

PENGARUH LOKASI KETEBALAN MAKSIMUM AIRFOIL SIMETRIS TERHADAP KOEFISIEN ANGKAT AERODINAMISNYA

Teddy Nurcahyadi*, Sudarja**

Teknik Mesin, Fakultas Teknik,

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

*H/P:085643086810, email: nurcahyadi@gmail.com

**H/P:08156896540, email: sudarja_msn@yahoo.com

ABSTRACT

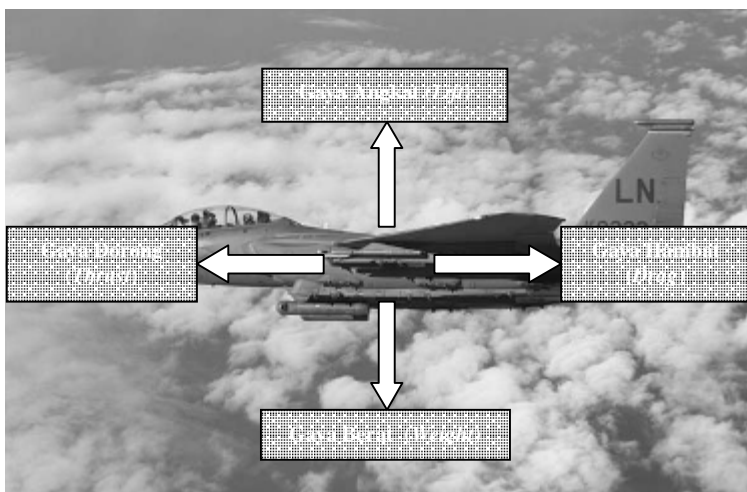
Airfoil performance data is regarded as highly valuable data in its wide area of application since it will help the designer, for examples; to predict the influence of rear spoiler mounting to the maneuverability and top speed of racing car, the thrust and fuel consumption needed for an aircraft to take off and cruise, or the power delivered by a wind turbine rotor at certain wind speed. The performance of airfoil, which is measured with its lift and drag coefficient, is greatly affected by its geometry and operating condition. The influence of various geometric and operational parameters to the airfoil performance is needed to be studied experimentally and the airfoil performance data obtained can be added to enrich the airfoil performance data base. The experiment was done by testing airfoil models by lift force direct measurements in a sub-sonic wind tunnel. The type of airfoil used in this experiment is the symmetric airfoil with maximum thickness location as the geometric parameter and angle of attack with wind speed as the operational parameter being investigated for their influence to the lift and drag coefficient. The maximum thickness location was varied in 30%, 40%, and 50% of chord length measured from leading edge. The angle of attack was varied from 0° to 20° with 4° increments. The wind speed was varied from 10 m/s to 20 m/s with 2 m/s increments. Parameters being measured were the free stream velocity, and the lift force. The result of the research shows that the best airfoil performance with lift coefficient 3,16 is achieved by the airfoil that has maximum thickness location in 40% of its chord length measured from its leading edge and operates at 20° angle of attack and 8,9 m/s free stream velocity.

Keywords: *airfoil, lift coefficient, maximum thickness location, angle of attack, free stream velocity,*

PENDAHULUAN

Aerofoil adalah bentuk aerodinamik yang ditujukan untuk menghasilkan gaya angkat (*lift*) yang besar dengan gaya hambat (*drag*) yang sekecil mungkin. Ketika suatu airfoil dilewati oleh aliran fluida maka karena adanya pengaruh interaksi antara aliran udara dengan permukaan akan timbul variasi kecepatan dan tekanan di sepanjang permukaan atas dan bawah airfoil serta di bagian depan dan belakang airfoil. Perbedaan tekanan antara permukaan atas dan bawah airfoil akan menimbulkan gaya resultan yang arahnya tegak lurus arah datangnya aliran fluida, gaya ini disebut sebagai gaya angkat (*lift*). Perbedaan tekanan antara bagian depan dan bagian belakang airfoil akan menimbulkan gaya resultan yang arahnya searah dengan arah datangnya aliran fluida, gaya ini disebut sebagai gaya hambat (*drag*).

