarak (rad/s)

(Sumber: Viktor L Streeter, 1999, hal.4)

Massa Jenis

Massa jenis suatu fluida didefinisikan sebagai massanya per volume satuan

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{4}$$

Dimana:

- ρ = Massa jenis (kg/m³)
- M = Massa fluida (kg)
- V = Volume fluida (m³)

Tipe Wind Tunnel

Berdasarkan dari segi jalur rangkaian untuk *wind tunnel* memiliki beberapa tipe diantaranya adalah :

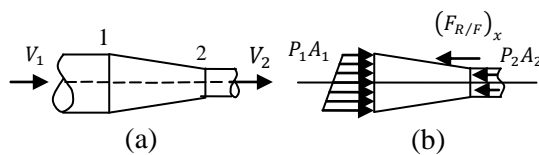
1. Terowongan rangkaian terbuka (*Open Circuit Wind Tunnel*)
2. Terowongan rangkaian tertutup (*Close Circuit Wind Tunnel*)

Wind Tunnel open circuit

Yaitu rangkain terbuka dengan bentuk tabung-tabung panjang dengan kualitas udara dengan aliran didalam *test section* dan kinerja secara keseluruhan. Menghisap udara melalui pipa berdiameter kecil untuk memperoleh keseragaman aliran dengan kecepatan udara yang dihisap *exhaust fan* 350 rpm sampai dengan 3600 rpm kecepatan aliran udara yang dapat dicapai, keseragaman aliran dan tingkat turbulensi yang rendah.

Gaya tekan pada tabung

Contraction atau *reducer* mengakselerasi aliran melalui pipa-pipa kecil *honeycomb* menuju *test section*, dan mereduksi keseragaman aliran menuju *test section*.



Gambar 1. Gaya Pada Tabung

Intensitas tekanan pada dinding akan berkurang di mana diameter berkurang dikarenakan penambahan pada *head* kecepatan. Suatu diagram tekanan dengan menggunakan persamaan dan mengasumsikan fluida ideal dengan $(F_{R/F})_x$

pada arah seperti Gambar 1, didapat Persamaan 6 Fluida ideal

$$\Sigma F_x = P_1 A_1 - P_2 A_2 - (F_{R/F})_x \tag{5}$$

$$= \rho Q (V_2 - V_1) \tag{6}$$

Dimana:

- ΣF_x = Gaya sumbu x (N)
- P_1 = Tekanan penampang masuk (Pa)
- A_1 = Luas penampang masuk (m²)
- P_2 = Tekanan penampang keluar (Pa)
- A_2 = Luas penampang keluar (m²)
- $(F_{R/F})_x$ = Gaya gaya tekan normal
- ρ = Massa jenis udara (kg/m³)
- Q = Debit udara (m³/sec)
- V_2 = Kecepatan penampang keluar (m/s)
- V_1 = Kecepatan penampang masuk (m/s)

(Sumber: Ir. M Orianto BSE 1984, hal 58)

Debit Aliran

Jika debit Q yang juga disebut laju aliran volumetrik, atau aliran didefinisikan sebagai:

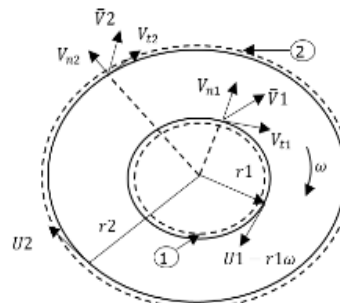
$$Q = AV \tag{7}$$

Dimana:

- Q = Debit (m³/sec)
- A = Luas penampang (m²)
- V = Kecepatan udara (m/s)

Massa Aliran Didalam Tabung

Untuk menghitung massa aliran didalam tabung panjang *wind tunnel* maka didapat kecepatan motor yang berkerja dari gaya yang arahnya tegak lurus dengan jari-jari lingkaran. Ketika suatu benda bergerak absolut melingkar, maka benda akan mengalami sebuah gaya tangensial.



