

TUGAS AKHIR

ANALISIS AIRFOIL NACA 4412 MENGGUNAKAN WINDTUNNEL DENGAN VARIASI KECEPATAN

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

YUSRIL MAHADINASUTION

1807230100



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Yusril Mahadi Nasution
NPM : 1807230100
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Analisis *Airfoil NACA 4412* Menggunakan
Windtunnel Dengan Variasi Kecepatan.
Bidang Ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai penelitian tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Maret 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



Dr. Suherman, S.T., M.T..

Dosen Penguji II



H. Muharnif M, S.T., M.Sc.

Dosen Pembimbing



Dr. Khairul Umurani, S.T., M.T.

Program Studi Teknik Mesin
Ketua,



Chandra A Siregar, S.T., M.T.

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Yusril Mahadi Nasution
Tempat/Tanggal Lahir : Padangsidempuan, 17 Desember 2000
NPM : 1807230100
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul,

“Analisis *Airfoil NACA 4412* Menggunakan *Windtunnel* Dengan Variasi Kecepatan”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan keserjaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 22 April 2025

Saya, yang menyatakan



Yusril Mahadi Nasution

ABSTRAK

Keterbatasan energi fosil seperti Bahan Bakar Minyak (BBM), batubara, gas, membuat Indonesia harus terus mengembangkan energi terbarukan. Salah satu energi alternatif adalah energi angin, kecepatan rata-rata angin di Indonesia adalah 3-6 m/s yang ditentukan berdasarkan pada lama atau durasi kecepatan angin produktif setiap harinya. Perancangan *Airfoil NACA 4412* (*The United States National Advisory Committee for Aeronautics*) tipe vertikal merupakan salah satu solusi dalam meningkatkan keterbatasan suplai listrik sebagai bilah turbin angin dengan menganalisis kinerja *airfoil* data kecepatan angin sehingga turbin dapat beroperasi dengan optimal. Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimental menggunakan *windtunnel* dengan *airfoil NACA 4412* sesuai titik koordinat dari *NACA*. Variasi kecepatan pada *airfoil NACA 4412* berpengaruh pada *coefficient lift*, dimana nilai *coefficient lift* dan *coefficient drag* akan semakin meningkat pada tiap kecepatan, namun pada kecepatan 4 m/s *coefficient lift* dan *coefficient drag* menurun dengan nilai *coefficient lift* 1,889 dan *coefficient drag* 5,062. Nilai *coefficient lift* tertinggi terjadi pada kecepatan aliran 8 m/s yaitu 6,574 dan nilai *coefficient drag* tertinggi terjadi pada kecepatan aliran 8 m/s yaitu 74,732.

Kata kunci : *Airfoil, Wind Tunnel, Drag Force, Lift Force.*

ABSTRACT

The limitations of fossil energy such as fuel oil (BBM), coal, gas, make Indonesia must continue to develop renewable energy. One of the alternative energies is wind energy, the average wind speed in Indonesia is 3-6 m / s which is determined based on the length or duration of productive wind speed each day. The design of the NACA 4412 (The United States National Advisory Committee for Aeronautics) vertical type Airfoil is one solution to improve the limitations of electricity supply as a wind turbine blade by analyzing the performance of the airfoil wind speed data so that the turbine can operate optimally. This study used an experimental method using a wind tunnel with a NACA 4412 airfoil according to the coordinates of the NACA. The variation in speed on the NACA 4412 airfoil affects the lift coefficient, where the lift coefficient and drag coefficient values will increase at each speed, but at a speed of 4 m / s the lift coefficient and drag coefficient decreased with a lift coefficient value of 1.889 and a drag coefficient of 5.062. The highest lift coefficient value occurs at a flow speed of 8 m/s, namely 6.574 and the highest drag coefficient value occurs at a flow speed of 8 m/s, namely 74.732.

Keywords: Airfoil, Wind Tunnel, Drag Force, Lift Force.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr.wb

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Dr. Khairul Umurani, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
2. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T dan Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T sebagai Ketua dan Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
4. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikmesinan kepada penulis.
5. Orang tua penulis: Eddy Efendi Nasution dan Farida Hanum Lubis yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Keluarga penulis : Isnaniyah Nasution, Irpan Sofyan Nasution, Nur Ainah Nasution, Walidah Nuriyah Nasution, Irwansyah Nasution yang telah mendukung penulis sampai berada di tingkat Pendidikan sarjana ini.
8. Sahabat penulis : Mii, Genta, Budi, Kemal Ananta, bege onan dan sahabat

penulis yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 22 April 2025

Yusril Mahadi Nasution

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Ruang Lingkup	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Terowongan Angin (Wind Tunnel)	4
2.1.1. Wind Tunnel Open Loop (Sirkuit Terbuka)	5
2.1.2. Wind Tunnel Closed Loop (Sirkuit Tertutup)	6
2.1.3. Bagian-bagian <i>Subsonic Wind Tunnel</i>	7
2.2. Airfoil	8
2.3. Gaya Angkat (lift)	11
2.4. Gaya Hambat (drag)	12
2.5. Karakteristik Kecepatan Angin	13
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	15
3.1.1. Tempat Penelitian	15
3.1.2. Waktu Penelitian	15
3.2. Alat dan Bahan	16
3.2.1. Alat yang Digunakan	16
3.2.2. Bahan	21
3.3. Diagram Alir	22
3.4. Penjelasan Diagram Alir	23
3.5. Prosedur Penelitian	23
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	24

4.1. Data Pengujian Eksperimen	24
4.2 Goal plot	29
4.3 Grafik perbandingan CD dan CL	29
4.4 Pembahasan	30
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	31
5.1. Kesimpulan	31
5.2. Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	32

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Densitas Beberapa Jenis Fluida</i>	13
Tabel 3. 1 Jadwal kegiatan penelitian.	15
Tabel 4. 1 Tabel nilai rata-rata gaya <i>lift</i> dan <i>drag</i> .	24
Tabel 4. 2 Tabel <i>goal plot</i>	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Wind Tunnel</i>	4
Gambar 2. 2 <i>Wind Tunnel Open Loop</i> (grc.nasa.gov)	5
Gambar 2. 3 <i>Wind Tunnel Closed Loop</i> (grc.nasa.gov)	6
Gambar 2. 4 <i>Bagian-bagian wind tunnel</i>	7
Gambar 2. 5 <i>Bagian-bagian airfoil</i> (Wiratama, 2016).	8
Gambar 2. 6 <i>Airfoil symmetrical</i> (Wiratama, 2016).	9
Gambar 2. 7 <i>Airfoil semi-symmetrical</i> (Wiratama, 2016)	10
Gambar 2. 8 <i>Airfoil flat bottom</i> (Wiratama, 2016).	10
Gambar 2. 9 <i>Airfoil under chambered</i> (Wiratama, 2016).	11
Gambar 2. 10 <i>Reflexed airfoil</i> (Wiratama, 2016).	11
Gambar 3. 1 <i>Anemometer</i>	16
Gambar 3. 2 <i>Autocad DWG dari airfoil</i>	17
Gambar 3. 3 <i>Wind Tunnel</i>	17
Gambar 3. 4 <i>Komputer (PC)</i>	18
Gambar 3. 5 <i>Arduino</i>	18
Gambar 3. 6 <i>Airfoil</i>	19
Gambar 3. 7 <i>Control Box dan Motor Penggerak</i>	19
Gambar 3. 8 <i>Load cell</i>	20
Gambar 3. 9 <i>Software Calibration Sensor Ultrasonic (PLX-DQ)</i>	20
Gambar 4. 1 <i>Grafik lift dan drag pada kecepatan 3 m/s.</i>	24
Gambar 4. 2 <i>Grafik lift dan drag pada kecepatan 4 m/s.</i>	25
Gambar 4. 3 <i>Grafik lift dan drag pada kecepatan 5 m/s.</i>	26
Gambar 4. 4 <i>Grafik lift dan drag pada kecepatan 7 m/s.</i>	27
Gambar 4. 5 <i>Grafik lift dan drag pada kecepatan 8 m/s.</i>	28
Gambar 4. 6 <i>Grafik perbandingan C_l dan C_d</i>	29

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Keterbatasan energi fosil seperti Bahan Bakar Minyak (BBM), batubara, gas, membuat Indonesia harus terus mengembangkan energi terbarukan. Salah satu energi alternatif adalah energi angin, kecepatan rata-rata angin di Indonesia adalah 3-6 m/s yang ditentukan berdasarkan pada lama atau durasi kecepatan angin produktif setiap harinya.

Energi angin dan energi matahari dapat berperan penting dalam pembangkit energi di masa depan dengan energi yang dihasilkan bervariasi tergantung kondisi wilayah. Pemanfaatan energi angin dan energi matahari dinilai lebih efisien dibandingkan energi lainnya yang cenderung lebih mahal. Para ahli mengatakan energi angin dan matahari dapat menyuplai 95% konsumsi energi global yang berkelanjutan (Energi Terbarukan, 2021).

Perancangan *Airfoil NACA 4412* (*The United States Nasional Advisory Committee for Aeronautics*) tipe vertikal merupakan salah satu solusi dalam meningkatkan keterbatasan suplai listrik sebagai bilah turbin angin dengan menganalisis kinerja *airfoil* data kecepatan angin sehingga turbin dapat beroperasi dengan optimal. Bilah tapper dapat menghasilkan daya yang besar saat kecepatan angin tinggi tetapi ketika kecepatan angin rendah *airfoil* tidak dapat menyerap angin lebih besar karena ujung bilah yang kecil.