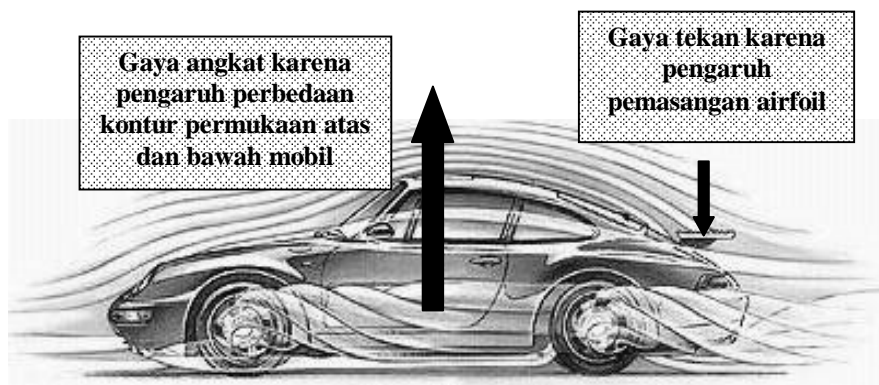
Gaya angkat yang dihasilkan oleh airfoil inilah yang kemudian dimanfaatkan pada berbagai aplikasi teknik. Besar kecilnya gaya angkat yang terjadi akan berubah-ubah tergantung geometri airfoil dan kondisi operasinya. Pada pesawat terbang, gaya angkat pada sayap utama digunakan sebagai gaya pelawan gaya berat pesawat yang memungkinkan pesawat terbang dapat lepas landas dan tetap melayang di angkasa, selain itu, gaya angkat pada sayap-sayap pembeloknya digunakan untuk manuver pesawat ketika berada di udara dengan cara mengubah-ubah sudut serangnya sehingga gaya angkat yang dihasilkan dapat diatur sedemikian rupa untuk menghasilkan gerakan yang diinginkan; vertikal, horisontal, ataupun memutar terhadap sumbu aksial (*skew*).



Gambar 1. Gaya-gaya yang bekerja pada suatu pesawat terbang

Pada kendaraan darat, dengan bentuk bodi yang memiliki kontur permukaan atas yang lebih panjang daripada kontur permukaan bawah maka kecepatan udara melewati permukaan atas lebih tinggi daripada kecepatan udara melewati permukaannya sehingga tekanan statis di permukaan atas lebih rendah daripada tekanan statis di permukaan bawah, akibatnya arah gaya resultan

aerodinamika yang bekerja pada kendaraan memiliki arah ke atas, semakin tinggi kecepatan kendaraan maka gaya angkat yang terjadi semakin besar sehingga cenderung semakin mengangkat bodi kendaraan dan mengurangi stabilitas serta traksinya. Untuk mengurangi gaya angkat ke atas tersebut maka pada kendaraan-kendaraan darat yang dirancang untuk bekerja pada kecepatan tinggi biasanya dipasang airfoil di bagian belakang permukaan atasnya. Beda tekanan yang terjadi di permukaan atas dan bawah airfoil yang dipasang tersebut dirancang sedemikian rupa dengan rancangan geometri tertentu dan atau dengan pengaturan sudut serangnya agar menghasilkan gaya tekan ke bawah sehingga meningkatkan stabilitas, pengendalian, dan traksi kendaraan pada kecepatan tinggi.



