TUGAS AKHIR

ANALISIS *COEFFISIENT DRAG* DAN *COEFFISIENT LIFT AIRFOIL NACA* 2412 DENGAN VARIASI SUDUT SERANG DAN KECEPATAN ANGIN MENGGUNAKAN *WIND TUNNEL*

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

Disusun Oleh:

ARDIANTO DWI RAMADHAN
1807230151

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

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama	: Ardianto Dwi Ramadhan
NPM	1807230151
Program Studi	: Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir	: Analisis *Coeffisient Drag* Dan *Coeffisient Lift Airfoil NACA* 2412 Dengan Variasi Sudut Serang Dan Kecepatan Angin Menggunakan *Wind Tunnel*
Bidang Ilmu	: Manufaktur

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, 28 Agustus 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I	Dosen Penguji II
Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T	Arya Rudi Nasution, S.T., M.T

Dosen Pembimbing	Program Studi Teknik Mesin Ketua,
Dr.Ir, Khairul Umurani, S.T., M.T	Chandra A Siregar, S.T., M.T

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama Lengkap	: Ardianto Dwi Ramadhan
Tempat/Tanggal Lahir	: Medan, 07 Desember 2000
NPM	: 1807230151
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Mesin

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

"Analisis *Coeffisient Drag* Dan *Coeffisient Lift Airfoil NACA* 2412 Dengan Variasi Sudut Serang Dan Kecepatan Angin Menggunakan *Wind Tunnel*"

Bukan merupakan plagiarism, 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 orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan versifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan kesarjaann 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, 28 Agustus 2025

Saya, yang menyatakan

Ardianto Dwi Ramadhan

ABSTRAK

Perkembangan teknologi aerodinamika adalah salah satu peranan penting dalam bidang penerbangan, otomotif, serta energi terbarukan seperti turbin angin. Salah satu elemen utama dalam aerodinamika adalah *airfoil*, yaitu bentuk profil sayap atau bilah pesawat yang dirancang untuk menghasilkan gaya angkat (*lift*) dan dorong (*drag*) saat udara mengalir di sekitarnya. Kinerja *airfoil* sangat dipengaruhi oleh bentuk geometrinya, kecepatan aliran udara, serta sudut serang (*angle of attack*). Indonesia memiliki kecepatan angin rata-rata 3-6 m/s yang didapatkan berdasarkan durasi kecepatan angin produktif setiap hari. Pengembangan turbin angin dengan menggunakan bilah (*airfoil*) untuk model kecepatan angin rendah perlu terus dilakukan guna meningkatkan efisiensi daya yang dihasilkan serta kapasitas awal yang lebih baik dan optimal. Metode eksperimental telah dilakukan menggunakan *windtunnel* dengan menggunakan *aifoil NACA* 2412 sesuai titik koordinat dari *NACA*. Penelitian ini dilakukan metode eksperimen pada *airfoil windtunnel.* Sudut serang 0° *Cl* dan *Cd* menurun secara konsisten seiring bertambahnya kecepatan. Sudut serang 5° *Cl* dan *Cd* turun tajam dari 2 ke 4 m/s, namun kemudian fluktuatif di kecepatan 5 dan 6 m/s. Terjadi kenaikan kembali *Cl* pada 5–6 m/s, sementara *Cd* juga berfluktuasi. *Cl/Cd* tertinggi di 4 m**/s**, menunjukkan kecepatan ini sebagai titik efisiensi maksimum. Sudut 6° sangat ekstre & kemungkinan tidak realistis). Nilai *Cl* dan *Cd* sangat tinggi terutama pada kecepatan rendah (2 m/s), jauh di luar rentang wajar.

Kata kunci : *NACA* 2412, Koefisien Angkat, Koefisien Hambat, Sudut Serang, Terowongan Angin.

ABSTRACT

The development of aerodynamic technology plays an important role in aviation, automotive, and renewable energy such as wind turbines. One of the main elements in aerodynamics is the airfoil, which is the shape of the wing profile or aircraft blade designed to produce lift and drag when air flows around it. Airfoil performance is greatly influenced by its geometric shape, airflow velocity, and angle of attack. Indonesia has an average wind speed of 3-6 m/s which is obtained based on the duration of productive wind speeds every day. The development of wind turbines using airfoils for low wind speed models needs to be continuously carried out to increase the efficiency of the power generated as well as better and optimal initial capacity. Experimental methods have been carried out using a wind tunnel using a NACA 2412 airfoil according to the coordinates of the NACA. This research was carried out using an experimental method on a wind tunnel airfoil. The angle of attack of 0° Cl and Cd decreased consistently with increasing speed. At an angle of attack of 5°, Cl and Cd drop sharply from 2 to 4 m/s, but then fluctuate at velocities of 5 and 6 m/s. Cl rises again at 5–6 m/s, while Cd also fluctuates. Cl/Cd is highest at 4 m/s, indicating this speed as the point of maximum efficiency. The angle of attack of 6° is very extreme & possibly unrealistic). Cl and Cd values are very high, especially at low velocities (2 m/s), far outside the reasonable range.

Keywords: NACA 2412, Lift Coefficient, Drag Coefficient, Angle of Attack, Wind Tunnel.

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: Muhammad Yani dan R. Yerni Nainggolan 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 : Dicky Nanda Permana, Zahra Nayla Putri yang telah mendukung penulis sampai berada di tingkat Pendidikan sarjana ini.
8. Sahabat penulis : Indah Permata Sari, Bayu Darmawansyah, Kemal Ananta 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, 28 Agustus 2025

Ardianto Dwi Ramadhan

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**
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN **xi**

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 Bagian-bagian *Wind Tunnel* 4
2.1.2 Langkah-langkah Kerja *Wind Tunnel* 5
2.2 Jenis-jenis *Wind Tunnel* Berdasarkan Sirkuit 6
2.2.1 *Wind Tunnel Open Loop* (Sirkuit Terbuka) 6
2.2.2 *Wind Tunnel Closed Loop* (Sirkuit Tertutup) 7
2.3 *Airfoil* 7
2.3.1 *Airfoil* NACA Seri 4 Digit 8
2.3.2 Sudut Serang (*Angle of Attack*) 8
2.3.3 Bentuk-bentuk *Airfoil B*erdasarkan Sudut Serang 8
2.4 Karakterisik Aliran Udara 9
2.5 Gaya Lift 10
2.6 Gaya *Drag* 10

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN **12**
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian 12
3.1.1 Tempat Penelitian 12
3.1.2 Waktu Penelitian 12
3.2. Alat dan Bahan 13
3.2.1 Alat yang Digunakan 13
3.2.2 Bahan 16
3.3 Diagram Alir 17
3.3.1 Penjelasan Diagram Alir 18
3.3.2 Prosedur Penelitian 18

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN **19**
4.1 Data Hasil Pengujian 21
4.1.1 Grafik *Drag* dan *Lift* Sudut 0° 21
4.1.2 Nilai *Coeffisient Lift* dan *Coeffisient Drag* Sudut 0° 23
4.1.3 Grafik *Drag* dan *Lift* Sudut 5° 24
4.1.4 Nilai *Coeffisient Lift* dan *Coeffisient Drag* Sudut 5° 27
4.1.5 Grafik *Drag* dan *Lift* Sudut 15° 27
4.1.6 Nilai *Coeffisient Lift* dan *Coeffisient Drag* Sudut 15° 30
4.2 Perbandingan Tren 30

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN **32**
5.1 Kesimpulan 32
5.2 Saran 33

DAFTAR PUSTAKA **34**

Lampiran 1. Lembar Asistensi
Lampiran 2. SK Pembimbing
Lampiran 3. Berita Acara Seminar Hasil Penelitian
Lampiran 4. Daftar Riwayat Hidup

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Densitas fluida 9
Tabel 3. 1 Jadwal kegiatan penelitian. 12
Tabel 4. 1 Nilai rata-rata *lift* dan *drag* sudut 0° 21
Tabel 4. 2 Tabel nilai coefficient *lift* dan coefficient *drag* sudut 0° 24
Tabel 4. 3 Nilai rata-rata *lift* dan *drag* sudut 5° 24
Tabel 4. 4 Tabel nilai coefficient *lift* dan coefficient *drag* sudut 5° 27
Tabel 4. 5 Nilai rata-rata *lift* dan *drag* sudut 15° 27
Tabel 4. 6 Tabel nilai coefficient *lift* dan coefficient *drag* sudut 15° 30
Tabel 4. 7 Tabel Perbandingan Tren 31

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 *Wind tunnel* 4
Gambar 2. 2 *Diffuser* 4
Gambar 2. 3 *Test section* 5
Gambar 2. 4 *Contraction* 5
Gambar 2. 5 *Wind tunnel open loop* 6
Gambar 2. 6 *Wind tunnel closed loop* 7
Gambar 3. 1 Anemometer 13
Gambar 3. 2 Airfoil dari autocad DWG 13
Gambar 3. 3 Wind tunnel 14
Gambar 3. 4 Komputer 14
Gambar 3. 5 Sensor arduino nano 15
Gambar 3. 6 *Software calibration sensor ultrasonic* (PLX-DQ) 15
Gambar 3. 7 Gambar Pengaturan Sudut Serang 19
Gambar 3. 8 Gambar Penempatan Airfoil pada Test Section 19
Gambar 3. 9 Analisa Data Ouput pada Komputer 20
Gambar 4. 1 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 2 m/s 21
Gambar 4. 2 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 4 m/s 22
Gambar 4. 3 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 5 m/s 22
Gambar 4. 4 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 6 m/s 23
Gambar 4. 5 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 2 m/s 25
Gambar 4. 6 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 2 m/s 25
Gambar 4. 7 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 5 m/s 26
Gambar 4. 8 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 6 m/s 26
Gambar 4. 9 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 2 m/s 28
Gambar 4. 10 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 4 m/s 28
Gambar 4. 11 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 5 m/s 29
Gambar 4. 12 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 6 m/s 29

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

L_f	Gaya Angkat (*lift*) (N)
ρ	Massa Jenis Fluida (kg/m^2)
v	Kecepatan Aliran Fluida (m/dt)
A	Luas Penampang Spesimen Uji (m^2)
C_l	Koefisien *Lift* (N)
L_d	Gaya hambat (*drag*) (N)
C_d	Koefisien *drag* (N)

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi aerodinamika adalah salah satu peranan penting dalam bidang penerbangan, otomotif, serta energi terbarukan seperti turbin angin. Salah satu elemen utama dalam aerodinamika adalah *airfoil*, yaitu bentuk profil sayap atau bilah pesawat yang dirancang untuk menghasilkan gaya angkat (*lift*) dan dorong (*drag*) saat udara mengalir di sekitarnya. Kinerja *airfoil* sangat dipengaruhi oleh bentuk geometrinya, kecepatan aliran udara, serta sudut serang (*angle of attack*). Indonesia memiliki kecepatan angin rata-rata 3-6 m/s yang didapatkan berdasarkan durasi kecepatan angin produktif setiap hari (Energi Terbarukan, 2021).