Daya yang dihasilkan tegangan geser pada sudu berasal dari gaya tekan (*drag*) dan gaya angkat (*lift*) yang arahnya sejajar dan tegak lurus dengan arah aliran fluida. Sudu turbin angin vertikal yang dirancang model *NACA 4412* menggunakan perhitungan dan simulasi dengan menentukan parameter sebagai dasar pembuatan sudu. Koefisien daya turbin menentukan performa turbin tersebut, semakin besar daya koefisien turbin menghasilkan energi angin yang besar untuk di ekstrak. Pada kecepatan rendah, koefisien daya turbin menurun dan terjadi peningkatan performa pada variasi kecepatan angin tertentu yang di rancang sebagai pembangkit listrik lampu jalan (Fauzi et al., 2019)

Pengembangan turbin angin model vertikal menggunakan *airfoil* sebagai bilah turbin dengan kecepatan angin rendah harus terus berlanjut dalam upaya meningkatkan efisiensi daya yang dihasilkan dan kapasitas start up yang lebih baik dan ramah lingkungan. Turbin angin tipe vertikal secara historis berasal dari Afghanistan dan Iran pada abad ke-7 dan 10 yang digunakan untuk memompa air dan menggiling dengan efisiensi rendah. Dibandingkan dengan turbin angin tipe horizontal, turbin angin tipe vertikal memiliki kelebihan mengurangi perhentian dinamis dan meningkatkan rasio luncur namun dapat menghasilkan daya yang besar dengan kecepatan angin rendah yaitu 3-5 m/s untuk menggerakkan turbin (Francis et al., 2021).

Hasil uji dari peneliti sebelumnya, turbin dapat menghasilkan daya 200 Watt dengan kecepatan angin 6 m/s (Daniel Teguh, 2016). Dengan memperhitungkan dan mengembangkan gaya tegang pada sudu akibat gaya dorong angin yang dirancang pada sudut yang bervariasi, menunjukkan desain yang berbeda menghasilkan variasi karakteristik (Francis et al., 2021).

Hasil penelitian ini diharapkan mampu menganalisa kinerja dari *airfoil* menggunakan *wind tunnel*, yang bertujuan untuk menganalisis karakteristik aerodinamisnya dengan memperhitungkan material yang sesuai dengan tipe *airfoil* dengan kecepatan angin yang rendah sehingga bilah dapat berkerja dengan maksimal.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh kecepatan angin terhadap *coeffisien lift* dan *coeffisient drag* dari *NACA 4412*.

1.3. Ruang Lingkup

Menganalisis koefisien gaya *lift* dan *drag* pada dari sudu *NACA 4412* dengan sudut serang 0° menggunakan *windtunnel* dengan variasi kecepatan 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 7 m/s, 8 m/s sehingga menghasilkan kinerja yang efisien sesuai dari desain rancangan dengan jenis sudu *NACA 4412*.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang diatas, tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisa *coeffisient lift* (angkat) dari *airfoil*.
2. Menganalisa *coeffisient drag* (hambat) dari *airfoil*.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Dapat merancang *airfoil NACA 4412*.
2. Dapat menganalisis gaya *drag* dan *lift* dari *airfoil* pada sudut 0° dengan variasi kecepatan 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 7 m/s, 8 m/s.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Terowongan Angin (Wind Tunnel)

Wind tunnel merupakan alat uji yang digunakan untuk mempelajari aerodinamika atau laju aliran udara yang mengalir disekitar sebuah objek sehingga penguji atau peneliti dapat menganalisa gaya angkat, geser, dan aliran udara (Nakhoda & Saleh, 2017).



Gambar 2. 1 *Wind Tunnel*

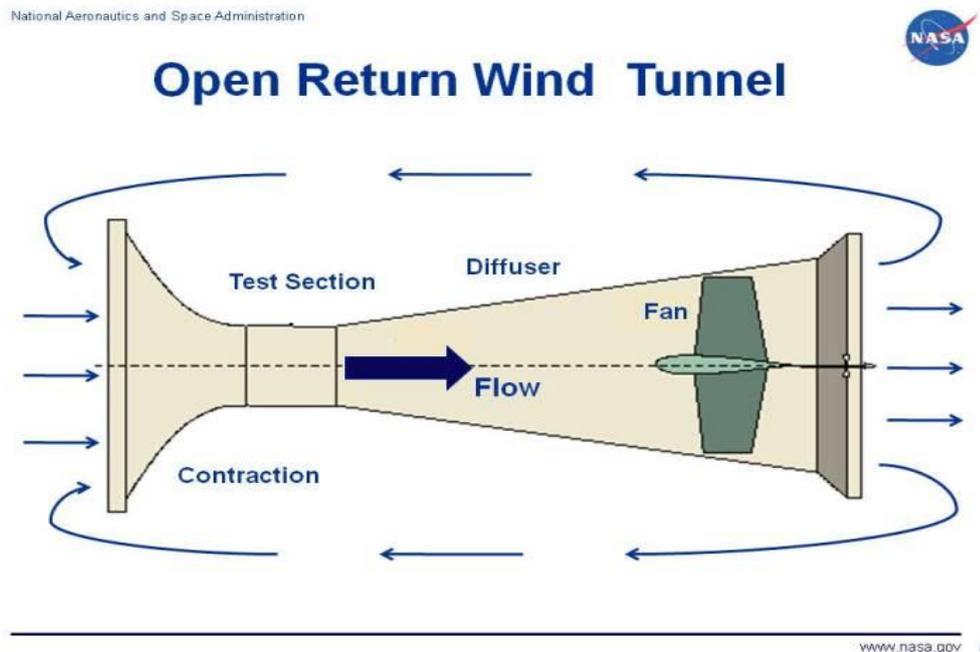
Sebuah terowongan angin diharuskan menghasilkan aliran udara yang seragam atau yang memiliki intensitas turbulensi sekecil mungkin untuk menghindari kesalahan data yang besar. Keberadaan terowongan angin sederhana dengan intensitas turbulensi kecil dapat memberikan hasil yang lebih baik dalam pengujian aerodinamika dan wind turbine sederhana. Namun terowongan angin komersial yang dapat digunakan untuk edukasi tentunya terlalu mahal untuk dibeli. Sebagai alternatif, terowongan angin sederhana dapat dibuat dengan alat dan bahan yang lebih terjangkau.

Wind tunnel terbagi dalam beberapa jenis utama berdasarkan dengan desain sirkuit seperti terowongan angin sirkuit terbuka (*open loop*) dan sirkuit tertutup (*closed loop*). *Wind tunnel* juga diklasifikasikan berdasarkan kecepatan aliran udara, seperti *subsonic*, *hypersonic*, *transonic*, dan *supersonic*. Terowongan angin tradisional diklasifikasikan berdasarkan kecepatan udara yang melewati bagian pengujian relatif terhadap kecepatan suara (Mach 1). Terowongan angin

dibagi menjadi empat kategori: subsonik ($Mach < 0,8$), transonik ($Mach 0,8 - 1,2$), supersonik ($Mach 1,2 - 5,0$), dan hipersonik ($Mach > 5,0$). Terowongan angin terbesar di dunia, berukuran 80' x 120' dan berlokasi di Pusat Penelitian Ames NASA di California, dibangun melalui modifikasi terowongan angin yang lebih kecil berukuran 40' x 80'.

2.1.1. Wind Tunnel Open Loop (Sirkuit Terbuka)

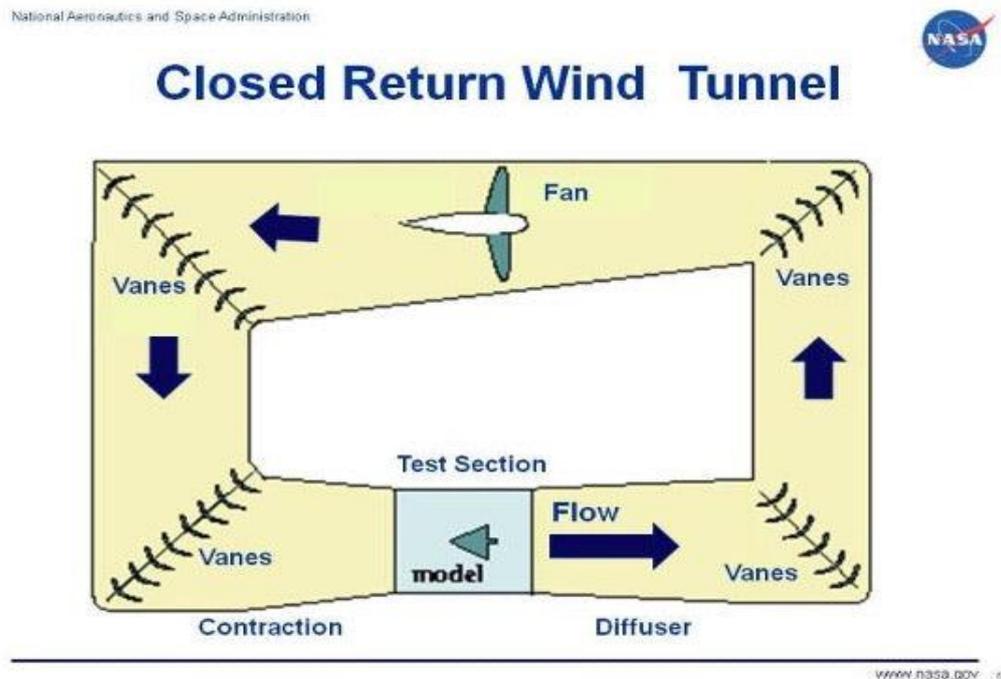
Wind Tunnel Open Loop memiliki ujung terbuka di kedua sisi bagian pengujian dan mengumpulkan udara dari lingkungan tempat terowongan berada. Setelah udara melewati seksi pengujian dan keluar melalui salah satu ujung terowongan, udara tersebut disirkulasikan kembali melalui ruangan ke pintu masuk terowongan tempat udara tersebut dapat masuk kembali ke dalam terowongan. *Wind Tunnel Open Loop* dengan bagian pengujian terbuka juga dikenal sebagai “terowongan Eiffel”, dinamai menurut Gustave Eiffel yang menggunakan terowongan angin Parisien untuk mempelajari sifat daya angkat pada sebuah airfoil.