Gambar 2. Pengaruh Pemasangan Airfoil Pada Aerodinamika Kendaraan Darat

Profil airfoil dapat pula ditemui pada sudu-sudu rotor turbin angin. Gaya angkat yang dihasilkan pada sudu-sudu turbin angin dimanfaatkan untuk memutar generator listrik yang terhubung dengan poros rotor turbin angin. Agar generator listrik dapat bekerja dengan baik dan aman maka putaran harus selalu dijaga pada kisaran tertentu. Putaran minimal dimana generator listrik mulai menghasilkan arus listrik dinamakan dengan *cut-in-speed*, sedangkan putaran maksimal dimana material-material penyusun komponen generator mampu bertahan tanpa terjadi kerusakan (ledakan/terbakar), baik karena panas yang dihasilkan oleh gesekan mekanis antar komponen maupun karena panas buangan akibat produksi dan pengaliran listrik yang terjadi, dinamakan dengan *cut-out-speed*. Oleh sebab itu, rotor yang digunakan pada turbin angin harus dapat bekerja di antara kedua putaran tersebut dengan baik sesuai kondisi kecepatan angin rata-rata di daerah pemakaian; pada saat kecepatan angin minimum rotor harus mampu dengan segera mencapai *cut-in-speed*, dan pada saat *cut-out-speed* terjadi akibat adanya angin besar yang bertiup melewatinya, maka sistem pengaman turbin angin harus mampu menghentikan putaran rotor dengan pengereman rotor, melepas kopling ke poros generator listrik, ataupun dengan cara memutar sudu sedemikian rupa terhadap arah angin datang sehingga sudut serang menjadi semakin besar dan terjadi *stall*

dimana sudu turbin angin berada dalam kondisi tidak mampu lagi menghasilkan gaya angkat dan tidak mampu lagi memutar rotor turbin angin.



Gambar 3. Turbin Angin Modern Yang Desainnya Tidak Sekedar Hanya Ditujukan Untuk Dapat Berputar Dan Menghasilkan Daya Saja Namun Juga Dilengkapi Dengan Sistem Pengendalian Dan Sistem Keamanan Baik Secara Aktif Maupun Pasif

Gaya angkat terjadi pada airfoil karena tekanan aliran di permukaan atas airfoil lebih rendah daripada tekanan aliran di permukaan bawahnya. Salah satu parameter geometris yang menentukan besarnya gaya angkat yang dihasilkan suatu airfoil adalah lokasi ketebalan maksimumnya. Semakin jauh lokasi-ketebalan-maksimum dengan ujung awal maka akan mengakibatkan semakin akhir pula terjadinya peningkatan tekanan aliran yang melewati permukaan airfoil sehingga akan menjadi salah satu faktor yang menyebabkan tekanan rata-rata pada sepanjang permukaan tersebut menjadi lebih rendah, jika hal tersebut terjadi pada permukaan atas airfoil maka akan menyebabkan semakin besarnya gaya angkat yang terjadi. Namun selain faktor tersebut masih ada faktor lain yang menentukan besarnya tekanan rata-rata aliran baik di permukaan atas maupun di permukaan bawah airfoil, yaitu: besarnya sudut serang dan besarnya kecepatan aliran udara. Untuk mengetahui kombinasi pengaruh ketiga faktor di atas terhadap koefisien angkat dan koefisien hambat airfoil maka perlu untuk dilakukan kajian eksperimental sehingga pemanfaatan airfoil pada berbagai bidang aplikasinya dapat dilakukan dengan lebih optimal.

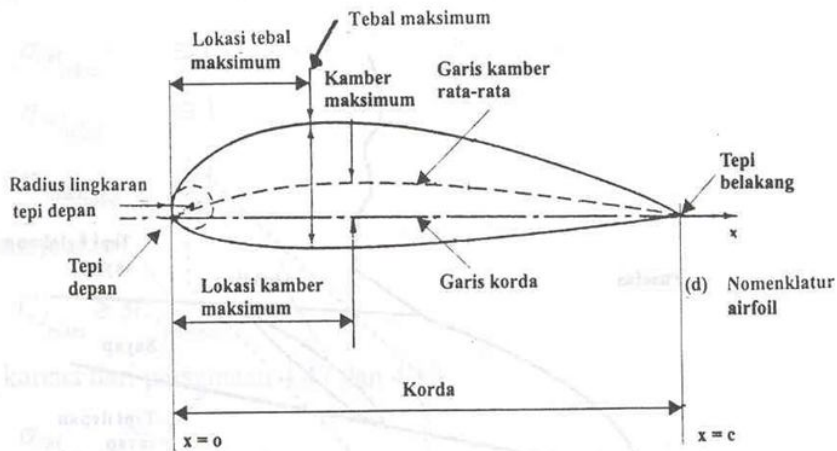
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lokasi ketebalan maksimum (30%, 40%, dan 50% panjang korda), besarnya sudut serang (0° sampai dengan 20° dengan pertambahan tiap 4°), dan besarnya kecepatan angin (10 m/s sampai dengan 20 m/s dengan pertambahan tiap 2 m/s) terhadap koefisien angkat airfoil jenis simetri.