Gambar 2. Volume Control Terbatas dan Komponen Kecepatan Absolut Untuk Analisis Momentum Sudut

- a. Massa per satuan waktu

Untuk menentukan massa per satuan waktu di setiap bagian-bagian tabung *wind tunnel Open Circuit*

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 = \rho V A = \dot{m} = \text{Constan} \quad (8)$$

Dimana:

- \dot{m} = Massa per satuan waktu (kg/s)
- ρ = Massa jenis (kg/m³)
- V = Kecepatan (m/s)
- A = Luas (m²)

(Sumber: Robert. Alan, 1992 hal: 625)

b. Kecepatan sudut *axial fan*

Kecepatan sudut ω didefinisikan sebagai perbandingan perubahan sudut terhadap selang waktu

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (9)$$

Dimana :

- ω = Kecepatan sudut (rad/detik)
- n = putaran motor (Rpm)
- 60 = waktu (detik)
- T = waktu (detik)

c. Kecepatan blade (v)

$$v = r \cdot \omega \quad (10)$$

Dimana :

- v = Kecepatan tangensial (m/detik)
 - r = jari-jari (m)
 - ω = Kecepatan sudut (rad/detik)
- (Sumber: Sears. Zeamansky, 1962 hal: 213-221)

d. Torsi Poros

$$T_{shaft} = (r_2 V_{t2} - r_1 V_{t1}) \dot{m} \quad (11)$$

Dimana:

- T_{shaft} = Torsi poros (Nm)
 - r = Jari- jari *blade* (m)
 - V_{t1} = kecepatan *blade* luar (m/s)
 - V_{t1} = kecepatan *blade* dalam (m/s)
 - \dot{m} = Massa per satuan waktu (kg/s)
- (Sumber: Robert. Alan, 1992 hal: 516)

Daya Yang Dibutuhkan Untuk Memutar *Axial Fan*

Momen torsi sering harus dihitung dari daya yang ditransmisikan dengan putaran poros tertentu

$$Mt = 63000 \frac{N}{n} (lb in) \quad (12)$$

$$Mt = 71620 \frac{N}{n} (kg cm) \quad (13)$$

Dimana:

- N = Daya (HP)
- n = Putaran (RPM)

Kalau satuan yang dipakai adalah SI rumus yang dipakai adalah:

$$Mt = \frac{N}{\omega} (Nm) \quad (14)$$

Sehingga,

$$N = Mt \cdot \omega \quad (15)$$

Dimana:

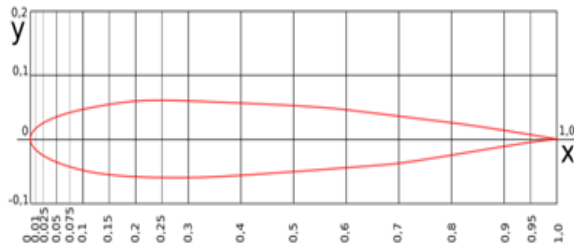
- N = Daya (watt)
- Mt = Momen torsi (Nm)
- ω = Kecepatan sudut (rad/detik)

(Sumber: A, Zainun. 1999, Hal.21)

Metodologi Penelitian

Airfoil NACA

Pada *airfoil* NACA seri empat, digit pertama menyatakan persen maksimum *chamber* terhadap *chord*. Digit kedua menyatakan persepuluh posisi maksimum *chamber* pada *chord* dari *leading edge*, sedangkan dua digit terakhir menyatakan persen ketebalan *airfoil* terhadap *chord*. Contoh: *airfoil* NACA 2412 memiliki maksimum *chamber* 0,02 terletak pada 0,4c dari *leading edge* dan memiliki ketebalan maksimum 12% *chord* atau 0,12c. *Airfoil* yang tidak memiliki kelengkungan, dimana *chamber line* dan *chord* berhimpit disebut *airfoil* simetrik.



Gambar 3. Geometri Airfoil NACA 0012.