Gambar 2. 2 *Wind Tunnel Open Loop* (grc.nasa.gov)

2.1.2. Wind Tunnel Closed Loop (Sirkuit Tertutup)

Wind Tunnel Closed Loop menggunakan sirkuit mandiri yang mengalirkan kembali udara di dalam terowongan melalui bagian pengujian, *Wind Tunnel Closed Loop* tidak terbuka ke lingkungan pengujian di sekitarnya, sehingga udara yang sama disirkulasikan berulang-ulang. Baling-baling yang berputar membantu menghasilkan perubahan arah aliran udara yang lebih halus di seluruh *tunnel*. Terowongan angin tertutup juga dikenal sebagai "terowongan Prandtl" yang diambil dari nama Ludwig Prandtl yang mengembangkan teori pertama tentang gelombang kejut supersonik. *Tunnel* ini juga dikenal sebagai "terowongan Gottingen", yang dinamai berdasarkan laboratorium penelitian Jerman tempat terowongan ini pertama kali digunakan.



Gambar 2. 3 *Wind Tunnel Closed Loop* (grc.nasa.gov)

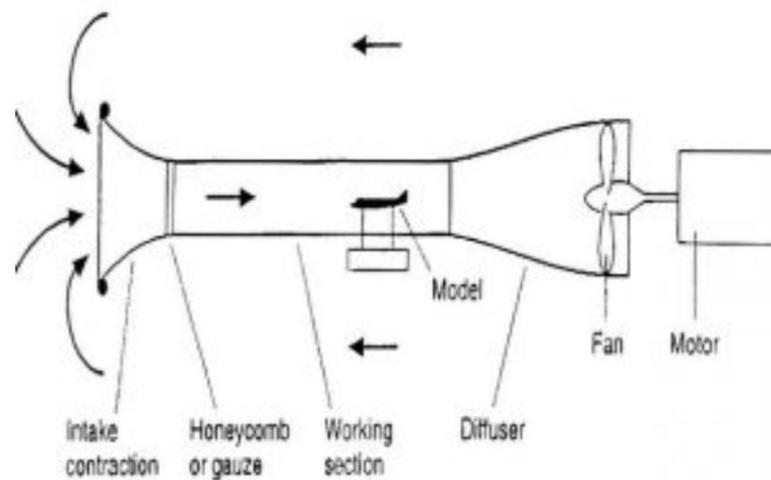
Berdasarkan kecepatan aliran udara, *wind tunnel* dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu :

1. *Subsonic wind tunnel*, umumnya *wind tunnel* ini digunakan untuk menguji kendarn, bangunan, dan pesawat ringan dengan kecepatan dibawah kecepatan suara ($< \text{Mach } 1$), contohnya *wind tunnel* dengan kecepatan 0—300 km/jam.

2. *Transonic wind tunnel*, digunakan untuk menguji pesawat jet, rudal, dan objek berkecepatan tinggi lainnya (\sim Mach 0,75-1,2) yang membutuhkan desain khusus untuk mengurangi pantulan gelombang kejut dari *windtunnel*.
3. *Supersonic wind tunnel*, digunakan dalam uji kecepatan hipersonik seperti pesawat luar angkasa ($>$ Mach 5).

2.1.3. Bagian-bagian *Subsonic Wind Tunnel*

Wind tunnel memiliki beberapa bagian sesuai dengan fungsinya. Berikut adalah gambar dan fungsi dari bagian *wind tunnel* :



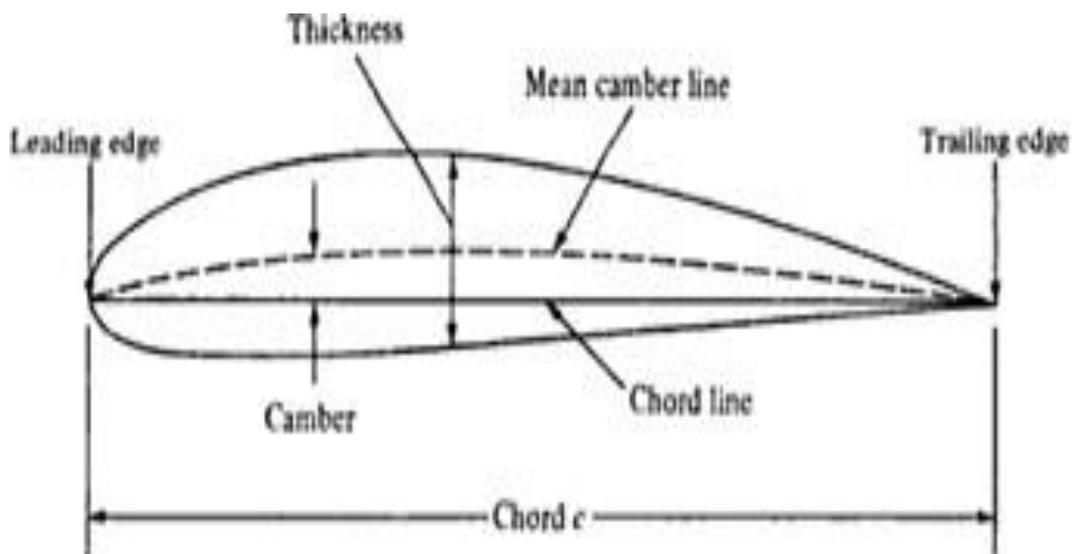
Gambar 2. 4 Bagian-bagian *wind tunnel*

- a. *Intake contraction*, merupakan bagian masuknya udara menuju *working section* yang menstabilkan udara agar tidak terjadi perubahan kecepatan yang spontan.
- b. *Working section/test section*, merupakan tempat meletakkan objek uji, pada bagian ini dindingnya transparan, yang didalamnya terdapat alat ukur *lift*, *drag*, *moment* dan lain-lain.
- c. *Diffuser*, merupakan bagian yang berfungsi memperlambat aliran secara teratur dari *working section* menuju kipas.
- d. *Fan* dan motor, merupakan bagian yang paling penting karena merupakan sumber daya penggerak udara yang mengalir dari *intake* sampai ke *diffuser*.

2.2. Airfoil

Aerofoil atau *airfoil* merupakan bentuk geometri jika diaplikasikan di suatu aliran fluida dapat memproduksi gaya angkat (*lift*) lebih besar dari gaya hambat (*drag*). Kecepatan aliran udara yang rendah pada permukaan atas *airfoil* dari kecepatan di permukaan bawah *airfoil*, besarnya sudut serang menyebabkan semakin besar gaya angkat (*lift*) yang terjadi (Saputra & Agustian, 2018). Terdapat beberapa bagian pada *airfoil*, yaitu :

- a. Bagian depan *airfoil* disebut *leading edge*.
- b. Bagian belakang *airfoil* disebut *trailing edge*.
- c. Garis yang membagi permukaan atas dan bawah dari *airfoil* mean *chamber line* disebut *chamber line*.
- d. Garis lurus yang menghubungkan *trailing edge* dan *leading edge* disebut *chord line*
- e. Jarak antara *trailing edge* dan *leading edge* disebut *chord* (*c*).
- f. Jarak maksimum antara *mean chamber line* dan *chord line* disebut *Maksimum chamber*, yang diukur dari *leading edge* dengan bentuk persentase *chord*.
- g. Jarak maksimum antara permukaan atas dan permukaan bawah *airfoil* yang diukur tegak lurus terhadap *chord line* disebut *maksimum thickness* (*t*).



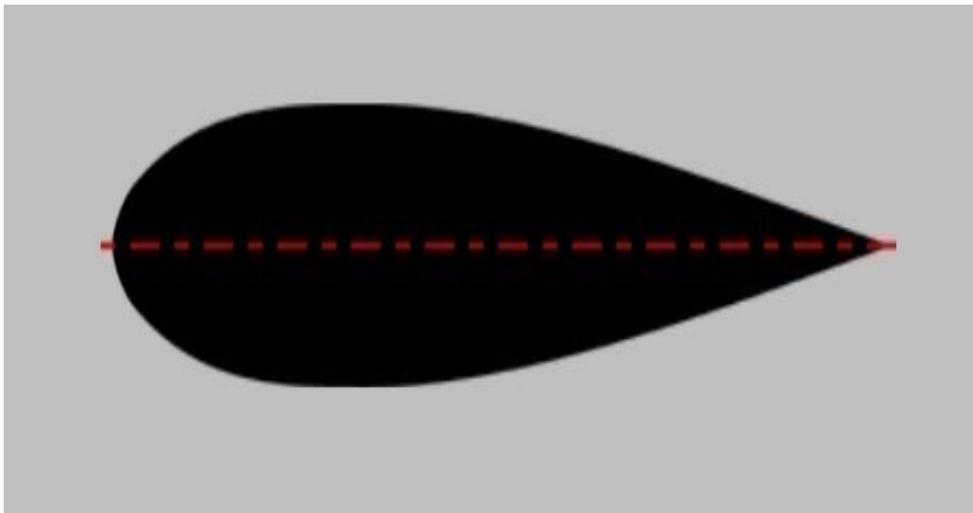
Gambar 2. 5 Bagian-bagian airfoil (Wiratama, 2016).

Maksimum chamber memperlihatkan besar *airfoil* melengkung ke atas. Semakin besar maksimum chamber, koefisien daya angkat pada sudut serang nol semakin besar dan koefisien daya angkat maksimum *airfoil* naik. Meningkatnya/koefisien angkat pada sudut serang nol membuat kondisi operasional *angle of attack* menjadi sempit, yaitu sangat cepat berkurang atau hilangnya koefisien daya angkat (*stall*) pada *angle of attack* yang kecil.