Untuk memahami karakteristik aliran dan performa *airfoil*, metode eksperimen di terowongan angin (*wind tunnel*) merupakan salah satu pendekatan yang paling umum digunakan. Terowongan angin memungkinkan simulasi aliran udara secara terkontrol, sehingga parameter-parameter aerodinamika seperti gaya angkat (*lift*), gaya hambat (*drag*), serta distribusi tekanan dapat diukur secara langsung. Pemanfaatan energi angin dinilai lebih efisien dibandingkan energi lainnya yang cenderung lebih mahal. Para ahli mengatakan energi angin dapat menyuplai 95% konsumsi energi global yang berkelanjutan (Marbadi, 2016).

Gaya *lift* yang dihasilkan berasal aliran udara yang mengalir pada permukaan bawah *airfoil* lebih besar dibandingkan aliran permukaan atas *airfoil*. Sedangkan gaya *drag* dihasilkan disaat aliran udara membentur bagian ujung depan (*leading edge*) *airfoil*. Koefisien daya turbin merupakan penentu kinerja turbin. Semakin tinggi koefisien daya, semakin besar energi angin yang dapat diekstraksi. Pada kecepatan angin rendah, koefisien daya cenderung menurun. Namun, peningkatan performa dapat terjadi pada variasi kecepatan angin tertentu, sesuai dengan desain turbin sebagai pembangkit listrik (Saputra & Agustian, 2018).

Dibandingkan dengan turbin angin tipe horizontal, turbin tipe vertikal memiliki keunggulan dalam mengurangi perhentian dinamis dan meningkatkan

rasio luncur. Selain itu, turbin vertikal mampu menghasilkan daya yang cukup besar meskipun hanya dengan kecepatan angin rendah, yaitu sekitar 3–5 m/s, sehingga efektif untuk menggerakkan turbin pada kondisi angin lemah.

Pengembangan turbin angin dengan menggunakan bilah (*airfoil*) untuk model kecepatan angin rendah perlu terus dilakukan guna meningkatkan efisiensi daya yang dihasilkan serta kapasitas awal yang lebih baik dan optimal.

Hasil penelitian ini diharapkan mampu menganalisa efisiensi kinerja *coeffisient drag* dan *coefficient lift airfoil* terhadap kecepatan angin dan sudut serang yang divariasikan sehingga mengetahui sudut serang dan kecepatan angin yang sesuai terhadap kinerja dari *airfoil* sehingga menghasilkan gaya *lift* dan *drag* yang besar dan optimal.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi sudut serang dan kecepatan angin terhadap *coeffisient lift* dan *coeffisient drag airfoil NACA* 2412 menggunakan *windtunnel.*

1.3. Ruang Lingkup

Menganalisa pengaruh variasi sudut serang 0°,5°,15° dengan variasi kecepatan angin 2 m/s, 4 m/s, 5 m/s, dan 6 m/s terhadap *coeffisient lift* dan *coeffisient drag airfoil NACA* 2412 menggunakan *windtunnel*.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang diatas, tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk menganalisa *coeffisient lift* (angkat) dan *airfoil coeffisient drag* (hambat) dari *airfoil*
2. Menganalisa pengaruh variasi sudut serang dengan variasi kecepatan angin 2 m/s, 4 m/s, 5 m/s, dan 6 m/s terhadap *coeffisient lift* dan *coeffisient drag airfoil NACA* 2412 sehingga mengetahui kinerja dari *airfoil.*

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Dapat merancang *airfoil* NACA 2412.
2. Dapat menganalisa pengaruh variasi sudut serang dan kecepatan angin terhadap *coeffisient lift* dan *coeffisient drag airfoil NACA* 2412 menggunakan *windtunnel.*

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Terowongan Angin (*Wind Tunnel*)

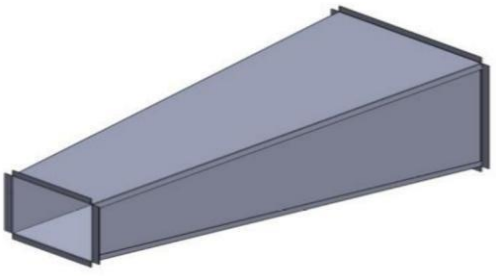
Terowongan angin (*wind tunnel*) merupakan alat yang digunakan dalam berbagai bidang pembelajaran seperti aerodinamika, fisika, dan teknik. Prinsip kerja *wind tunnel* didasarkan pada prinsip gerak resiprok (*reciprocal motion*), yang menyatakan bahwa pergerakan relatif suatu objek atau benda terhadap fluida dapat digantikan dengan membuat fluida bergerak relatif terhadap objek diam.

Gambar 2. 1 *Wind tunnel* (Idris, 2019)

2.1.1 Bagian-bagian *Wind Tunnel*

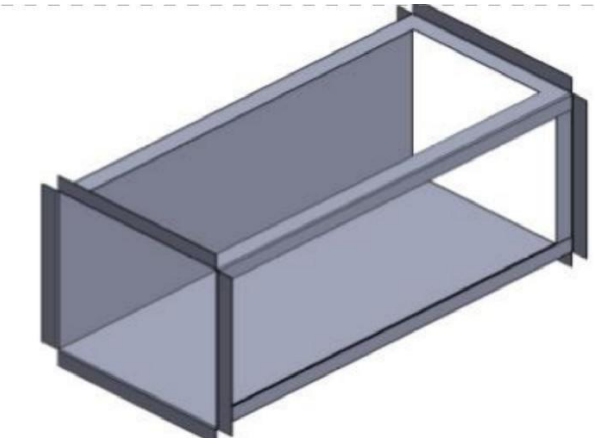
Wind tunnel terbagi menjadi beberapa bagian berikut dengan fungsinya, seperti :

a. *Diffuser* merupakan komponen yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan udara. Ketika udara melewati diffuser, tekanannya akan meningkat, sementara kecepatannya menurun.(Idris, 2019)



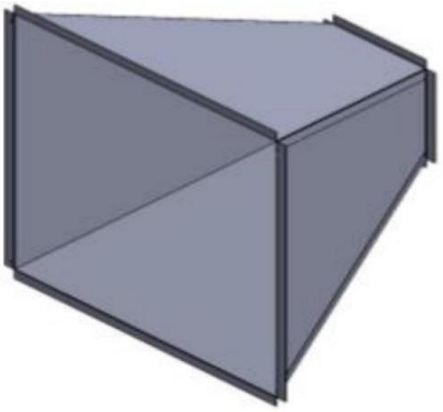
Gambar 2. 2 *Diffuser* (Idris, 2019)

b. *Test Section* merupakan tempat atau bagian dimana objek uji diletakkan, *test section* umumnya memiliki bagian transparan sehingga peneliti dapat melihat pegerakan udara mengalir melewati objek di dalam *wind tunnel.*



Gambar 2. 3 *Test section* (Idris, 2019)

c. *Contraction* merupakan bagian yang berlawanan dengan *diffuser* dan memiliki luas yang perlahan mengecil seperti kerucut dan berfungsi mempercepat aliran udara (Marbadi, 2016)



Gambar 2. 4 *Contraction* (Idris, 2019)

2.1.2 Langkah-langkah Kerja *Wind Tunnel*

Langkah-langkah kerja *wind tunnel* dalam eksperiment adalah sebagai berikut :

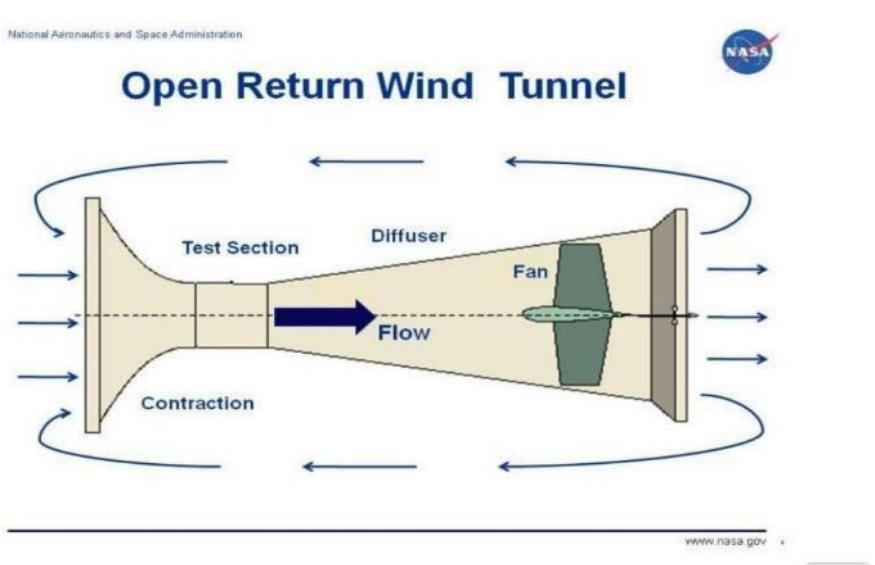
a. Pemilihan objek uji seperti model pesawat, mobil, bangunan, yang diletakkan pada bagian *test section.* Sensor seperti *Anemometer*, load cell, *pitot tube, strain gauge* dipasang untuk menganalisa kecepatan aliran, tekanan, dan gaya yang berkerja pada benda uji.

b. Pengaturan *start up*, kecepatan aliran udara disesuaikan dengan kondisi yang diinginkan terhadap benda uji, seperti turbulensi atau kecepatan subsonic, transonic, atau supersonic.
c. Pengoperasian sistem penggerak udara pada bagian *diffuser* sehingga udara mengalir menuju area uji (*test section*).
d. Pengambilan data dilakukan saat udara mengalir melewati benda uji, instrumen akan merekam data seperti gaya angkat, gaya hambat, pola aliran udara, dan tekanan dipermukaan objek.
e. Analisis dan evaluasi, data yang diperoleh dianalisis untuk mempelajari aerodinamika objek uji. Hasil dari uji digunakan sebagai perbaikan atau peningkatan desain dan efesiensi energi.