Berdasarkan kisaran data yang didapatkan dari pengujian maka hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk:

1. Pemilihan bentuk dan ukuran sudu turbin dan sudut pemasangannya pada rotor turbin angin sesuai dengan daya keluaran yang diinginkan dan karakteristik angin di daerah pemakaian
2. Pemilihan bentuk dan ukuran sayap pada lengan pembelok rotor turbin angin yang berfungsi untuk menghadapkan rotor ke arah datangnya angin
3. Perancangan dan pembuatan sistem penghenti putaran rotor dengan metode *stall*
4. Pemilihan bentuk (lokasi ketebalan maksimum airfoil simetris), ukuran, dan posisi pemasangan spoiler kendaraan darat

Geometri Airfoil

Garis kamber rata-rata (*mean camber line*) adalah tempat kedudukan dari titik-titik tengah antara permukaan atas dan permukaan bawah aerofoil; yaitu tempat kedudukan titik tengah dari garis tegak lurus, pada garis kamber rata-rata itu sendiri, yang menghubungkan permukaan atas dan permukaan bawah. Garis kamber rata-rata menjadi ciri utama dari sebuah aerofoil. Titik terdepan dan titik terbelakang dari garis kamber rata-rata berturut-turut dinamai tepi depan (*leading edge*) dan tepi belakang (*trailing edge*). Garis korda (*chord line*) adalah garis lurus yang menghubungkan tepi depan dan tepi belakang. Korda (*chord*) adalah panjangnya garis korda.



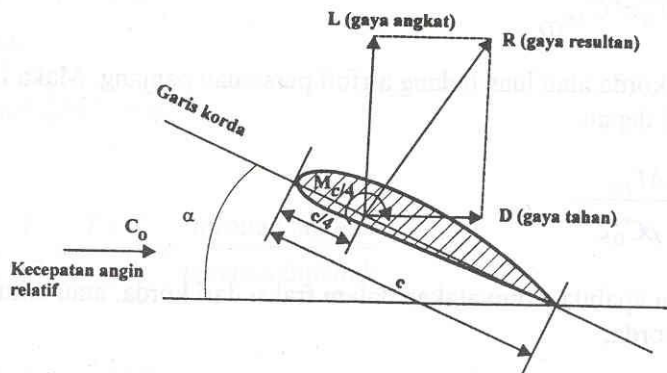
Gambar 4. Nomenklatur Airfoil

Ukuran aerofoil biasanya dinyatakan sebagai fungsi (prosentase) dari korda. Kamber maksimum adalah jarak maksimum antara garis kamber dan garis korda, diukur pada garis tegak lurus garis korda. Letak kamber maksimum dari tepi depan sangat penting dalam menentukan karakteristik aerodinamika sebuah aerofoil. Banyak usaha dilakukan untuk menggeser letak kamber maksimum ke depan untuk menaikkan gaya angkat. Kamber, bentuk garis kamber rata-rata, dan juga distribusi tebal aerofoil sangat menentukan karakteristik gaya angkat dan momen aerofoil.

Tebal maksimum sebuah aerofoil adalah jarak maksimum antara permukaan atas dan permukaan bawah. Radius lingkaran yang melalui tepi depan merupakan ukuran ketajaman tepi depan; biasanya 0 – 2% korda. Titik pusat lingkaran tersebut terletak pada garis singgung garis kamber rata-rata yang melalui tepi depan.