Ada beberapa macam bentuk *airfoil* yang disesuaikan pada sudut serang aliranudara(Wiratama,2016), seperti:

1. *Airfoil Symetrical*

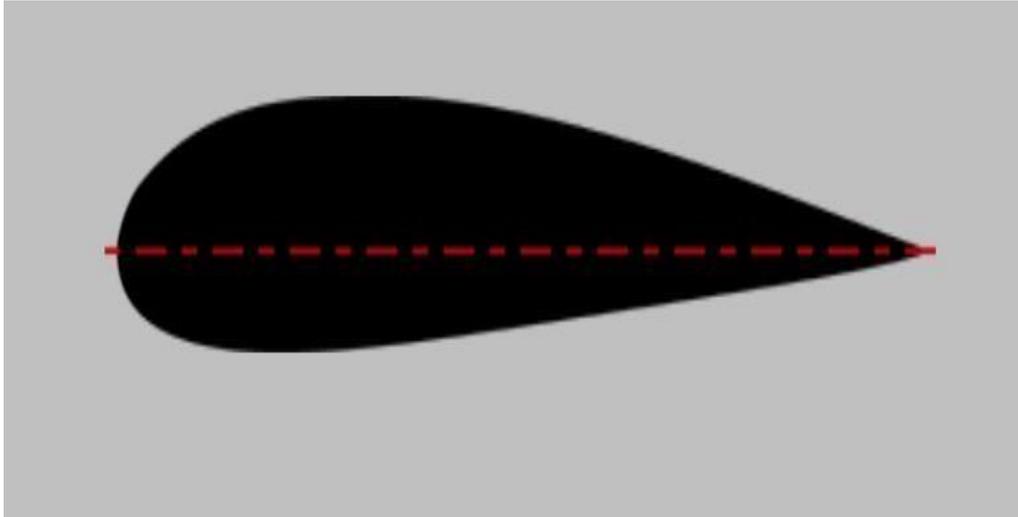
Bentuk *airfoil* ini digunakan untuk manuver yang tinggi, nilai *chamber* yang bernilai nol, dan memiliki bentuk yang simetris pada permukaan atas dan bawah.



Gambar 2. 6 *Airfoil symetrical* (Wiratama, 2016).

2. *Airfoil semi-Symetrical*

Bentuk *airfoil* permukaan atas membentuk kurva yang melengkung daripada permukaan bawah.



Gambar 2. 7 *Airfoil semi-symmetrical* (Wiratama, 2016)

3. *Airfoil Flat Bottom*

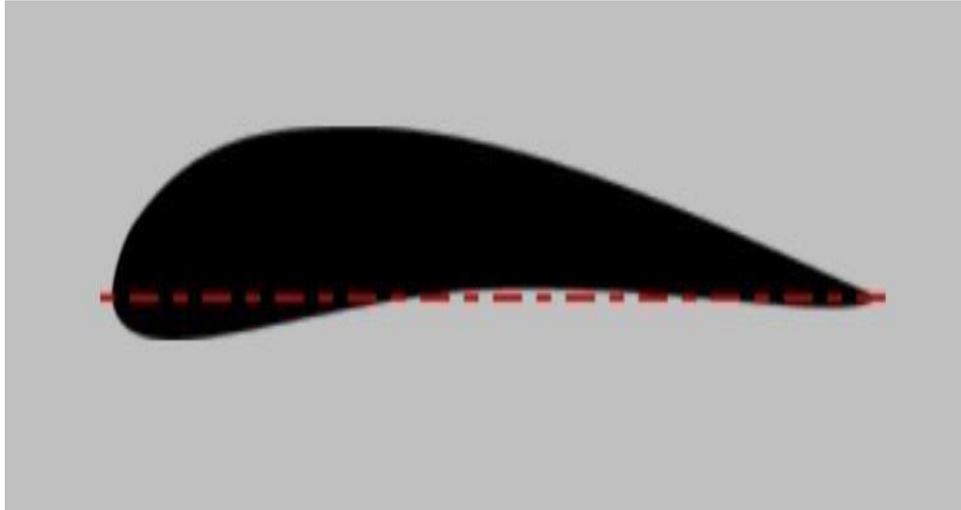
Seperti namanya, bentuk *airfoil* ini memiliki permukaan bawah yang sejajar dan melengkung pada permukaan atas. Karakteristik *airfoil* ini memiliki gaya hambat (*drag*) yang besar.



Gambar 2. 8 *Airfoil flat bottom* (Wiratama, 2016).

4. *Airfoil Under Chambered*

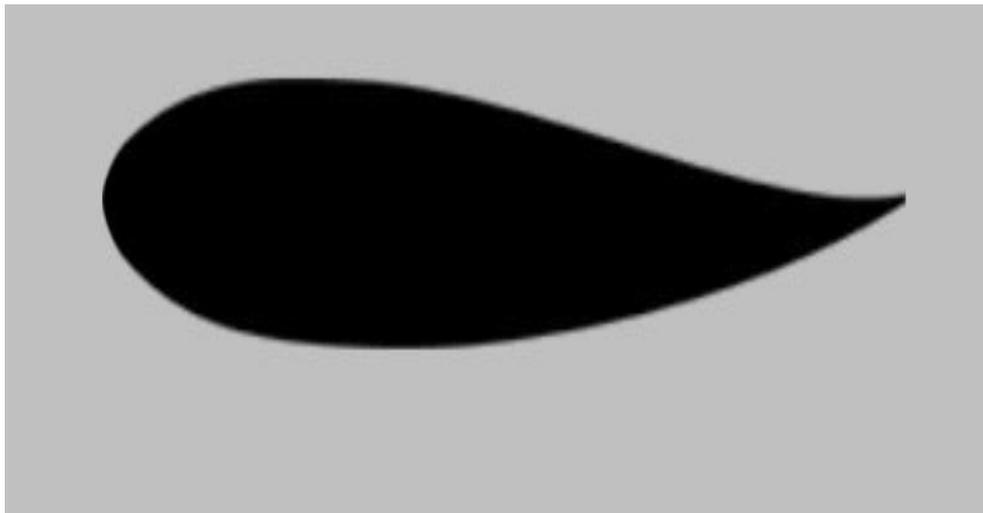
Bentuk permukaannya melengkung keatas dan membuat *chamber* rata-ratanya tinggi, dan memiliki daya angkat yang besar.



Gambar 2. 9 Airfoil under chambered (Wiratama, 2016).

5. Reflexed Airfoil

Bentuknya seperti huruf S tipis atau *trailing edge* yang melengkung keatas dan menghasilkan efek momen (putaran).



Gambar 2. 10 Reflexed airfoil (Wiratama, 2016).

2.3. Gaya Angkat (lift)

Lift merupakan gaya angkat suatu material keatas karena adanya tekanan dibawah material yang lebih besar dibandingkan tekanan permukaan atas material yang bertujuan untuk mengurangi gaya gravitasi bumi yang menarik benda atau material ke bawah.

$$L_f = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot C_l \quad (2.1)$$

atau,

$$C_l = \frac{2 \cdot L_f}{\rho \cdot v^2 \cdot A} \quad (2.2)$$

Dimana :

L_f : Gaya Angkat (N)

ρ : Massa Jenis Fluida (kg/m^3)

v : Kecepatan Aliran Fluida (m/dt)

A : Luas Penampang Spesimen Uji (m^2)

C_l : Koefisien Lift

Koefisien gaya angkat juga dapat digunakan sebagai karakteristik dari bentuk tertentu (*cross-section*) dari airfoil. Dalam aplikasi ini disebut koefisien lift (C_l) dimana bagian ini menunjukkan hubungan airfoil tertentu, yakni hubungan antara koefisien lift dan sudut serangan (*Anderson, 2011*).

Koefisien gaya angkat merupakan fungsi parameter tidak berdimensi yang menunjukkan besarnya gaya angkat yang berkerja pada suatu benda yang dialiri oleh fluida. Koefisien lift maksimum merupakan harga $C_{l_{max}}$ tertinggi yang dihasilkan *airfoil* pada posisi sudut serang maksimum dan jika batas maksimum dilewati maka terjadi *stall* yang mempengaruhi kinerja *airfoil*. (*Saputra & Agustian, 2018*).

Pada sudut serangan kritis tertentu, aliran di sekitar permukaan airfoil terurai menjadi fenomena yang disebut *stall*. Perlambatan kecepatan udara ketika melewati sayap menimbulkan adanya tekanan yang berlawanan di daerah *downstream* airfoil yang akan menyebabkan separasi secara besar-besaran yang kemudian akan menyebabkan terjadinya *stall*.

2.4. Gaya Hambat (drag)

Gaya *drag* merupakan gaya hambat pergerakan sebuah material padat terhadap sebuah fluida yang memiliki arah sejajar dengan sumbu kecepatan fluida terhadap luas penampang dari suatu material yang berlawanan arah dengan arah fluida tersebut.

$$L_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot C_d \quad (2.3)$$

atau,

$$C_d = \frac{2.L_d}{\rho.v^2.A} \quad (2.4)$$

Dimana :

L_d = Gaya hambat (*drag*) (N)

C_d = Koefisien gaya hambat (*drag*) (N)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

A = Luas penampang turbin (m²)

v = Kecepatan aliran fluida (m/s)

2.5. Karakteristik Kecepatan Angin

Energi angin dan pemilihan kecepatan angin yang sesuai pada *wind tunnel* untuk uji karakteristik dari *airfoil* sangat berpengaruh dalam kinerja *airfoil* tersebut. Energi kinetik dari angin dan daya yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan dalam memutar rotor. Massa jenis udara pada lokasi pengaplikasian berbanding dengan daya turbin yang dihasilkan, apabila massa jenis udara menurun terjadi peningkatan suhu dan ketinggian. Aliran udara yang melewati turbin angin mengalami penurunan kecepatan karena terjadinya serangan terhadap *airfoil*. Hal yang tidak mungkin terjadi ketika kecepatan angin melewati turbin bernilai nol atau berhenti, dan dapat dihitung dengan teori *rotor disc* yaitu bahwa efisiensi maksimum C_p adalah 59,3%. Efisiensi ini disebut *Power coefficient (Cp)* atau *Betz limit* dalam rancangan turbin angin (Wiratama, 2016).

Tabel 2. 1 *Densitas Beberapa Jenis Fluida*

No	Nama Zat	Masssa Jenis (g/m ³)	Massa jenis (kg/m ³)	Keterangan (Zat)
1	Air	1,00	1.000	Cair
2	Bensin	0,70	700	Cair
3	Raksa	13,60	13.600	Cair

4	Alkohol	0,80	800	Cair
5	Udara (gas)	0,0013	1,29	Gas

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium teknik UMSU, Medan, Sumatera Utara dengan melakukan metode eksperimen pada airfoil *windtunnel*.