2.2 Jenis-jenis *Wind Tunnel* Berdasarkan Sirkuit

2.2.1 *Wind Tunnel Open Loop* (Sirkuit Terbuka)

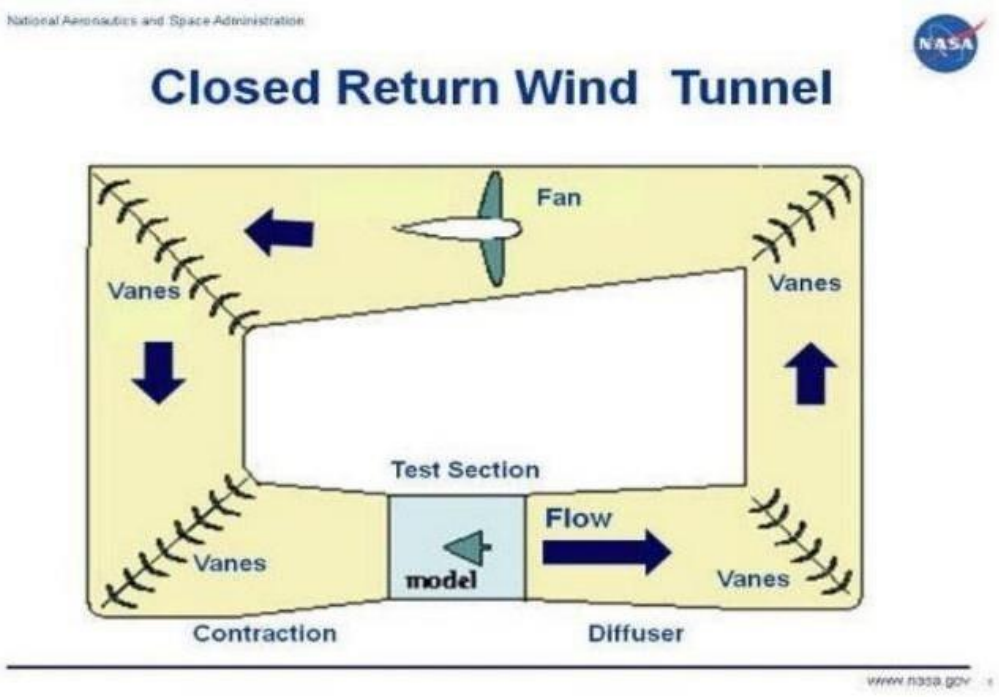
Terowongan angin ini memiliki ujung terbuka pada kedua sisinya, termasuk pada bagian pengujian, dan mengumpulkan udara dari lingkungan sekitarnya. Setelah udara melewati bagian pengujian dan keluar melalui salah satu ujung terowongan, udara tersebut disirkulasikan kembali melalui ruangan menuju pintu masuk terowongan, sehingga dapat masuk kembali ke dalam sistem aliran.



Gambar 2. 5 *Wind tunnel open loop* (Mahadi, 2025)

2.2.2 *Wind Tunnel Closed Loop* (Sirkuit Tertutup)

Wind Tunnel Closed Loop menggunakan sirkuit tertutup yang memungkinkan udara mengalir kembali ke dalam terowongan melalui bagian pengujian. Sistem ini tidak terbuka terhadap lingkungan sekitarnya, sehingga udara yang sama disirkulasikan secara berulang. Baling-baling yang berputar berfungsi untuk membantu menghasilkan perubahan arah aliran udara secara lebih halus dan terkendali di seluruh bagian terowongan.



Gambar 2. 6 *Wind tunnel closed loop* (Mahadi, 2025)

2.3 *Airfoil*

Aerofoil atau *airfoil* merupakan bentuk geometri yang, apabila diaplikasikan dalam suatu aliran fluida, dapat menghasilkan gaya angkat (*lift*) yang lebih besar dibandingkan dengan gaya hambat (*drag*). Perbedaan kecepatan aliran udara antara permukaan atas dan bawah *airfoil* di mana kecepatan aliran di permukaan atas lebih rendah dibandingkan dengan permukaan, bawah serta besarnya sudut serang (*angle of attack*), berkontribusi terhadap peningkatan gaya angkat yang dihasilkan (Saputra & Agustian, 2018).

2.3.1 *Airfoil* NACA Seri 4 Digit

Airfoil NACA merupakan bentuk *airfoil* yang dikembangkan oleh *National Advisory Committee for Aeronautics* (NACA). Jenis *airfoil* ini diklasifikasikan berdasarkan jumlah digit dalam serinya, salah satunya adalah seri empat digit (4-*digit series*). Setiap kombinasi digit menghasilkan bentuk *airfoil* yang berbeda, karena masing-masing digit merepresentasikan karakteristik geometris tertentu dari *airfoil* tersebut dan memiliki arti masing-masing pada setiap angkanya (Fauzi et al., 2019) :

a. Digit pertama, menunjukkan nilai maksimum *camber* terhadap *chord* dalam satuan per seratus.
b. Digit kedua, menunjukkan posisi *camber* pada *chord* dari *leading edge* dengan satuan per sepuluh
c. Digit dua terakhir, memenunjukkan ketebalan *airfoil* terhadap *chord* dengan nilai perseratus.
d. Dua angka nol pada (00) seri *airfoil* menunjukkan *airfoil* tersebut adalah simestris.

2.3.2 Sudut Serang (*Angle of Attack*)

Sudut serang atau *angle of attack* adalah sudut yang terbentuk oleh chord line terhadap arah aliran udara. Semakin besar sudut serang, gaya aerodinamik (*lift* dan *drag*) yang dihasilkan oleh *airfoil* akan semakin besar. Untuk *airfoil* simetris, pada sudut serang 0° gaya angkat (*lift*) yang dihasilkan adalah nol. Sebaliknya, *airfoil* asimetris (*cambered*) akan menghasilkan gaya angkat meskipun sudut serangnya nol, karena bentuknya telah menciptakan perbedaan tekanan tanpa perlu sudut serang (*lift at zero angle of attack*) (Aziz, 2024).

2.3.3 Bentuk-bentuk *Airfoil B*erdasarkan Sudut Serang

Ada beberapa macam bentuk *airfoil* yang disesuaikan terhadap sudut serang, seperti :

a. *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

b. *Airfoil semi-Symetrical*, bentuk *airfoil* permukaan atas membentuk kurva yang melengkung daripada permukaan bawah.
c. *Airfoil Flat Bottom*, bentuk *airfoil* ini memiliki permukaan bawah yang sejajar dan melengkung pada permukaan atas. Karakteristik *airfoil* ini memiliki gaya hambat (*drag*) yang besar.
d. *Airfoil Under Chambered*, bentuk permukaannya melengkung keatas dan membuat chamber rata- ratanya tinggi, dan memiliki daya angkat yang besar.

2.4 Karakterisik Aliran Udara

Energi angin dan pemilihan kecepatan udara yang tepat dalam *wind tunnel* sangat memengaruhi karakteristik dan kinerja *airfoil*. Energi kinetik angin dan daya yang dihasilkan dapat dihitung berdasarkan konsep putaran rotor. Daya yang dihasilkan bergantung pada massa jenis udara di lokasi pengujian penurunan massa jenis biasanya terjadi jika suhu naik atau ketinggian bertambah dan turut memengaruhi performa turbin. (Idris, 2019)

Tabel 2. 1 *Densitas 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

2.5 Gaya *Lift*

Lift force merupakan gaya angkat pada suatu material yang terjadi akibat adanya tekanan di bagian bawah material yang lebih besar dibandingkan tekanan di bagian atasnya. Gaya ini bertujuan untuk mengurangi pengaruh gaya gravitasi bumi yang menarik material ke bawah. (Mahadi, 2025)

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

atau,

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

Koefisien gaya angkat juga dapat digunakan sebagai karakteristik dari bentuk penampang tertentu (*cross-section*) pada *airfoil*. Dalam konteks ini, koefisien tersebut dikenal sebagai koefisien *lift* (*Cl*), yang menggambarkan hubungan antara bentuk *airfoil* tertentu dengan sudut serangan (*angle of attack*).

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 Cl_{max} tertinggi yang dihasilkan *airfoil* pada posisi sudut serang maksimum dan jika batas maksimum dilewati maka terjadi *stall* yang mempengaruhi kinerja *airfoil*.

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*.

2.6 Gaya *Drag*

Drag force 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 berlawan arah dengan arah fluida tersebut.

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

atau,

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

Koefisien hambat merupakan suatu bilangan tak berdimensi yang digunakan untuk memodelkan pengaruh bentuk suatu benda terhadap gaya hambat yang dialaminya saat bergerak dalam fluida. Nilai koefisien hambat diperoleh dari perbandingan antara gaya hambat dengan setengah dari hasil perkalian massa jenis fluida dan kuadrat kecepatan aliran, atau secara alternatif dapat dinyatakan sebagai gaya hambat dibagi dengan tekanan dinamis dikalikan dengan luas penampang benda. (Aziz, 2024)

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 29 Januari 2025 yang tersusun pada table 3.1.

Tabel 3. 1 Jadwal kegiatan penelitian.