Gaya-Gaya Aerodinamik yang Bekerja pada Airfoil

Gaya aerodinamik vertikal yang bekerja pada airfoil terjadi akibat adanya perbedaan tekanan antara permukaan atas airfoil dengan tekanan permukaan bawahnya. Jika tekanan di permukaan atas lebih rendah dari tekanan di permukaan bawah airfoil maka akan menimbulkan gaya ke arah atas yang diberi istilah sebagai gaya angkat (*lift force*). Jika tekanan di permukaan atas lebih tinggi dari tekanan di permukaan bawah airfoil maka akan menimbulkan gaya ke arah bawah yang diberi istilah sebagai gaya tekan (*down force*). Gaya aerodinamik horisontal yang bekerja pada airfoil terjadi karena lebih tingginya tekanan udara pada bagian depan airfoil dibanding tekanan udara pada bagian belakangnya sehingga arah gaya yang terjadi adalah ke belakang dan disebut sebagai gaya hambat (*drag force*).



Gambar 5 . Gaya Angkat dan Gaya Hambat (Tahan) yang Terjadi pada Airfoil

Bentuk permukaan atas dan permukaan bawah airfoil, besarnya sudut serang, serta besar dan arah datangnya aliran akan sangat mempengaruhi variasi tekanan di permukaan atas dan di permukaan bawah airfoil yang selanjutnya akan mempengaruhi besar gaya angkat dan gaya hambat yang terjadi serta arah resultan gayanya. Airfoil dipasang pada sudut serang tertentu dengan tujuan mengubah besar gaya angkat yang dihasilkan dan arah gaya resultannya sesuai dengan yang diperlukan. Sudut serang (α) adalah sudut yang dibentuk antara garis korda dengan arah datang angin. Harga sudut serang ini dapat bernilai positif, negatif, ataupun nol. Sayap pada pesawat terbang dipasang pada sudut serang positif untuk mendapatkan gaya vertikal ke atas (gaya angkat/*lift force*) sedangkan spoiler belakang mobil balap biasanya dipasang pada sudut serang negatif dengan tujuan untuk mendapatkan gaya vertikal ke bawah (gaya tekan/*down force*).

Koefisien Angkat (C_L) dan Koefisien Hambat (C_D)

Koefisien angkat merupakan perbandingan antara tekanan angkat yang bekerja pada airfoil terhadap tekanan dinamis aliran fluida yang mengalir airfoil.

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_p} \quad (1)$$

Dimana F_L adalah gaya angkat yang terjadi, ρ adalah massa jenis udara, V adalah kecepatan aliran bebas, dan A_p adalah luasan proyeksi maksimum dari sayap.

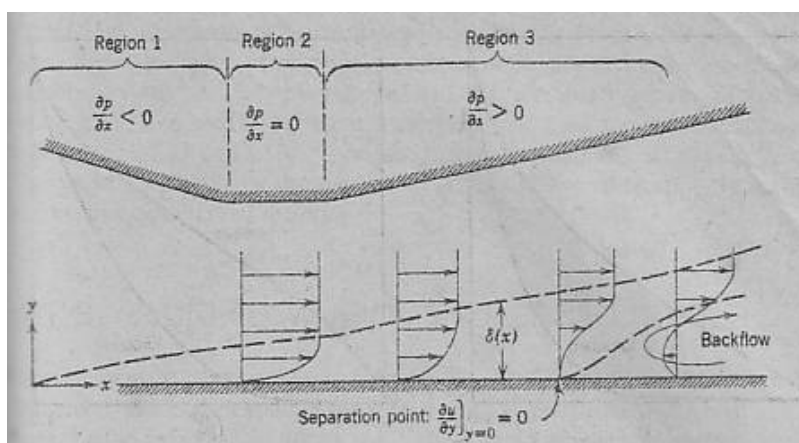
Koefisien hambatan merupakan perbandingan antara tekanan hambatan yang bekerja pada airfoil terhadap tekanan dinamis aliran fluida yang mengalir airfoil.

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_p} \quad (2)$$

Dimana F_D adalah gaya angkat yang terjadi, ρ adalah massa jenis udara, V adalah kecepatan aliran bebas, dan A_p adalah luasan proyeksi maksimum dari sayap.