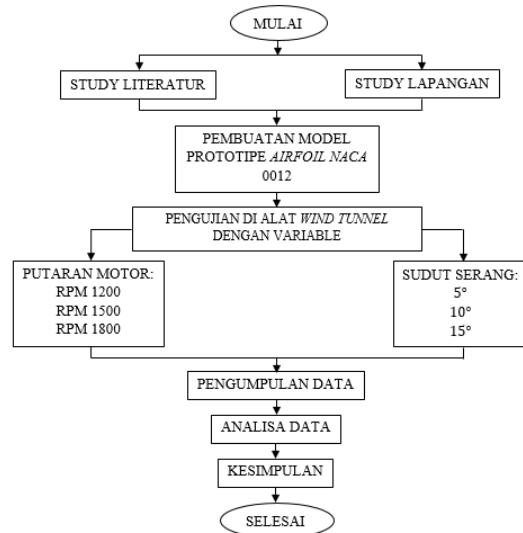
Variasi percobaan

Pengamatan pada tahap ini ada pada hasil gaya *Drag*, gaya *Lift* untuk memperoleh keseragaman aliran yang ada dalam test section. Dalam pengujian gaya *Drag* dan gaya *Lift* diberi beberapa variasi pengujian yaitu variasi sudut serang dan variasi putaran motor. Dengan beberapa variasi yang di berikan dicari hasil *coeffisien drag* dan *coeffisien lift*.

Tabel 1. Variasi Percobaan

Sudut (α)	Putaran motor	Percepatan V (m/s)	Gaya <i>Drag</i> (N)	Gaya <i>Lift</i> (N)	C_l	C_d
5°	1200 rpm					
	1500 rpm					
	1800 rpm					
10°	1200 rpm					
	1500 rpm					
	1800 rpm					
15°	1200 rpm					
	1500 rpm					
	1800 rpm					

PROSEDUR EKSPERIMEN



Gambar 4. Diagram Alir Prosedur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sudut (α)	Putaran motor (RPM)	Kecepatan V (m/s)	Gaya <i>Lift</i> (N)	Gaya <i>Drag</i> (N)
5°	1200	3,8	1,6	0,4
	1500	5,5	3,7	1,4
	1800	6,0	4,7	1,9
10°	1200	3,8	1,9	0,9
	1500	5,5	4,4	2,4
	1800	6,0	6	3,3
15°	1200	3,8	2,3	1,0
	1500	5,5	5,3	3,1
	1800	6,0	7	4,5

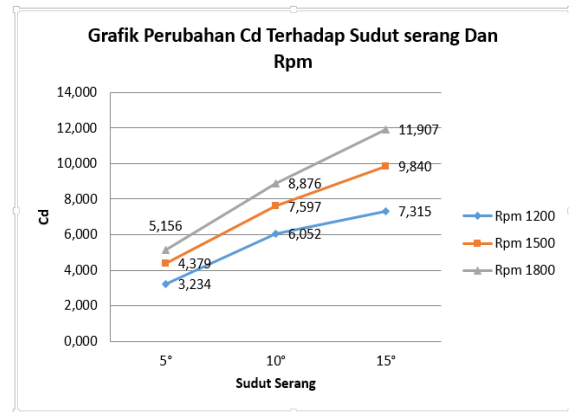
Tabel 2. Hasil Pengujian

Sudut (α)	Putaran motor (RPM)	Kecepatan V (m/s)	Gaya <i>Lift</i> (N)	C_l
5°	1200	3,8	1,6	10,26
	1500	5,5	3,7	11,32
	1800	6,0	4,7	12,08
10°	1200	3,8	1,9	12,75
	1500	5,5	4,4	13,75
	1800	6,0	6	15,43
15°	1200	3,8	2,3	14,86
	1500	5,5	5,3	16,30
	1800	6,0	7	18,004