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan judul						
2	Studi literatur						
3	Pengujian						
4	Pengolahan data						
5	Seminar proposal						
6	Perbaikan seminar						
7	Seminar hasil						
8	Sidang skripsi						

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1 Alat yang Digunakan

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

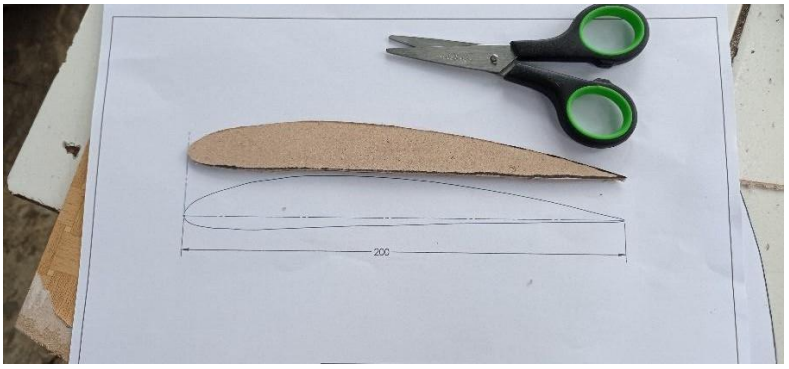
1. *Anemometer*

   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. *Airfoil NACA*

   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 *Airfoil* dari *autocad DWG*

3. *Wind Tunnel*

   Wind tunnel digunakan sebagai alat untuk mempelajari sifat-sifat aerodinamika dengan menciptakan aliran udara yang stabil dan terkontrol. Alat ini beroperasi menggunakan motor penggerak yang memutar kipas untuk menghasilkan aliran udara. Dalam pengujian, objek yang akan diteliti dipasang di bagian tengah terowongan angin agar interaksi antara aliran udara dan objek tersebut dapat dianalisis secara menyeluruh.

Gambar 3. 3 *Wind tunnel*

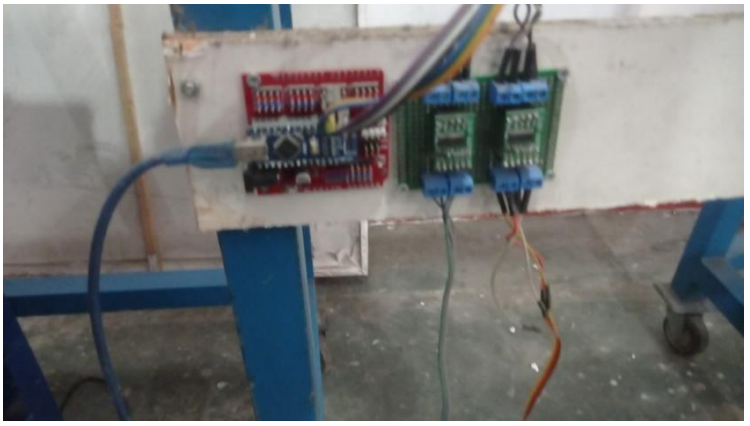
4. Komputer (*PC*)

   Perangkat komputer ini digunakan sebagai media untuk menampilkan output data dalam analisis *airfoil*. Spesifikasinya meliputi prosesor Intel Core i7-10700, layar LED berukuran 19,5 inci, RAM 8GB DDR4 SDRAM, serta dilengkapi dengan papan ketik dan tetikus berkabel. Sistem operasi yang digunakan adalah Windows 10.

Gambar 3. 4 Komputer

5. *Sensor arduino Nano*

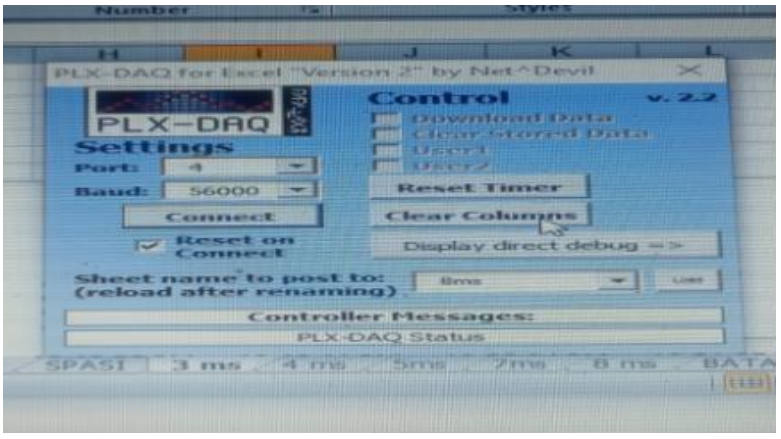
   Arduino Nano V3 ATmega328P (papan kompatibel dengan koneksi USB-C) digunakan sebagai media pembelajaran pemrograman khusus yang dikenal dengan *Arduino IDE* (Integrated Development Environment). Melalui aplikasi Arduino IDE, pengguna dapat menulis, menyusun, dan mengunggah kode program ke papan Arduino untuk menjalankan berbagai fungsi elektronika dan otomasi.



Gambar 3. 5 *Sensor arduino nano*

6. *Software Calibration Sensor Ultrasonic* (PLX-DQ)

   PLX-DAQ (*Parallax Data Acquisition*) adalah aplikasi berbasis Excel yang digunakan untuk mengakuisisi dan merekam data secara langsung dari mikrokontroler, seperti Arduino, ke dalam lembar kerja Microsoft Excel melalui komunikasi serial.



Gambar 3. 6 *Software calibration sensor ultrasonic* (PLX-DQ)

3.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan ketika analisa *airfoil NACA* 2412, yaitu :

a. Literatur

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

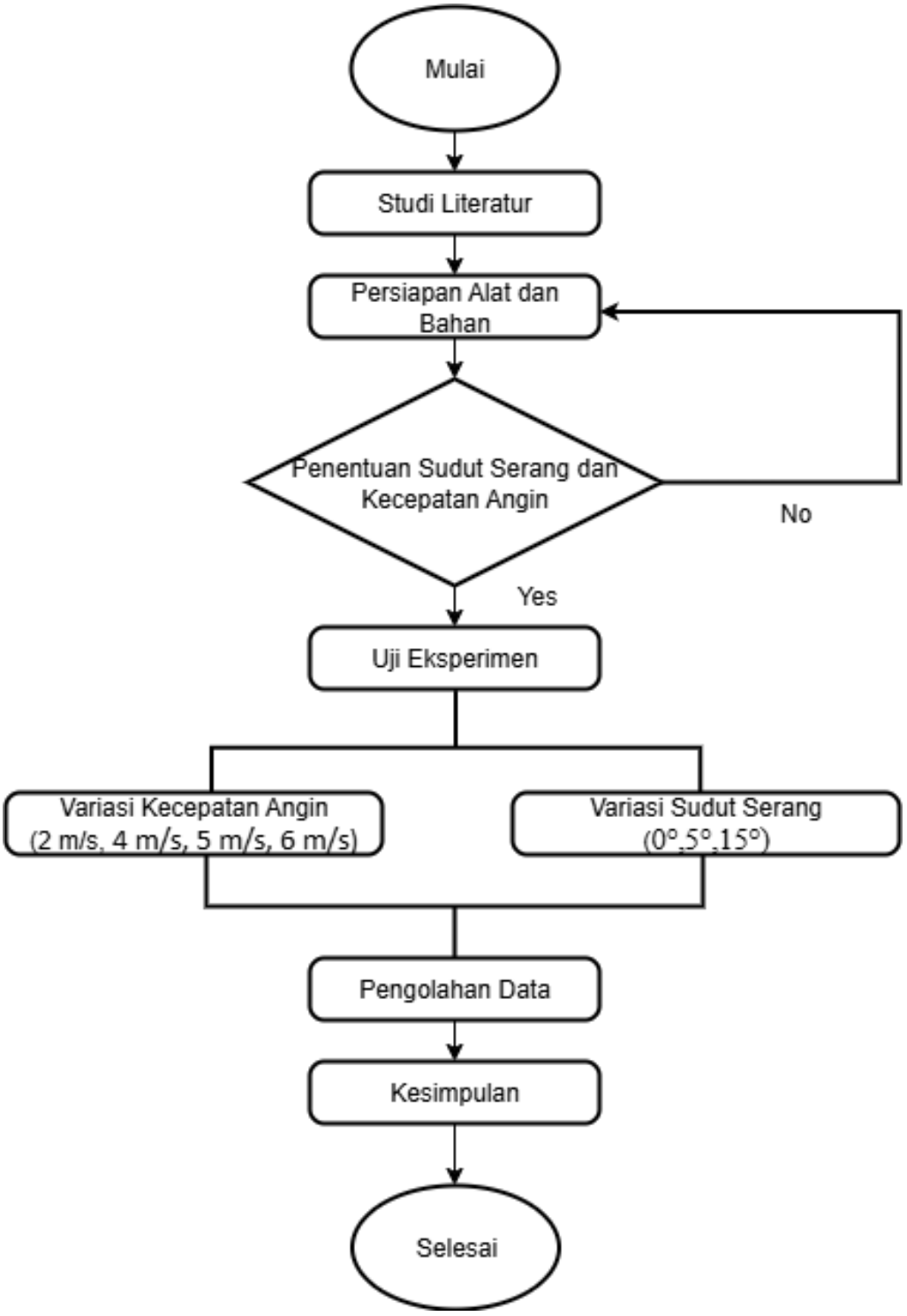
b. Jurnal atau artikel

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

c. Buku-buku referensi

   Referensi yang relevan digunakan sebagai landasan teori dalam penulisan penelitian yang sedang dilakukan, Buku ini memuat berbagai referensi yang relevan dan dijadikan sebagai dasar teori dalam penyusunan penelitian yang sedang dilaksanakan.