Karakteristik Aliran Melewati Saluran Dengan Penampang Bervariasi

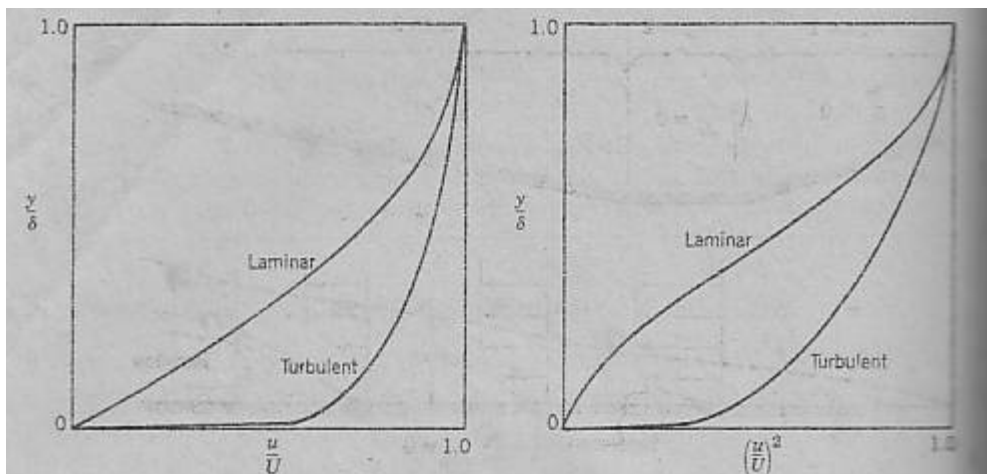
Apa yang terjadi terhadap aliran udara ketika melewati sepanjang permukaan airfoil dapat dijelaskan melalui cara meng-analogi-kannya dengan aliran melewati saluran dengan penampang bervariasi sebagaimana diilustrasikan di gambar. Adanya variasi penampang menyebabkan adanya variasi tekanan ketika saluran tersebut dialiri oleh fluida. Pada bagian saluran yang mengalami pengecilan penampang terjadi peningkatan kecepatan aliran yang diiringi dengan penurunan tekanan, sedangkan pada bagian saluran yang mengalami pembesaran penampang terjadi penurunan kecepatan aliran yang diiringi dengan peningkatan tekanan.



Gambar 6. Lapis Batas Kecepatan Aliran Melewati Saluran Dengan Variasi Penampang

Proporsi pengecilan dan pembesaran penampang akan mempengaruhi variasi tekanan sepanjang saluran tersebut. Jika hal ini di-analogi-kan dengan aliran melewati airfoil maka lokasi tebal maksimum airfoil dapat dianggap sebagai titik balik terjadinya perubahan dari penurunan tekanan aliran ke peningkatan tekanan aliran sehingga tebal maksimum airfoil dan lokasi-nya sangat menentukan variasi tekanan udara yang melewati permukaan airfoil. Semakin jauh lokasi-ketebalan-maksimum dari ujung awal akan menyebabkan aliran secara dominan mengalami kenaikan kecepatan sepanjang permukaan airfoil tersebut yang berarti pula bahwa tekanan rata-rata sepanjang permukaannya semakin kecil, seandainya hal ini terjadi pada permukaan atas airfoil maka akan menyebabkan semakin besarnya gaya angkat yang dihasilkan.

Aliran udara di dalam saluran selain mengalami penurunan dan peningkatan tekanan karena pengecilan dan pembesaran penampang juga mengalami gesekan dengan permukaan/dinding saluran. Gesekan yang terjadi akan mengurangi kecepatan aliran, pengurangan kecepatan terbesar dialami oleh bagian aliran yang paling dekat dengan permukaan. Pada daerah saluran yang mengalami pembesaran penampang, laju aliran selain mengalami penghambatan oleh gesekan dengan dinding juga mengalami penghambatan oleh tekanan yang semakin membesar seiring dengan bertambah besarnya penampang. Karena penghambatan-penghambatan ini maka pada suatu lokasi tertentu dapat terjadi peristiwa berhenti dan berbalik arahnya bagian aliran fluida yang dekat dengan permukaan, peristiwa ini diberi istilah sebagai peristiwa separasi yaitu berpisahnya lapis batas dari permukaan yang dilewatinya.