3.1.2. Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian dimulai setelah mendapat persetujuan dari dosen pembimbing dan pihak terkait tempat penelitian dilakukan, yang dimulai dari tanggal 17 Januari 2025 yang tersusun pada table 3.1.

Tabel 3. 1 Jadwal kegiatan penelitian.

Kegiatan	Waktu (Bulan)					
	1	2	3	4	5	6
1 Pengajuan judul	■					
2 Studi literature	■	■				
3 Penulisan proposal	■	■	■			
4 Seminar proposal	■	■	■	■		
5 Pengambilan Data	■	■	■	■	■	
6 Penyelesaian skripsi				■	■	■
7 Seminar hasil dan sidang sarjana					■	■

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam proses pembuatan *airfoil* dan menghitung kecepatan angin, yaitu :

1. Anemometer

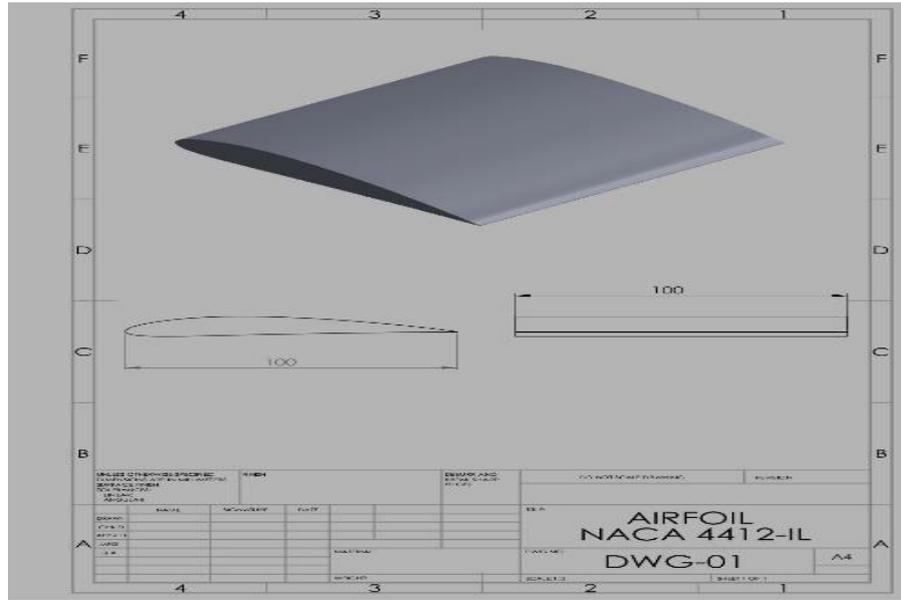
Anemometer merupakan alat yang digunakan dalam mengukur kecepatan angin. Alat ini biasanya digunakan dalam bidang geofisika dan meteorologi dalam menentukan prakiraan cuaca.



Gambar 3. 1 *Anemometer*

2. *Software Autocad DWG*

Perangkat lunak komputer yang digunakan dalam menggambar 2 atau 3 dimensi *airfoil* dengan mengkonversikan ukuran dari *NACA* (*The United States Nasional Advisory Committee for Aeronautics*).



Gambar 3. 2 Autocad DWG dari airfoil

3. Wind Tunnel

Digunakan sebagai alat mempelajari aerodinamika yang menciptakan aliran udara stabil. Alat ini bekerja dengan motor penggerak yang menggerakkan kipas sebagai penghasil angin. Pada *windtunnel* objek dipasang di tengah terowongan angin.



Gambar 3. 3 Wind Tunnel

4. Komputer (PC)

Digunakan sebagai penampil output data dalam analisa *airfoil* dengan spesifikasi core i7-10700 processor, LED 19.5, RAM 8GB DDR4 SDRAM, *wired keyboard + weired mouse*, windows 10 Home.



Gambar 3. 4 Komputer (PC)

5. Arduino Nano

Arduino nano V3 ATMEGA 328P compatible board USBC digunakan sebagai alat mempelajari pemograman khusus atau disebut dengan arduino IDE (*Integrated Development Environment*) dengan menggunakan aplikasi untuk menulis dan mengunggah kode.



Gambar 3. 5 Arduino

6. *Airfoil* NACA 4412

Digunakan untuk objek penelitian dengan menggunakan kayu balsa sebagai bahan materialnya.



Gambar 3. 6 *Airfoil*

7. *Control Box* dan Motor penggerak

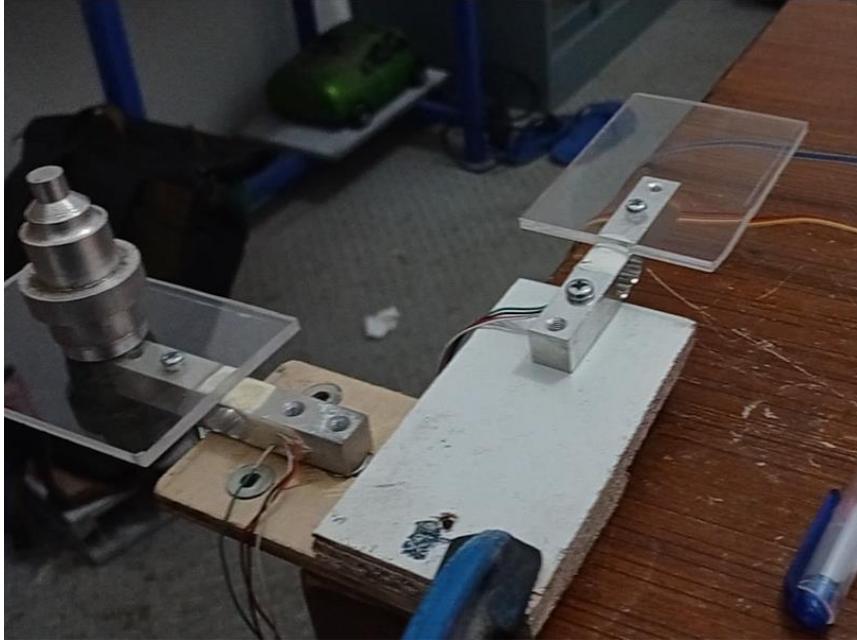
Control Box digunakan untuk kontrol penghubung antara motor penggerak dan *windtunnel*. Sedangkan motor penggerak berfungsi untuk menggerakkan kipas pada *windtunnel*.



Gambar 3. 7 *Control Box* dan Motor Penggerak

8. Load Cell

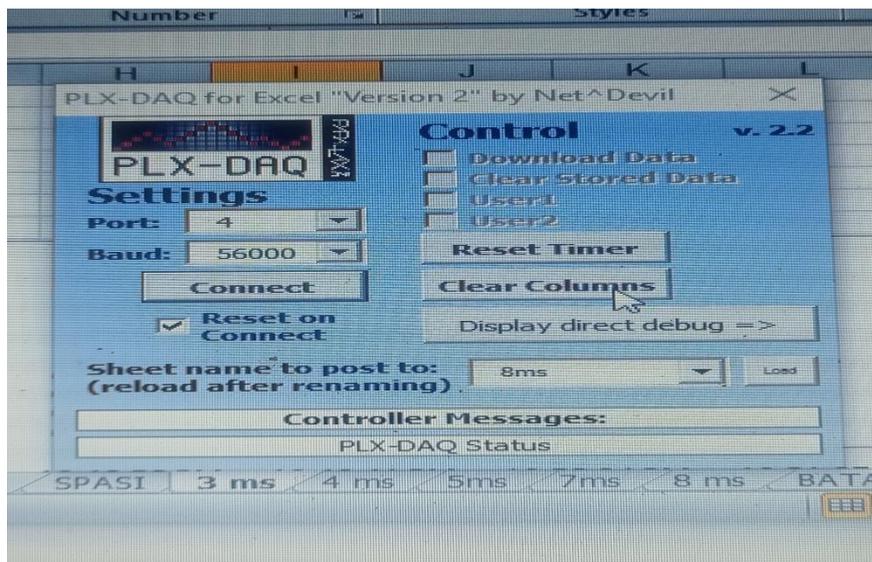
Load cell merupakan alat yang berfungsi sebagai sensor untuk mengukur beban tekanan.



Gambar 3. 8 *Load cell*

9. Software Calibration Sensor Ultrasonic (PLX-DQ)

Sensor ini berfungsi sebagai program keakuratan pembacaan sensor agar selaras dengan hasil *output* dari *load cell*.



Gambar 3. 9 *Software Calibration Sensor Ultrasonic (PLX-DQ)*

3.2.2. Bahan

Adapun bahan yang digunakan ketika analisa *airfoil NACA 4412*, yaitu :

a. Literatur

Bahan berupa studi tentang hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang sedang dikerjakan.