3.3 Diagram Alir



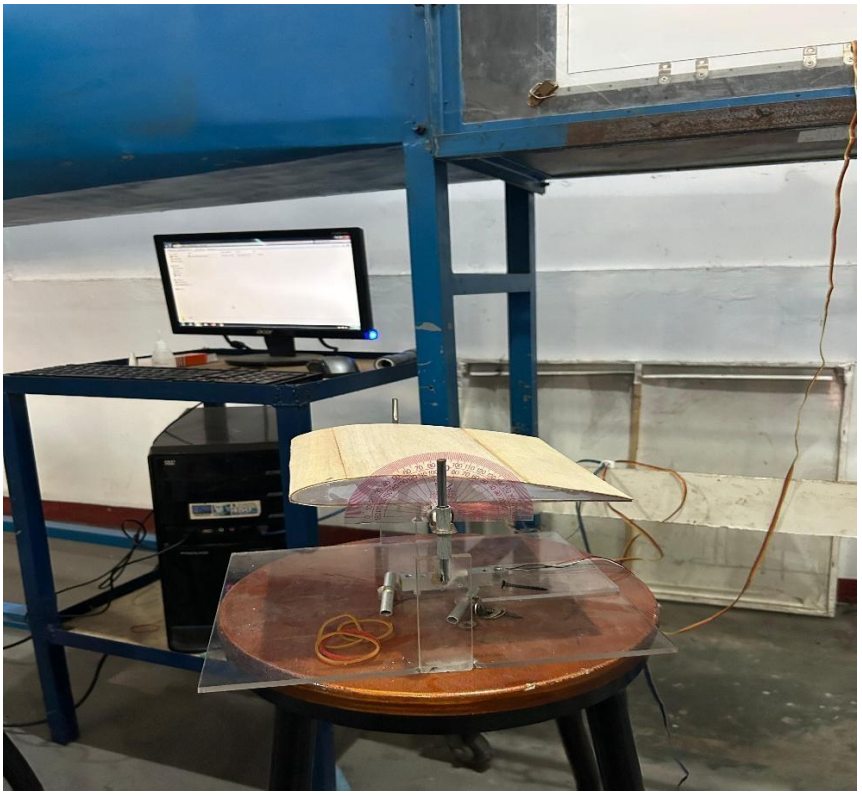
3.3.1 Penjelasan Diagram Alir

1. Penentuan sudut serang yang digunakan adalah 0°,5°,15°.
2. Pengaturan kecepatan angin yang digunakan adalah 2 m/s,4 m/s, 5 m/s, dan 6 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 didapatsetelahdilakukannya 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*.

3.3.2 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 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.



Gambar 3. 7 Gambar Pengaturan Sudut Serang

Gambar 3. 8 Gambar Penempatan *Airfoil* pada Test Section

Gambar 3. 9 Analisa Data *Ouput* pada Komputer

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian yang dilakukan menggunakan metode eksperimen dengan *wind tunnel* untuk menganalisa karakteristik dari *airfoil* NACA 2412 dengan memvariasikan sudut serang 0°,5°,15° dan kecepatan angin 2 m/s, 4 m/s, 5 m/s, dan 6 m/s sehingga dapat menentukan *coeffisent drag* dan *lift* dari *airfoil* yang efisien dirangkum dalam bab ini.

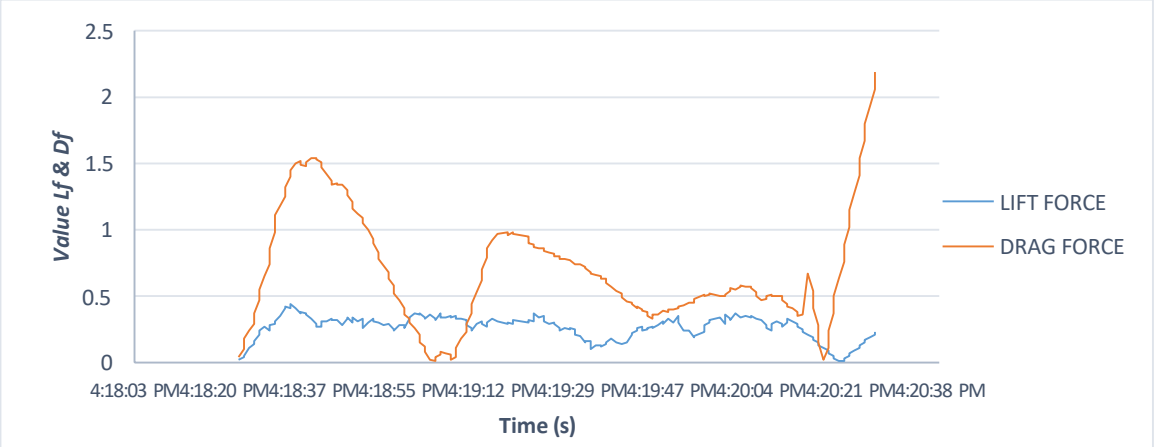
4.1.1 Grafik *Drag* dan *Lift* Sudut 0°

Nilai *drag* dan *lift* didapat dari perhitungan nilai rata-rata gaya *drag* dan *lift* dibawah ini.

Tabel 4. 1 Nilai rata-rata *lift* dan *drag* sudut 0°

Velocity	*Average Lift Value*	*Average Drag Value*
2 m/s	0.262412	0.691407
4 m/s	0.242712	0.914372
5 m/s	0.085276	0.691407
6 m/s	0.094285	0.984862

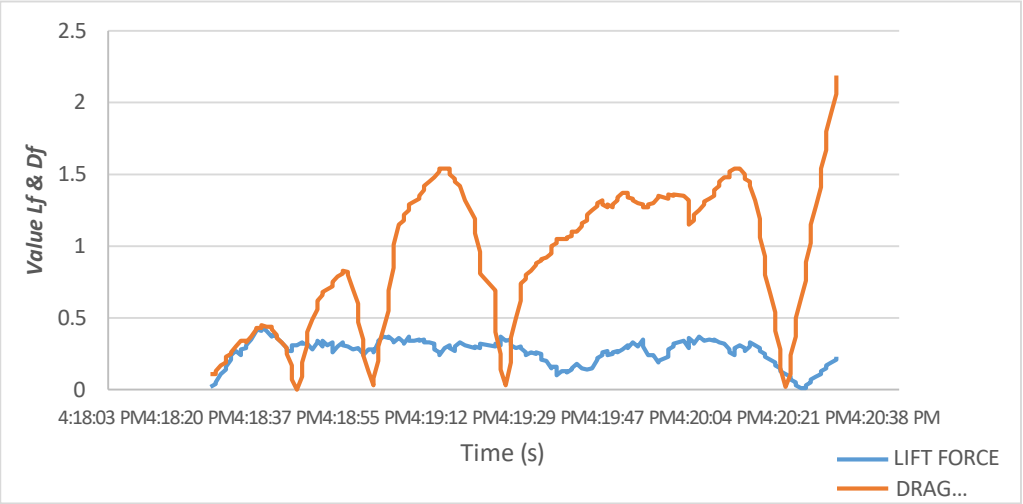
a. *Inlet velocity* 2 m/s



Gambar 4. 1 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 2 m/s

Pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa *airfoil* dengan kecepatan 2 m/s menghasilkan gaya hambat (*lift*) dengan titik min 0,01 dan titik max 0,44 dan gaya angkat (*drag*) dengan titik min 0,01 dan titik max 2,19.

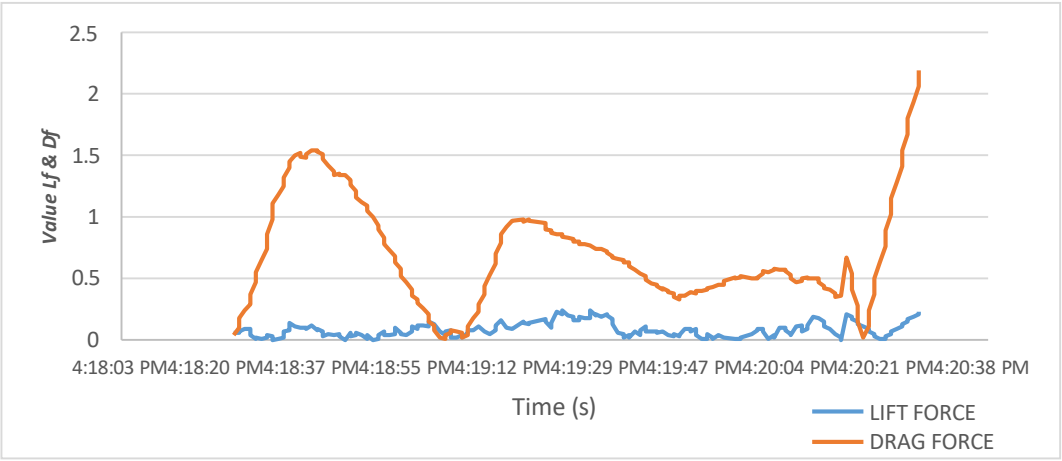
b. *Inlet velocity* 4 m/s



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

Pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa *airfoil* dengan kecepatan 4 m/s menghasilkan gaya hambat (*lift*) dengan titik min 0,01 dan titik max 0,44 dan gaya angkat (*drag*) dengan titik min 0 dan titik max 2,19.

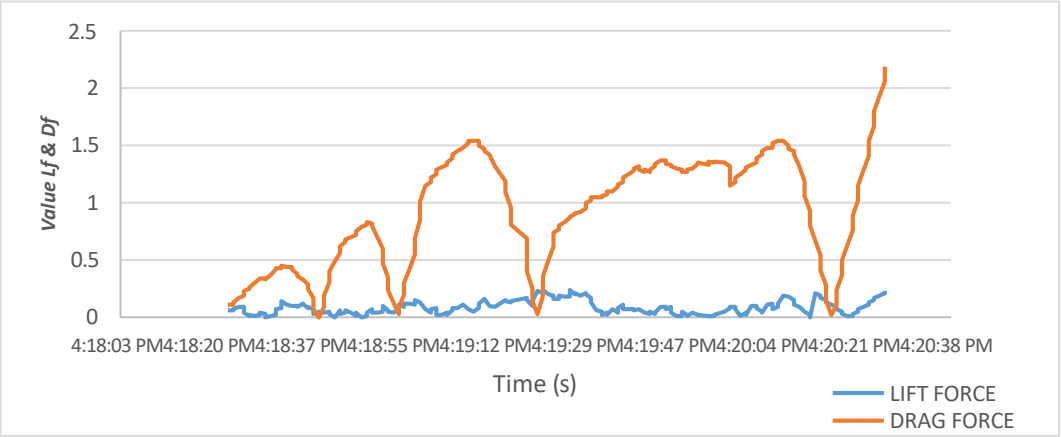
c. *Inlet velocity* 5 m/s



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

Pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa *airfoil* dengan kecepatan 5 m/s menghasilkan gaya hambat (*lift*) dengan titik min 0 dan titik max 0,24 dan gaya angkat (*drag*) dengan titik min 0,01 dan titik max 2,19.

d. *Inlet velocity* 6 m/s



Gambar 4. 4 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 6 m/s

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa *airfoil* dengan kecepatan 6m/s menghasilkan gaya hambat (*lift*) dengan titik min 0 dan titik max 0,24 dan gaya angkat (*drag*) dengan titik min 0,01 dan titik max 2,19.