Gambar 7. Perbandingan variasi kecepatan dan momentum sepanjang arah vertikal antara aliran laminar dan turbulen

Selain karena sebab di atas, turbulen atau laminernya jenis aliran yang mengalir melalui suatu airfoil akan mempengaruhi lokasi terjadinya separasi.

Semakin turbulen suatu aliran maka semakin besar pula momentumnya sehingga lebih mampu mengatasi hambatan karena gesekan dengan dinding dan peningkatan tekanan sehingga akan menyebabkan bergesernya lokasi separasi semakin ke belakang.

Angka Reynold

Turbulen atau laminernya suatu aliran yang melewati geometri airfoil sangat penting untuk diketahui, variabel yang digunakan untuk memprediksi kondisi ini adalah angka Reynold:

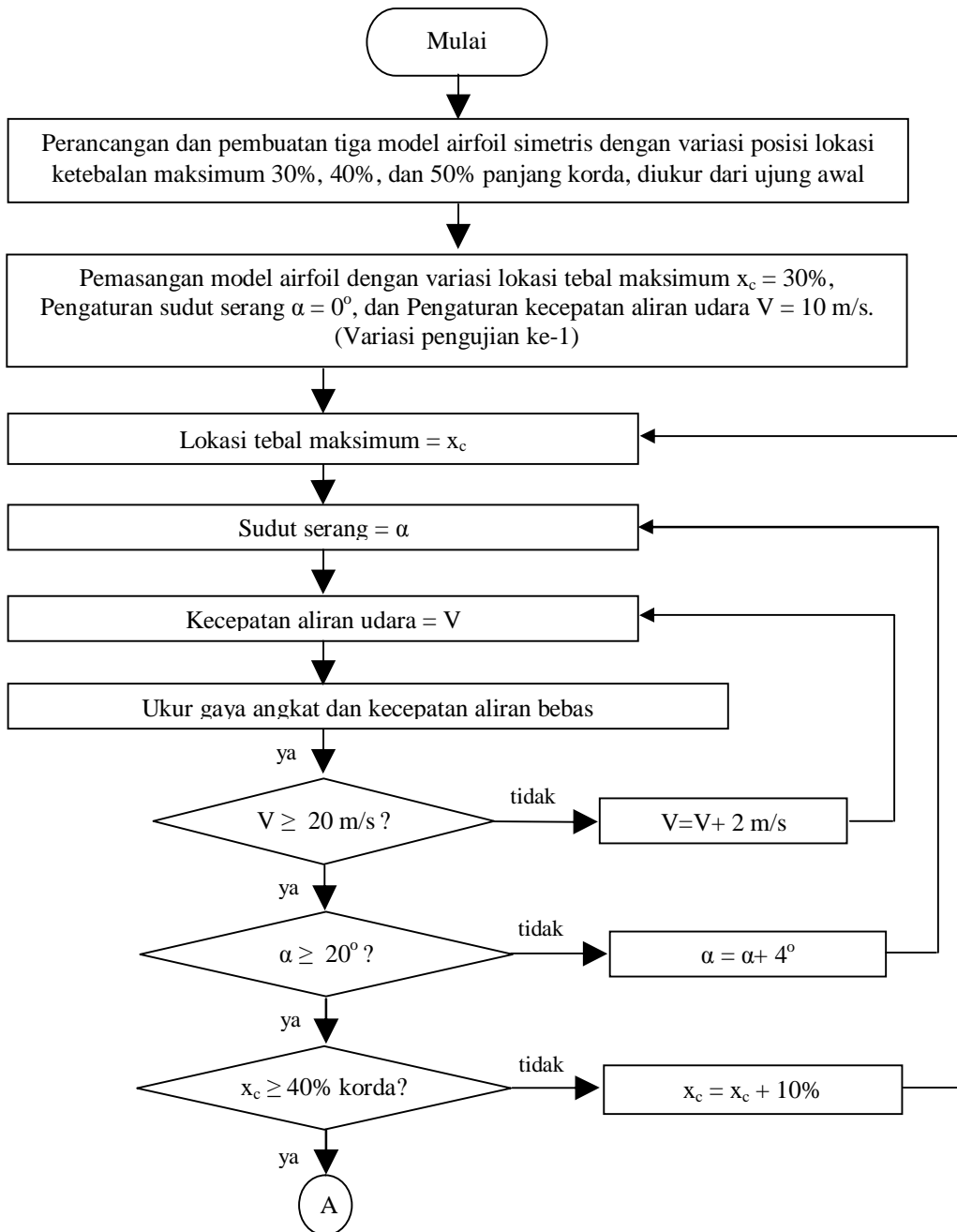
$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot V \cdot x}{\mu} \quad (3)$$