Tabel 3. Hasil Perhitungan *Coeffisien Lift*

Sudut (α)	Putaran motor (RPM)	Kecepatan V (m/s)	Gaya Drag (N)	C_d
5°	1200	3,8	0,4	3,234
	1500	5,5	1,4	4,379
	1800	6,0	1,9	5,156
10°	1200	3,8	0,9	6,052
	1500	5,5	2,4	7,597
	1800	6,0	3,3	8,876
15°	1200	3,8	1,0	7,315
	1500	5,5	3,1	9,84
	1800	6,0	4,5	11,907

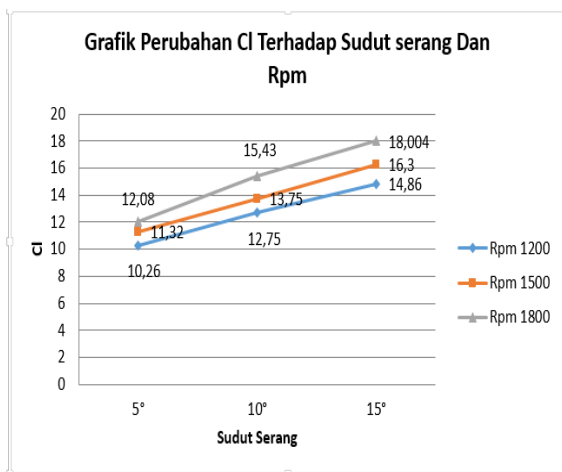
Tabel 4. Hasil Perhitungan *Coeffisien Drag*



Gambar 6. Grafik Hubungan Terhadap C_d
 Dari gambar di atas koefisien drag dengan sudut serang α 15° mempunyai nilai C_d sebesar 11,907

Sudut (α)	Putaran motor (RPM)	Kecepatan V (m/s)	Gaya Lift (N)	Gaya Drag (N)	C_l	C_d
5°	1200	3,8	1,6	0,4	10,26	3,234
	1500	5,5	3,7	1,4	11,32	4,379
	1800	6,0	4,7	1,9	12,08	5,156
10°	1200	3,8	1,9	0,9	12,75	6,052
	1500	5,5	4,4	2,4	13,75	7,597
	1800	6,0	6	3,3	15,43	8,876
15°	1200	3,8	2,3	1,0	14,86	7,315
	1500	5,5	5,3	3,1	16,30	9,84
	1800	6,0	7	4,5	18,004	11,907

Tabel 5. Data hasil penelitian



Gambar 5. Grafik Hubungan Terhadap C_l
 Dari gambar di atas koefisien lift dengan sudut serang α 15° mempunyai nilai C_l sebesar 18,004

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan pada setiap hasil analisis akhirnya dapat disimpulkan sebagai berikut.

- Pengujian pada variasi putaran motor 1800 Rpm dan sudut serang 15° menghasilkan nilai koefisien angkat (C_l) 18,004, sedangkan pengujian pada variasi putaran blade 1800 Rpm dan sudut serang 15° menghasilkan nilai koefisien geser (C_d) 11,907. dikarenakan semakin besar putaran blade akan semakin besar bilangan Reynold karena aliran udara semakin turbulen.

REFERENSI

- [1] A. Zainun. 1990. *Elemen Mesin*. Bandung: Refika Aditama
- [2] F.W. Sears dan M.W. Zemansky. 1962. *Fisika untuk Universitas I*. Jakarta: Binacipta
- [3] H, Muhammad Tsabit. 2017. *Desain Prototip Drag and Lift Balance Pada Wind Tunnel Siklus Tertutup*. Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri - Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [4] [HTTP://kharisismail53.blogspot.co.id](http://kharisismail53.blogspot.co.id)

- [5] M. Orianto dan W.A Praktiko. 1984.
Mekanika Fluida I. Surabaya: Institut
Teknologi Sepuluh Nopember.
- [6] R.W. Fox dan A.T. McDonald. 1992.
Introduction to Fluid Mechanics. New
York: Wiley College Software
- [7] V.L. Streeter dan E.B. Wylie. 1991.
Mekanika Fluida Edisi Delapan.
Jakarta: Erlangga.