4.1.2 Nilai *Coeffisient Lift* dan *Coeffisient Drag* Sudut 0°

Nilai *coeffisient lift* dan *coeffisient drag* didapat dari contoh perhitungan dibawah ini dengan menggunakan kecepatan angin 2 m/s dan sudut serang 0°.

$$C_l = \frac{2(0{,}2624)}{(1{,}29)(2^2)(0{,}0104)}$$

$$= \frac{0{,}5248}{0{,}0537}$$

$C_l = 9{,}7728$

dan nilai C_d,

$$C_d = \frac{2(0.6914)}{(1{,}29)(2^2)(0{,}0104)}$$

$$= \frac{1{,}3828}{0{,}0537}$$

$C_d = 25{,}7504$

Tabel 4. 2 Tabel nilai *coefficient lift* dan *coefficient drag* sudut 0°

Velocity	*Coeffisient Lift Value*	*Coeffisient Drag Value*
2 m/s	9,7728	25,7504
4 m/s	2,2619	8,5214
5 m/s	0,5085	4,1223
6 m/s	0,3904	4,0783

Tabel 4.2 dan grafik pada pembahasan diatas mendapatkan beberapa kesimpulan, sebagai berikut :

- Semakin tinggi kecepatan aliran udara, semakin rendah nilai koefisien angkat (*Cl*) dan koefisien hambat (*Cd*). Terlihat penurunan drastis dari 2 m/s ke 4 m/s. Penurunan Cl dan Cd cenderung melambat setelah kecepatan > 4 m/s.
- Koefisien angkat (*Cl*) : menurun drastis dari 9,7728 (2 m/s) ke 0,3904 (6 m/s). Ini menunjukkan bahwa pada kecepatan rendah, gaya angkat relatif tinggi, namun menurun signifikan seiring bertambahnya kecepatan.
- Koefisien hambat (*Cd*) : Juga menurun dari 25,7504 menjadi 4,0783, namun tidak sebesar penurunan *Cl*. Setelah 5 m/s, nilai *Cd* hampir stabil.

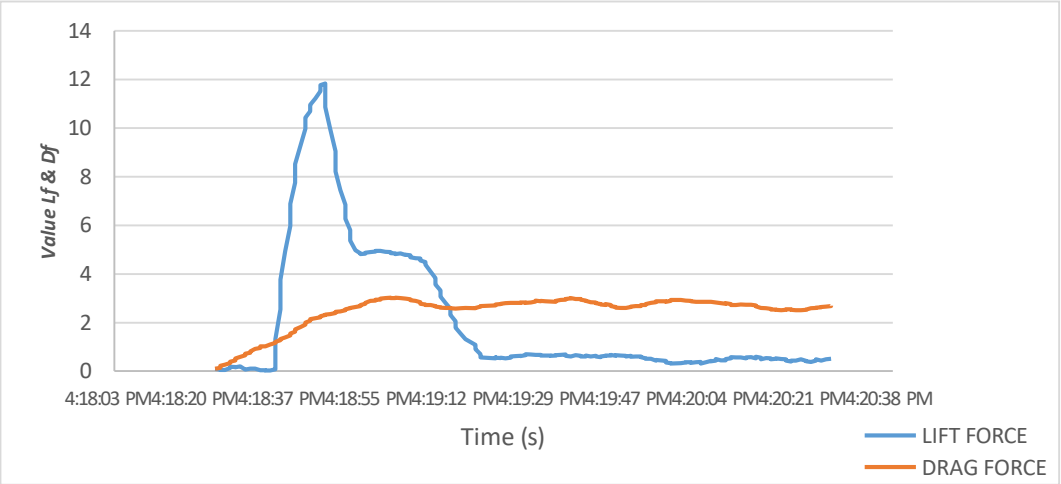
4.1.3 Grafik *Drag* dan *Lift* Sudut 5°

Grafik dan nilai *lift* , *drag* dari sudut 5° dapat kita lihat pada pembahasan dibawah ini.

Tabel 4. 3 Nilai rata-rata *lift* dan *drag* sudut 5°

Velocity	*Average Lift Value*	*Average Drag Value*
2 m/s	2.1421	2.4590
4 m/s	2.1421	0.2846
5 m/s	5.1323	2.4590
6 m/s	16.3238	0.5970

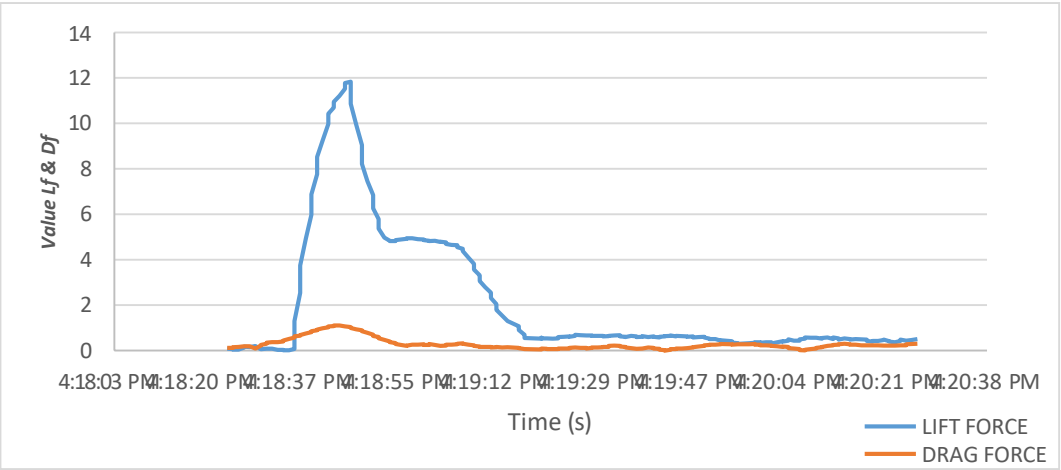
a. *Inlet velocity* 2 m/s



Gambar 4. 5 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 2 m/s

Pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa *airfoil* dengan kecepatan 2 m/s menghasilkan gaya hambat (*lift*) dengan titik min 0,02 dan titik max 11,84 dan gaya angkat (*drag*) dengan titik min 0,011 dan titik max 3,03.

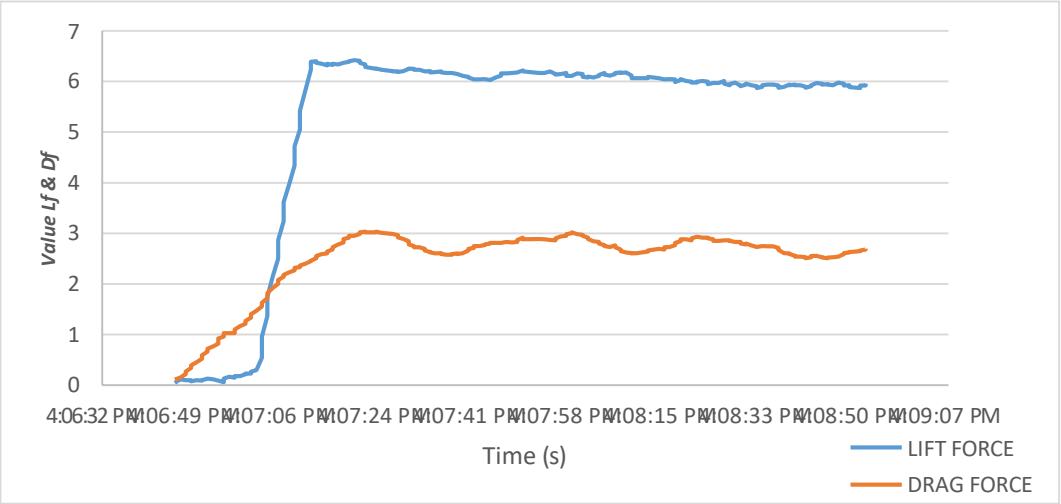
b. *Inlet velocity* 4 m/s



Gambar 4. 6 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 2 m/s

Pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa *airfoil* dengan kecepatan 2 m/s menghasilkan gaya hambat (*lift*) dengan titik min 0,02 dan titik max 11,84 dan gaya angkat (*drag*) dengan titik min 0,01 dan titik max 1,1.

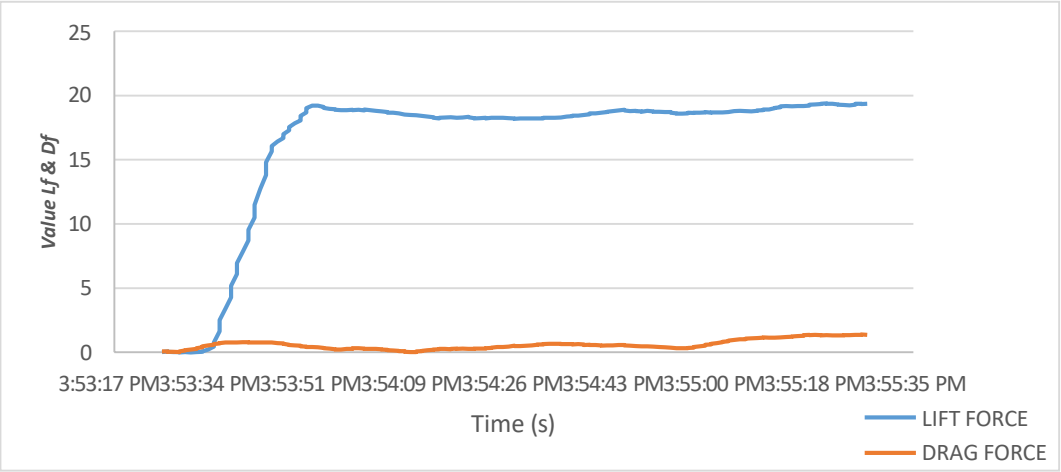
c. *Inlet velocity* 5 m/s



Gambar 4. 7 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 5 m/s

Pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa *airfoil* dengan kecepatan 5 m/s menghasilkan gaya hambat (*lift*) dengan titik min 0,05 dan titik max 6,42 dan gaya angkat (*drag*) dengan titik min 0,11 dan titik max 3,03.

d. *Inlet velocity* 6 m/s



Gambar 4. 8 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 6 m/s

Pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa *airfoil* dengan kecepatan 2 m/s menghasilkan gaya hambat (*lift*) dengan titik min 0 dan titik max 19,38 dan gaya angkat (*drag*) dengan titik min 0 dan titik max 1,39.