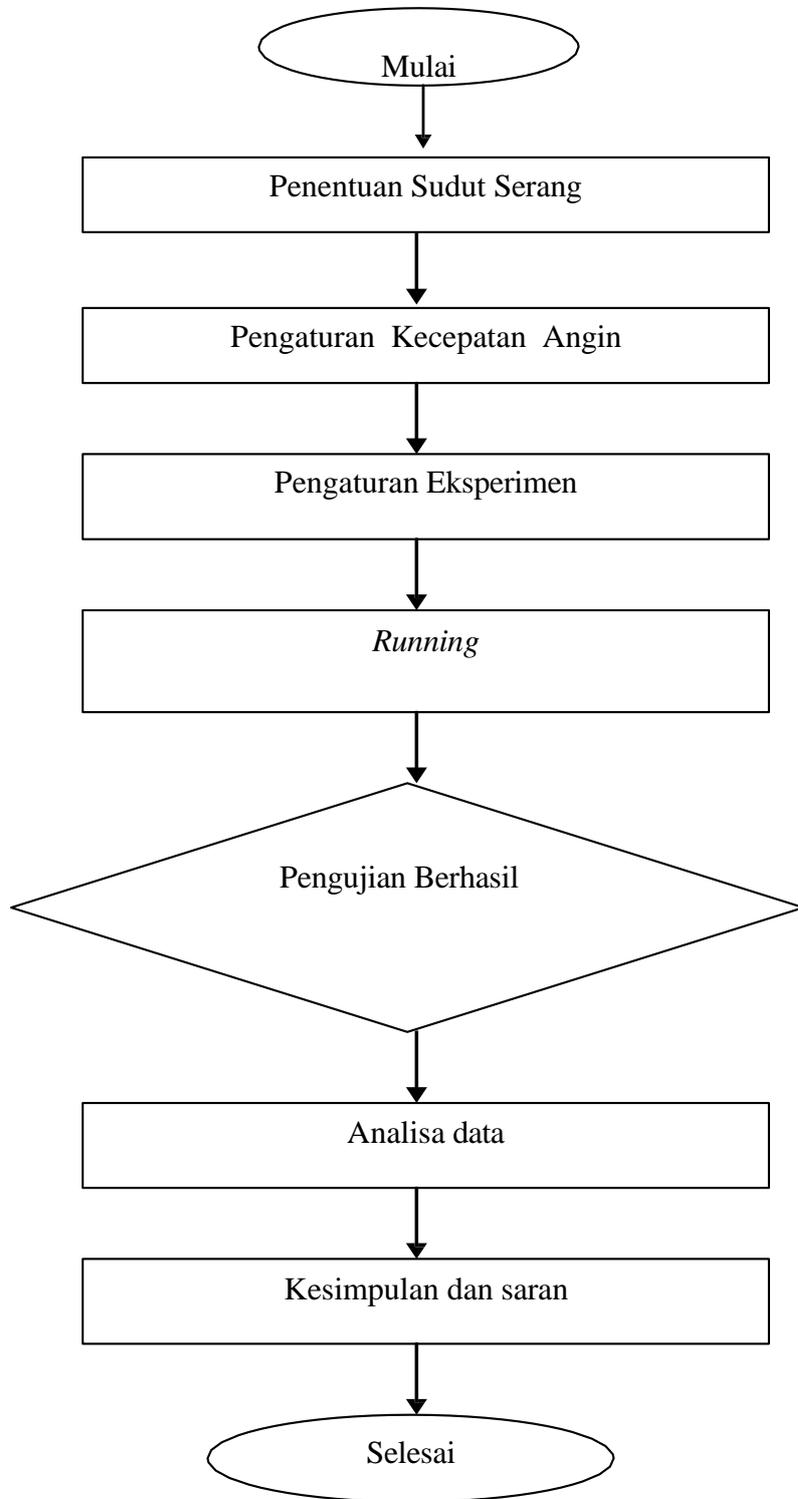
b. Jurnal atau artikel

Jurnal atau artikel yang sudah di legalkan dari penelitian sebelumnya sebagai referensi dalam penulisan penelitian.

c. Buku-buku referensi

Buku berisi referensi yang sesuai dalam penulisan penelitian yang sedang dikerjakan sebagai landasan teori penelitian.

3.3. Diagram Alir



3.4. Penjelasan Diagram Alir

1. Penentuan sudut serang yang digunakan adalah 0° .
2. Pengaturan kecepatan angin yang digunakan adalah 3 m/s, 4 m/s, 7 m/s, 9 m/s, dan 12 m/s.
3. Memprogramkan *windtunnel* sesuai dengan prosedur penelitian.
4. Mendapatkan hasil dan data yang sesuai dari hasil program *windtunnel* dengan variasi kecepatan dan sudut serang yang ditentukan.
5. Kesimpulan merupakan hasil yang didapat setelah dilakukannya pengujian untuk mengetahui efisiensi operasional dari *airfoil* tersebut menggunakan *load cell* yang kemudian di analisa melalui perangkat *output sensor ultrasonic* (PLX-DAQ) yang dihubungkan ke *microsoft excel*.

3.5. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian *airfoil* dijelaskan dengan beberapa tahapan berikut :

1. Pemilihan *airfoil* sebagai objek penelitian.
2. Merancang *airfoil* menggunakan *Autocad DWG* dengan standar bentuk yang ditetapkan *NACA* yang kemudian dibangun sebagai objek uji pada *wind tunnel*.
3. Menyalakan *wind tunnel*.
4. Menyalakan komputer.
5. Menyalakan *panel box* pada *wind tunnel*.
6. Membuka aplikasi *microsoft excel*.
7. Membuka aplikasi kalibrasi sensor ultrasonik (PLX-DAQ) yang telah di instal pada aplikasi *microsoft excel*.
8. Mengatur kecepatan angin pada *panel box*.
9. Mengatur letak *airfoil* pada *test section wind tunnel*.
10. Menekan tombol *start* pada *panel box*.
11. Menganalisa data hasil *output* dari sensor ultrasonik yang dihubungkan ke *microsoft excel*.
12. Mematikan kembali perangkat setelah pengujian selesai.

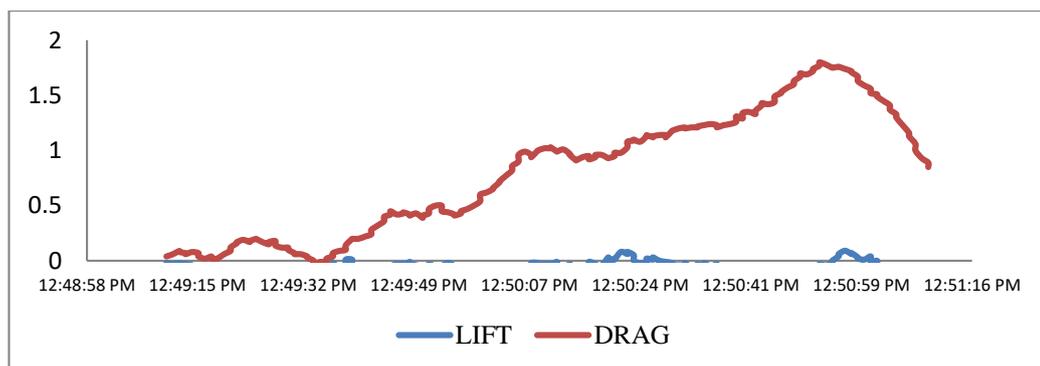
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Pengujian Eksperimen

Data yang diperoleh dari pengujian secara metode eksperimen. Metode eksperimen menggunakan *wind tunnel* menghasilkan data *lift force* dan *drag force* dengan memvariasikan kecepatan angin dan sudut serang yang telah ditentukan (0°). Objek yang diujikan pada pada *wind tunnel* dibuat dengan panjang 20 cm, *chord* pangkal 13,26 cm dan *chord* ujung 12 cm. Berikut merupakan hasil simulasi *airfoil NACA 4412* dengan variasi kecepatan 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 7 m/s, dan 8 m/s sehingga didapatkan hasil rata-rata sebagai berikut :
Tabel 4. 1 Tabel nilai rata-rata gaya *lift* dan *drag*.

<i>Velocity</i>	<i>Lift</i> (N)	<i>Drag</i> (N)
3m/s	-0,0755	0,8079
4m/s	0,0278	0,5431
5m/s	0,3579	6,9147
7m/s	0,3009	23,7891
8m/s	2,7722	32,0825

a. *Inlet* kecepatan 3 m/s



Gambar 4. 1 Grafik *lift* dan *drag* pada kecepatan 3 m/s.

Pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa *airfoil* dengan kecepatan 3 m/s, dimana pada saat aliran udara mendorong *leading edge* maka terjadi peningkatan tekanan gaya hambat (*drag*) yang cukup besar dengan titik *min* -0,03 N dan titik *max* 1,5 N, dan hanya menghasilkan gaya angkat (*lift*) yang kecil dengan titik *min* -0,22 dan titik *max* 0,09 N dikarenakan pada permukaan bawah *arfoil* terjadi

penurunan tekanan, nilai koefisien *lift* pada kecepatan angin 3 m/s didapat dari perhitungan :

$$C_l = \frac{2(-0,0755)}{(1,29)(3^2)(0,0104)}$$

$$= \frac{-0,151}{0,1207}$$

$$C_l = -1,251$$

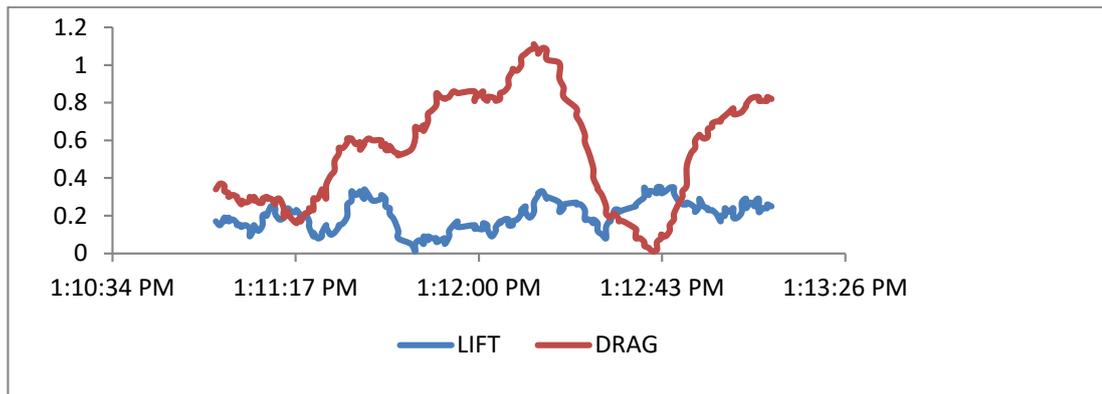
dan nilai C_d ,

$$C_d = \frac{2(0,8079)}{(1,29)(3^2)(0,0104)}$$

$$= \frac{1,616}{0,1207}$$

$$C_d = 13,39$$

b. *Inlet* kecepatan 4 m/s



Gambar 4. 2 Grafik *lift* dan *drag* pada kecepatan 4 m/s.

Pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa *airfoil* dengan kecepatan 4 m/s, dimana pada saat aliran udara mendorong *leading edge* maka terjadi penurunan tekanan gaya hambat (*drag*) dibandingkan dengan kecepatan 3 m/s dengan nilai titik *drag min* 0,01 N dan *max* 0,82 N, sedangkan nilai titik *lift min* 0,01 N dan *max* 0,35 N , nilai koefisien *lift* pada kecepatan angin 4 m/s didapat dari perhitungan :

$$C_l = \frac{2(0,2027)}{(1,29)(4^2)(0,0104)}$$

$$= \frac{0,4054}{0,2145}$$

$$C_l = 1,889$$

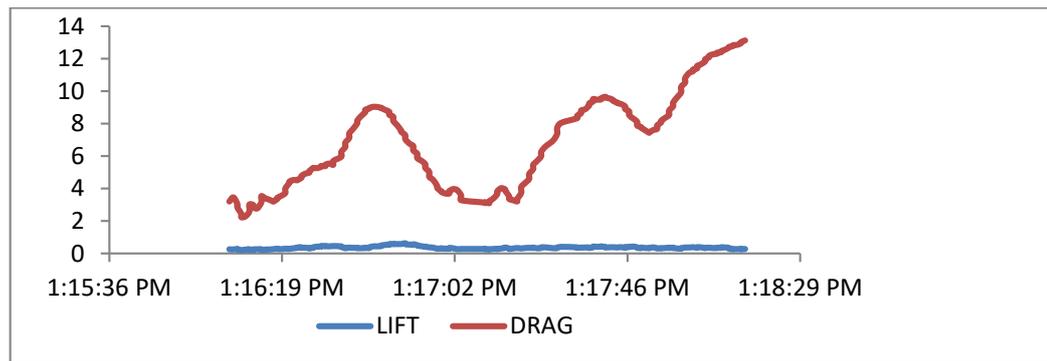
dan nilai C_d ,

$$C_d = \frac{2(0,5430)}{(1,29)(4^2)(0,0104)}$$

$$= \frac{1,086}{0,2145}$$

$$C_d = 5,062$$

c. *Inlet* kecepatan 5 m/s



Gambar 4. 3 Grafik *lift* dan *drag* pada kecepatan 5 m/s.

Pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa *airfoil* dengan kecepatan 5 m/s, kembali mengalami penurunan gaya angkat tetapi menghasilkan nilai titik *lift min* 0,21 N dan *max* 0,63 N pada saat aliran udara mendorong *leading edge* maka terjadi peningkatan tekanan gaya hambat (*drag*) yang semakin meningkat dibandingkan dengan kecepatan 4 m/s dengan nilai titik *drag min* 2,24 N dan *max* 13,11 N, nilai koefisien *lift* pada kecepatan angin 5 m/s didapat dari perhitungan :

$$C_l = \frac{2(0,3579)}{(1,29)(5^2)(0,0104)}$$

$$= \frac{0,7158}{0,3354}$$

$$C_l = 2,134$$

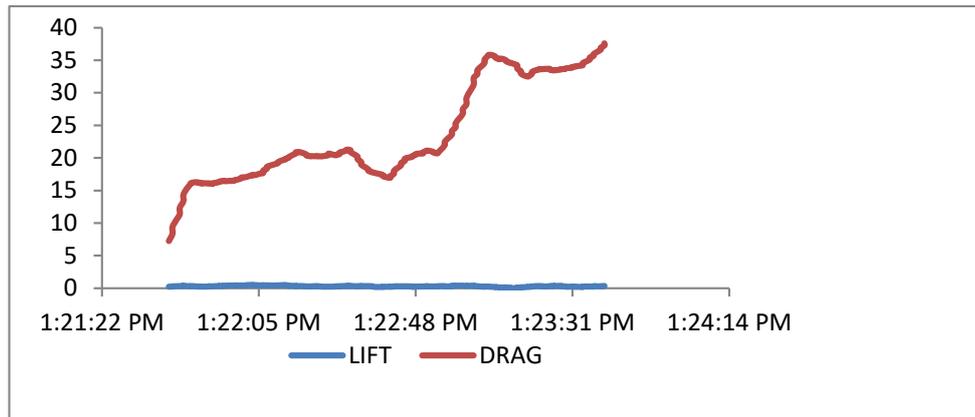
dan nilai C_d ,

$$C_d = \frac{2(6,9146)}{(1,29)(5^2)(0,0104)}$$

$$= \frac{13,83}{0,3354}$$

$$C_d = 41,232$$

d. *Inlet* kecepatan 7 m/s



Gambar 4. 4 Grafik *lift* dan *drag* pada kecepatan 7 m/s.

Pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa *airfoil* dengan kecepatan 7 m/s, kembali mengalami penurunan gaya angkat yang signifikan dan hanya menghasilkan nilai titik *lift min* 0,02 N dan *max* 0,5 N pada saat aliran udara mendorong *leading edge* maka terjadi peningkatan tekanan gaya hambat (*drag*) yang semakin besar dibandingkan dengan kecepatan 5 m/s dengan nilai titik *drag min* 7,25 N dan *max* 37,61 N, nilai koefisien *lift* pada kecepatan angin 7 m/s didapat dari perhitungan :

$$C_l = \frac{2(0,3009)}{(1,29)(7^2)(0,0104)}$$

$$= \frac{0,6018}{0,6573}$$

$$C_l = 0,915$$

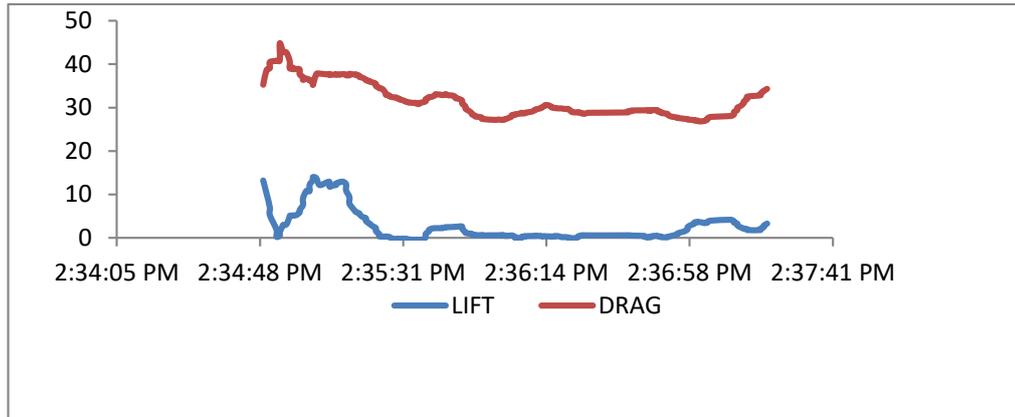
dan nilai C_d ,

$$C_d = \frac{2(23,789)}{(1,29)(7^2)(0,0104)}$$

$$= \frac{47,578}{0,6573}$$

$$C_d = 72,383$$

e. *Inlet* kecepatan 8 m/s



Gambar 4. 5 Grafik *lift* dan *drag* pada kecepatan 8 m/s.

Pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa *airfoil* dengan kecepatan 8 m/s, mengalami peningkatan nilai gaya angkat yang signifikan dan menghasilkan nilai titik *lift min* sebesar -0,5 N dan *max* 14 N pada saat aliran udara mendorong *leading edge* maka terjadi peningkatan tekanan gaya hambat (*drag*) yang semakin besar dibandingkan dengan kecepatan 7 m/s dengan nilai titik *drag* sebesar *min* 26,79 N dan *max* 44,82 N, nilai koefisien *lift* pada kecepatan angin 8 m/s didapat dari perhitungan :

$$C_l = \frac{2(2,7722)}{(1,29)(8^2)(0,0104)}$$

$$= \frac{5,6444}{0,8586}$$

$$C_l = 6,574$$

dan nilai C_d ,

$$C_d = \frac{2(32,0825)}{(1,29)(8^2)(0,0104)}$$

$$= \frac{47,578}{0,8586}$$

$$C_d = 74,732$$

4.2 Goal plot

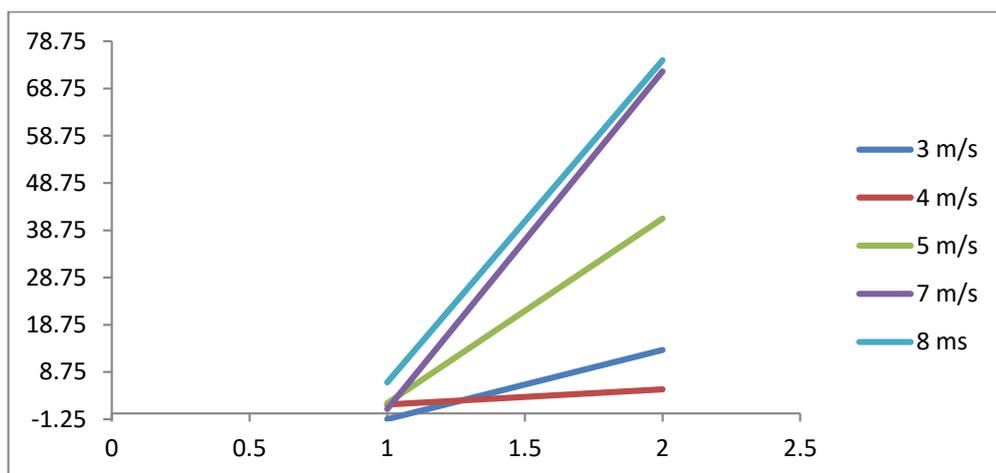
Dari hasil perhitungan dan eksperimen pada *wind tunnel* didapat hasil yang diuraikan dalam tabel *goal*.

Tabel 4. 2 Tabel *goal plot*

Velocity	Goal Name							
	Average	Average	Coeffisient	Coeffisient	Min	Max	Min	Max
	Value	Value	Lift	Drag	lift	lift	drag	drag
	(Lift)	(Drag)			value	value	value	value
3 m/s	0,0755	0,8079	-1,251	13,39	-0,22	0,09	-0,03	1,8
4 m/s	0,0278	0,5431	1,889	5,062	0,01	0,35	0,01	0,82
5 m/s	0,3579	6,9147	2,134	41,232	0,21	0,63	2,24	13,11
7 m/s	0,3009	23,7891	0,915	72,383	0,02	0,5	7,25	37,61
8 m/s	2,7722	32,0825	6,574	74,732	-0,5	14	26,79	44,82

4.3 Grafik perbandingan CD dan CL

Berikut ini akan ditampilkan tabel dan grafik yang membandingkan hasil antara *CD* dan *CL* dengan variasi kecepatan 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 7 m/s, dan 8 m/s.