4.1.4 Nilai *Coeffisient Lift* dan *Coeffisient Drag* Sudut 5°

Tabel 4. 4 Tabel nilai *coefficient lift* dan *coefficient drag* sudut 5°

Velocity	*Coeffisient Lift Value*	*Coeffisient Drag Value*
2 m/s	79,8002	91,6443
4 m/s	19,9552	2,6523
5 m/s	30,6040	14,6631
6 m/s	67,6073	2,4725

Tabel 4.4 dan grafik pada pembahasan diatas mendapatkan beberapa kesimpulan, sebagai berikut :

- Perilaku Koefisien Angkat (*Cl*) : Tidak menurun secara konsisten dengan meningkatnya kecepatan, turun drastis dari 79,8002 (2 m/s) → 19,9552 (4 m/s), lalu naik lagi di 5 m/s (30,6040), dan naik tajam di 6 m/s (67,6073). Ini bisa menunjukkan ketidakstabilan aliran udara**,** efek bentuk objek, atau fenomena turbulensi/transisi**.**
- Perilaku Koefisien Hambat (*Cd*) : Turun sangat signifikan dari 91,6443 (2 m/s) → 2,6523 (4 m/s). Naik kembali di 5 m/s (14,6631), lalu turun lagi di 6 m/s (2,4725). Pola ini juga menunjukkan non-linearitas dalam hambatan terhadap kecepatan.

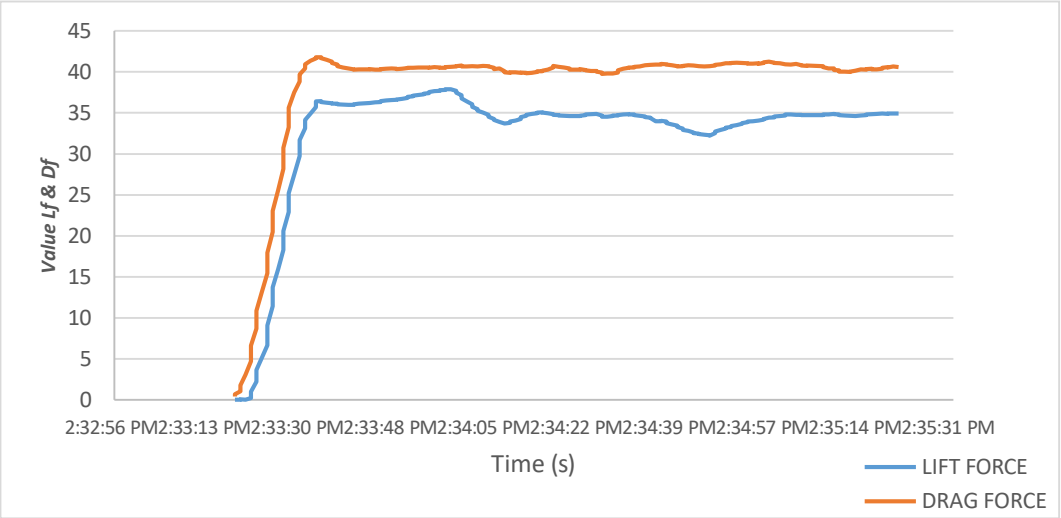
4.1.5 Grafik *Drag* dan *Lift* Sudut 15°

Grafik dan nilai *lift* , *drag* dari sudut 15° dapat kita lihat pada pembahasan dibawah ini.

Tabel 4. 5 Nilai rata-rata *lift* dan *drag* sudut 15°

Velocity	*Average Lift Value*	*Average Drag Value*
2 m/s	32,3106	38,0728
4 m/s	19,722	14,6099
5 m/s	12,9651	18,7769
6 m/s	26,2893	35,1793

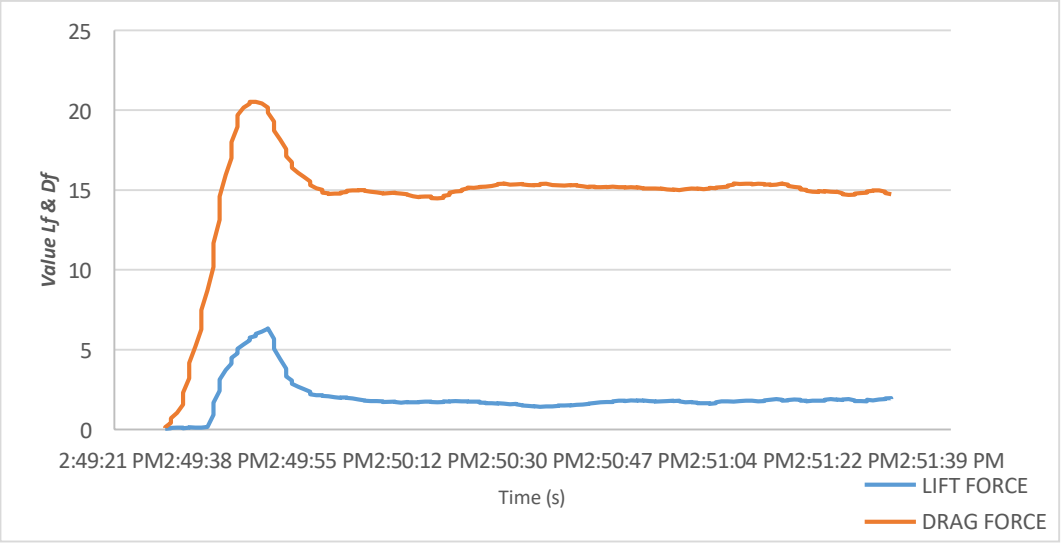
e. *Inlet velocity* 2 m/s



Gambar 4. 9 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 2 m/s

Pada Gambar 4.9 menunjukkan bahwa *airfoil* dengan kecepatan 2 m/s menghasilkan gaya hambat (*lift*) dengan titik min 0,04 dan titik max 37,9 dan gaya angkat (*drag*) dengan titik min 0,42 dan titik max 41,8.

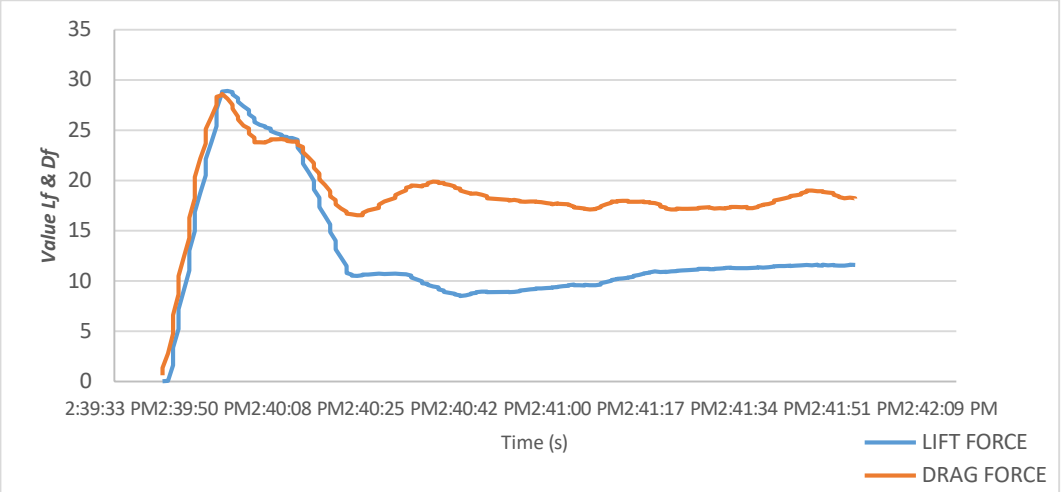
f. *Inlet velocity* 4 m/s



Gambar 4. 10 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 4 m/s

Pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa *airfoil* dengan kecepatan 2 m/s menghasilkan gaya hambat (*lift*) dengan titik min 0,04 dan titik max 6,32 dan gaya angkat (*drag*) dengan titik min 0,09 dan titik max 20,52.

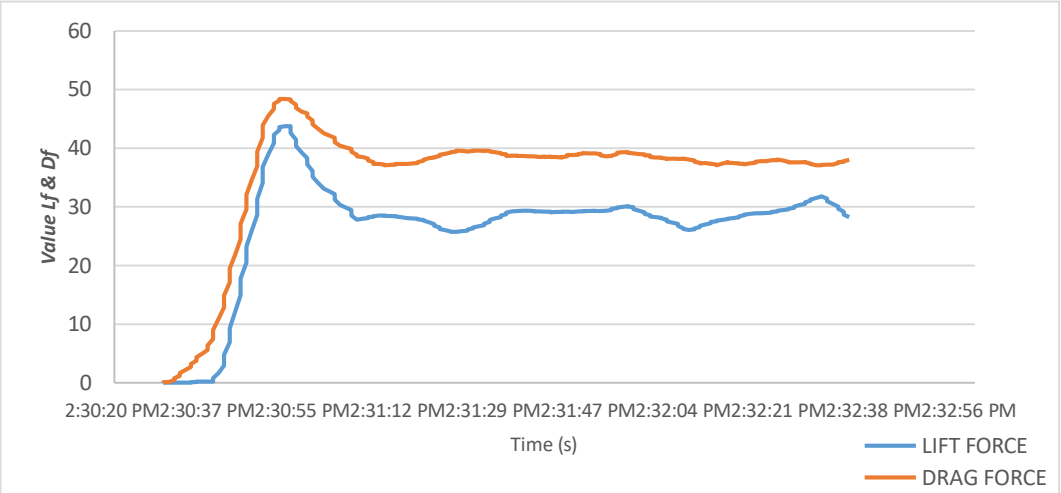
g. *Inlet velocity* 5 m/s



Gambar 4. 11 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 5 m/s

Pada Gambar 4.11 menunjukkan bahwa *airfoil* dengan kecepatan 5 m/s menghasilkan gaya hambat (*lift*) dengan titik min 0 dan titik max 28,88 N dan gaya angkat (*drag*) dengan titik min 0,63 dan titik max 28,59.

h. *Inlet velocity* 6 m/s



Gambar 4. 12 Grafik nilai *lift* dan *drag* kecepatan 6 m/s

Pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa *airfoil* dengan kecepatan 6 m/s menghasilkan gaya hambat (*lift*) dengan titik min 0,01 dan titik max 43,72 dan gaya angkat (*drag*) dengan titik min 0,01 dan titik max 48,39.

4.1.6 Nilai *Coeffisient Lift* dan *Coeffisient Drag* Sudut 15°

Tabel 4. 6 Tabel nilai *coefficient lift* dan *coefficient drag* sudut 15°

Velocity	*Coeffisient Lift Value*	*Coeffisient Drag Value*
2 m/s	1.205,6149	1.420,6268
4 m/s	183,8024	136,1593
5 m/s	77,3112	111,9672
6 m/s	108,8809	145,7001

Tabel 4.6 dan grafik pada pembahasan diatas mendapatkan beberapa kesimpulan, sebagai berikut :

- Koefisien Angkat (*Cl*) : Sangat tinggi pada 2 m/s → 1205,6149 → kemungkinan besar disebabkan oleh perhitungan ekstrem atau ketidaksesuaian skala. Turun drastis di 4 m/s (183,8024), kemudian turun lagi di 5 m/s (77,3112), lalu naik di 6 m/s (108,8809). Pola ini tidak linier, menunjukkan *fluktuasi* aliran, atau mungkin *anomali* pengukuran pada 2 m/s.
- Koefisien Hambat (Cd) : Tinggi juga pada 2 m/s **(**1420,6268) → cenderung abnormal. Turun ke 136,1593 (4 m/s), kemudian sedikit turun ke 111,9672 (5 m/s), lalu naik lagi ke 145,7001 (6 m/s). Pola Cd juga berfluktuasi dan menunjukkan tidak adanya tren yang konsisten.

4.2 Perbandingan Tren

Perbandingan tren adalah proses menganalisis dan membandingkan perubahan suatu data atau fenomena dari waktu ke waktu untuk melihat pola, arah, dan pergeseran yang terjadi. Tujuannya adalah untuk memahami apakah suatu hal meningkat, menurun, atau stabil dalam periode tertentu.

Perbandingan Tren Dilakukan dengan Cara:

- Pengumpulan Data Berkala: Sensor dipasang untuk merekam parameter-parameter tersebut secara waktu nyata atau berkala.
- Pemetaan Tren: Data dimasukkan ke grafik untuk melihat polanya.
- Perbandingan dan analisis.
- Pengambilan keputusan.

Tabel 4. 7 Tabel Perbandingan Tren

Aspek	Sudut 0	Sudut 5	Sudut 15
Rentang *Cl*	0,39 – 9,77	19,95 – 79,80	77,31 – 1205,61
Rentang *Cd*	4,07 – 25,75	2,47 – 91,64	111,96 – 1420,62
Tren *Cl* vs *Velocity*	Menurun konsisten	Turun → Naik → Naik	Sangat tinggi → turun → naik
Tren *Cd* vs *Velocity*	Menurun konsisten	Turun → Naik → Turun	Sangat tinggi → turun → naik
Stabilitas Data	Paling stabil & logis	Fluktuatif	Paling ekstrem dan tidak wajar
Kemungkinan Anomali?	Tidak terlihat	Mungkin di 5–6 m/s	Ya, terutama di 2 m/s
Efisiensi (Cl/Cd)	Stabil, menurun	Tertinggi di 4 m/s	Tertinggi di 4 m/s, tapi tidak efisien

Tabel 1 Sudut 0° menunjukkan perilaku paling logis dan realistis:

- *Cl* dan *Cd* menurun seiring peningkatan kecepatan.
- Cocok dengan prinsip aerodinamika dasar: gaya angkat dan hambat menurun saat aliran menjadi lebih streamline.

Tabel 2 Sudut 5° menunjukkan perilaku tidak stabil:

- Ada *fluktuasi Cl* dan *Cd* setelah 4 m/s.
- Mungkin ada pengaruh geometri, turbulensi, atau sudut serang berubah**.**

Tabel 3 Sudut 15° memiliki nilai sangat tinggi dan ekstrem, terutama di 2 m/s:

- Kemungkinan besar terjadi kesalahan perhitungan, pengukuran, atau kesalahan skala.
- Tren tidak menunjukkan pola fisika yang umum.

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 *aifoil NACA* 2412 sesuai titik koordinat dari *NACA.*
2. Sudut serang 0° *Cl* dan *Cd* menurun secara konsisten seiring bertambahnya kecepatan. Pola ini sesuai dengan prinsip umum aerodinamika: semakin tinggi kecepatan, gaya angkat dan hambat cenderung menurun karena aliran menjadi lebih streamline. Rasio *Cl/Cd* menurun → efisiensi juga turun, artinya kecepatan rendah (2–4 m/s) lebih efisien dalam menghasilkan gaya angkat relatif terhadap hambatan.
3. Sudut serang 5° *Cl* dan *Cd* turun tajam dari 2 ke 4 m/s, namun kemudian fluktuatif di kecepatan 5 dan 6 m/s. Terjadi kenaikan kembali *Cl* pada 5–6 m/s, sementara *Cd* juga berfluktuasi. *Cl/Cd* tertinggi di 4 m**/s**, menunjukkan kecepatan ini sebagai titik efisiensi maksimum. Fluktuasi menunjukkan kemungkinan adanya turbulensi, perubahan geometri, atau variasi sudut serang**.**
4. Sudut 15° (Data sangat ekstrem & kemungkinan tidak realistis). Nilai *Cl* dan *Cd* sangat tinggi terutama pada kecepatan rendah (2 m/s), jauh di luar rentang wajar. Rasio *Cl/Cd* tidak konsisten dan cenderung menunjukkan *anomali*. Data ini kemungkinan mengalami: Kesalahan satuan (misalnya *Cl/Cd* dihitung dalam skala berbeda), Error dalam perhitungan gaya atau luas referensi, atau memang hasil simulasi/eksperimen dari fenomena ekstrem.

5.2 Saran

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

1. Gunakan Sudut 0 sebagai referensi utama, karena paling stabil dan representatif untuk analisis aerodinamika dasar. Cocok dijadikan acuan untuk permodelan atau validasi awal.
2. Lakukan verifikasi pada Sudut 5 dan 15, terutama pada sudut 15: periksa kembali satuan, parameter input, dan metode perhitungan. Jika dari eksperimen: evaluasi kembali setup dan akurasi sensor/pengukuran.
3. Analisis tambahan yang disarankan: Gunakan grafik *Cl*, *Cd*, dan *Cl/Cd* vs *velocity* untuk visualisasi tren dan identifikasi *outlier*.

\

DAFTAR PUSTAKA

Aziz, R. (2024). *ANALISIS AIRFOIL 2412 DAN STREAMLINE SAYAP PADA PESAWAT TERBANG CESSNA 172*.

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

Idris, I. M. (2019). Rancang Bangun Terowongan Angin (Wind Tunnel) Tipe Subsonic Dengan Test Section 0,2 X 0,2 M Untuk Alat Peraga Mekanika Fluida. *Mechonversio: Mechanical Engineering Journal*, *2*(2), 19. https://doi.org/10.51804/mmej.v2i2.614

Mahadi, Y. N. (2025). *ANALISIS AIRFOIL NACA 4412 MENGGUNAKAN WINDTUNNEL DENGAN VARIASI KECEPATAN* [Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara].

Marbadi, A. S. (2016). *Rancang Bangun Wind Tunnel Sederhana Untuk*. *2*(2), 92–97.

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/

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. Embang, J. D. (2018). *Analisis 2d Airfoil NACA 4412 Menggunakan Computational Fluids Dynamicd*

Pada Variasi Bilangan Mach dan Sudut Serang. 134. https://repository.usd.ac.id/6403/2/125214023_full.pdf

Erlangga, G. G. P. (2017). *STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK AERODINAMIK AIRFOIL NACA 4412*. 5–7.

Fadhillah, M. T. (2020). *KAJI NUMERIK RASIO KERAMPINGAN ROTOR SAVONIUS SEBAGAI PENGGERAK AWAL TURBIN ANGIN VERTIKAL SAVONIUS DAN DARRIEUS*.

FAHMI, A. (2021). Analisa Numerik *APK Shell Helical Coil* Bersirip pada Aplikasi ACWH. In *skripsi*. http://repository.umsu.ac.id

Fransetyo, T. (2019). *Analisa Numerik Sudut Serang Pada Airfol NACA 2410 Terhadap Performance Sudu Kincir Angin*. Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.

Hidayat, M. F. (2020). *DENGAN ANSYS FLUENT*. 4–6.

Nakhodah, Y. I., & Saleh, C. (2017). PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN SUMBU VERTIKAL UNTUK PENERANGAN RUMAH TANGGA DI DAERAH PESISIR PANTAI 1). *Institut Teknologi Nasional Malang*, *7*(1), 1–9.

Rahmat, T. (2016). *STUDI NUMERIK TURBIN ANGIN DARRIEUS DENGAN VARIASI JUUMLAH SUDU DAN KECEPATAN ANGIN*.

Saputra, & Agustian. (2018). Analisa Pengaruh Putaran Blade Dan Arah Sudut Serang Terhadap Koefisien Drag Dan Lift Pada Mo. *Teknik Mesin*, *c*, 1–2. http://kharisismail53.blogspot.co.id/

Siregar, C., & Irfansyah, I. (2018). Studi Numerik Unjuk Kerja Penggunaan Winglet Pada Heat Exchanger Tipe Compact. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, *1*(1), 20–29.

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Analisis *Coeffisient Drag* dan *Coeffisient Lift Aifoil NACA* 2412 Dengan Variasi Sudut Serang Dan Kecepatan Angin Menggunakan *Wind Tunnel*

Nama : Ardianto Dwi Ramadhan
NPM 18072370151
Dosen Pembimbing : Dr. Khairul Umurani, S.T., M.T.

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. DATA PRIBADI

Nama : Ardianto Dwi Ramadhan

Jenis kelamin : Laki-Laki

Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 07 Desember 2000

Alamat : JL Tembaga No.04 LK IX Marelan

Agama : Islam

Email : ardiantodwiramadhan07@gmail.com

No. HP 081265478989

B.RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD 067256 Medan
2. SMP N 38 Medan
3. SMK N 5 Medan