Gambar 4. 6 Grafik perbandingan C_l dan C_d

Menjelaskan bahwa *coefficient drag* dan *lift* dipengaruhi oleh variasi kecepatan, semakin besar nilai dari kecepatan maka semakin besar nilai dari *coefficient drag* dan *coefficient lift*. Untuk perbandingan kecepatan dapat dilihat antara kecepatan 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 7m/s dan 8 m/s, nilai C_l dan C_d maksimum rata-rata yang paling tinggi terdapat pada kecepatan 8 m/s. Semakin besar kecepatan angin yang melewati sudut serang dan permukaan bawah *airfoil* semakin besar gaya angkat yang dihasilkan oleh *airfoil*.

4.4 Pembahasan

Berdasarkan perbandingan yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya dapat disimpulkan bahwa sudut serang yang efisien untuk *airfoil* tipe NACA 4412 adalah 5° dibandingkan sudut serang lainnya (April et al., 2022). Hal ini disebabkan karena nilai C_l dan C_d mengalami peningkatan pada sudut serang 10° sampai 20° sehingga menurunkan perbandingan C_l dan C_d . Kinerja dari *airfoil* dipengaruhi beberapa faktor seperti kecepatan angin, sudut serang, dan kondisi turbulen. Variasi kecepatan pada *airfoil* NACA 4412 berpengaruh pada distribusi tekanan dan distribusi kecepatan, dimana semakin tinggi kecepatan maka nilai distribusi tekanan semakin tinggi, sedangkan nilai distribusi kecepatan semakin rendah (Ananta, 2024). Secara khusus *airfoil* NACA 4412 menunjukkan rasio angkat dan hambat tertinggi diantara *airfoil* normal, karena dilengkapi sudut *stall* tertinggi (Asif et al., 2023).

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa yang terlihat pada bab IV, diambil beberapa kesimpulan yang dapat dijadikan hal pokok dari penulisan tugas akhir ini, yaitu sebagai berikut:

1. Metode eksperimental telah dilakukan menggunakan *windtunnel* dengan menggunakan *airfoil NACA 4412* sesuai titik koordinat dari *NACA*.
2. Variasi kecepatan terhadap *airfoil* tipe *NACA 4412* berpengaruh pada *coefficient lift*, dimana nilai *coefficient lift* dan *coefficient drag* akan semakin meningkat pada tiap kecepatan, namun pada kecepatan 4 m/s *coefficient lift* dan *coefficient drag* menurun dengan nilai *coefficient lift* 1,889 dan *coefficient drag* 5,062. Nilai *coefficient lift* tertinggi terjadi pada kecepatan aliran angin 8 m/s yaitu 6,574 dan nilai *coefficient drag* tertinggi terjadi pada kecepatan aliran 8 m/s yaitu 74,732.

5.2. Saran

Dari laporan tugas akhir ini, penulis akan memberikan beberapa saran untuk mengembangkan tugas akhir ini sebagai berikut.

1. Dalam menguji *airfoil NACA 4412* sebaiknya memilih sudut serang yang lebih baik lagi sehingga menghasilkan gaya *lift* dan *drag* yang efisien.
2. Uji eksperimen harus dilakukan dalam waktu yang lebih lama. Dan alat yang digunakan seperti *arduino nano* dan *load cell* lebih baik memiliki spesifikasi lebih tinggi daripada yang digunakan dalam penelitian ini. Sehingga proses running dapat dilakukan lebih cepat sehingga tidak mudah error.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambrosio, M. D., & Medaglia, M. (2010). *Vertical Axis Wind Turbines : History , Technology and Applications* (Issue May). H ÖGSKOLAN HALMSTAD.
- Daniel Teguh, N. A. R. (2016). Rancang Bangun Turbin Angin Savonius 200 Watt. *Seminar Nasional Teknologi Informasi Dan Kedirgantaraan (SENATIK)*, 2, 71–75. <https://doi.org/10.28989/senatik.v2i0.35>
- Energi Terbarukan. (2021). *Seberapa Besar Potensi Energi Angin di Masa Depan?* Dw.Com. <https://www.dw.com/id/potensi-besar-pembangkit-listrik-tenaga-angin/a-60100287>
- Fauzi, I., Sugati, D., Yawara, E., & Subardi. (2019). Unjuk Kerja Turbin Angin Dengan Profil Sudu NACA 4412 Dengan Metode Simulasi. *Seminar Nasional Sains Teknologi Dan Inovasi Indonesia (SENASTINDO AAU)*, 1(1), 19–26.
- Francis, M. F., Ajayi, O. O., & Ojo, J. O. (2021). Development of a novel airfoil for low wind speed vertical axis wind turbine using QBlade simulation tool. *Fuel Communications*, 9(September), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.jfueco.2021.100028>
- Nakhoda, Y. I., & Saleh, C. (2017). Pembangkit Listrik Tenaga Angin Sumbu Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga Di Daerah Pesisir Pantai. *Institut Teknologi Nasional Malang*, 7(1), 20–28.
- Putranto, A., Prasetyo, A., & Zاتمiko, A. (2011). *Rancang bangun turbin angin vertikal untuk penerangan rumah tangga tugas akhir*. Universitas Diponegoro.
- REUK. (2021). *Giromill Darrieus Wind Turbines*. The Renewable Energy Website. <http://www.reuk.co.uk/Giromill-Darrieus-Wind-Turbines.htm>
- Saputra, S. F., & Agustian, S. (2018). *Analisa Pengaruh Putaran Blade dan Arah Sudut Serang Terhadap Koefisien Drag dan Lift Pada Model Prototype Airfoil NACA 0012 Dengan Menggunakan Alat Uji Wind Tunnel Open Circuit Untuk Sarana Laboratorium Fluida* [Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya]. <http://kharisismail53.blogspot.co.id/>
- Sudarmawan, K. (2020). *Pembuatan Rotor Turbin Angin Darrieus Dengan Kapasitas Maximum 300 Watt*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- S. Liu dan I. Janajreh. (2012). *Int. J. Energy Environ. Eng., vol. 3, no. 1. Development and application of an improved bladeelement momentum method model on horizontal axis wind turbines.*
- Y. Nishizawa. (t.thn.). *An Experimental Study of the Shapes of Rotor for Horizontal-Axis Small Wind Turbines*. hal. no. 1.

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UMSU
TAHUN AKADEMIK 2024 - 2025**

Peserta seminar

Nama : Yusril Mahadi Nasution

NPM : 1807230100

Judul Tugas Akhir : Analisis Eksperimental Airfoil Menggunakan Windtunnel Dengan Variasi Kecepatan

DAFTAR HADIR			TANDA TANGAN
Pembimbing - I	:	Dr. Khairul Umurani ST.MT	.....
Pemanding - I	:	Dr. Suherman ST.MT	.....
Pemanding - II	:	H. Muharnif M.ST.M.Sc	.....
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2107230078	Ali Dian Syahputra	.....
2	2107230099	Eki ANDRIANSYAH	.....
3	2107230083	Mhd. Nazmul Lubis	.....
4	2107230069	Harna Dapas Sudra	.....
5	2007230099	Syahru Amani	.....
6	2007230095	Reza ahbiya fathillah	.....
7	2007230088	ARDANSYAH RITONGA	.....
8			
9			
10			

Medan 21 Sya'ban 1446 H
20 Februari 2025 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT



UMSU

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

MILIKI FUNDIRKAN TINGGI PENILIHAN & PENGEMBANGAN FEMPIKON PUNCI NERUMBERASRI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

Liberal Tersebutkan Untuk Bersejarah Kapokan Bumi Anekaan Negeri Persepsi Tinggi No. 01102, Kano, Pina 401710000
Pusat Administrasi: Jalan Makhtar Basri No. 1 Medan 20218 Telp. (061) 8071400 - 8071401 Fax. (061) 8071404 - 8071405
Website: <http://ftek.umsu.ac.id> | mailto:ftek@umsu.ac.id | www.ftek.umsu.ac.id | www.facebook.com/ftek.umsu | www.instagram.com/ftek.umsu | www.youtube.com/channel/UC...

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 207/H.3AU/UMSU-07/F/2015

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berfahaman seluas-luasnya
Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 31 Januari 2015 dengan ini
Menetapkan

Nama : YUSRI, MAHADI NASUTION
Npm : 1807230100
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : 13 (Tiga Belas)
Judul Tugas Akhir : ANALISIS EKSPERIMENTAL AIRFOIL NACA 4412
MENGUNAKAN WIND TUNNEL DENGAN VARIASI
KECEPATAN

Pembimbing : KHAIRUL UMURANI ST, MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan:

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat
untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya

Medan, 05 Syaban 1446 H
04 Februari 2015 M



Munawar Alfansury Siregar, ST, MT
NIDN: 0101017202



DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama : Yusril Mahadi Nasution
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Tempat, Tanggal Lahir : Padangsidempuan, 17 Desember 2000
Alamat : Jl. Imam Bonjol Gg Muhammadiyah No.8
Wek V, Padangsidempuan Selatan
Kebangsaan : Indonesia
Agama : Islam
Email : mahadiyusril17@gmail.com
Nomor Hp : 082174719469

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Peserta Mahasiswa : 1807230100
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Mughtar Basri BA. No.3 Medan

No	Tingkat Pendidikan	Nama Dan Tempa	Tahun
1.	SD	SD Muhammadiyah 2 PSP	2006 - 2012
2.	SMP	SMP N 2 PSP	2012 - 2015
3.	SMK	SMA Negeri 3 PSP	2015 - 2018
4.	Perguruan Tinggi	Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	2018 - 2025