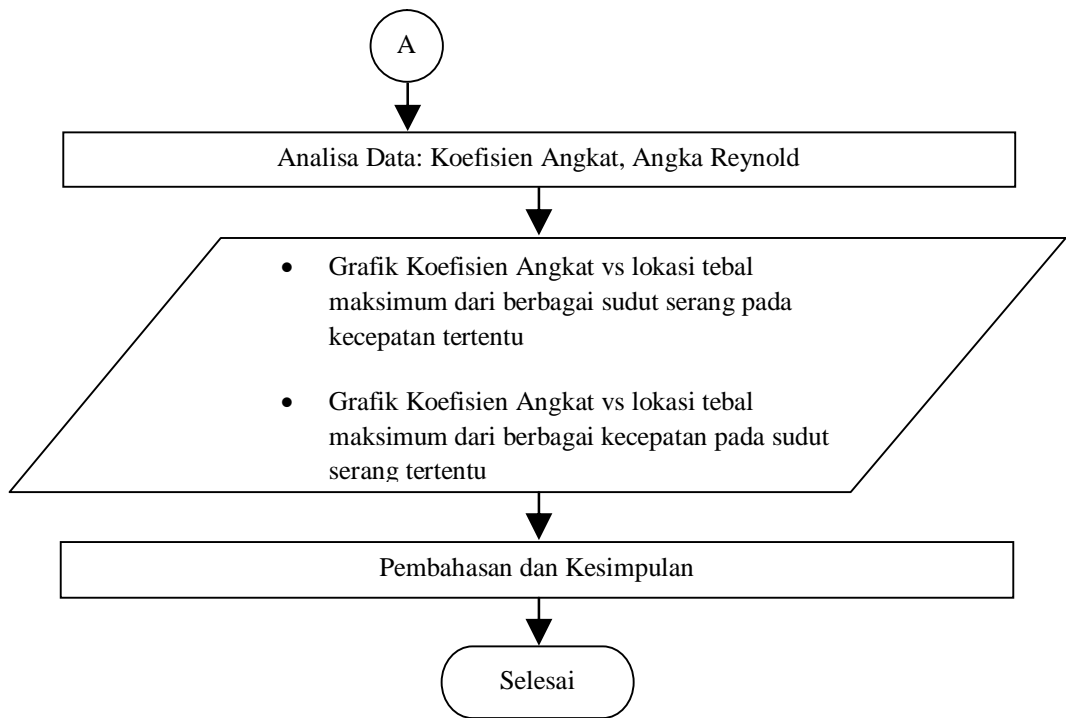
Dimana ρ adalah massa jenis fluida, μ adalah viskositas fluida, V adalah kecepatan aliran, dan x adalah panjang karakteristik geometri yang dilewati oleh aliran.

Besarnya kisaran angka Reynold untuk aliran laminar dan turbulen sangat tergantung jenis geometri yang dilalui.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan eksperimen di laboratorium dengan alur penelitian sebagai berikut:

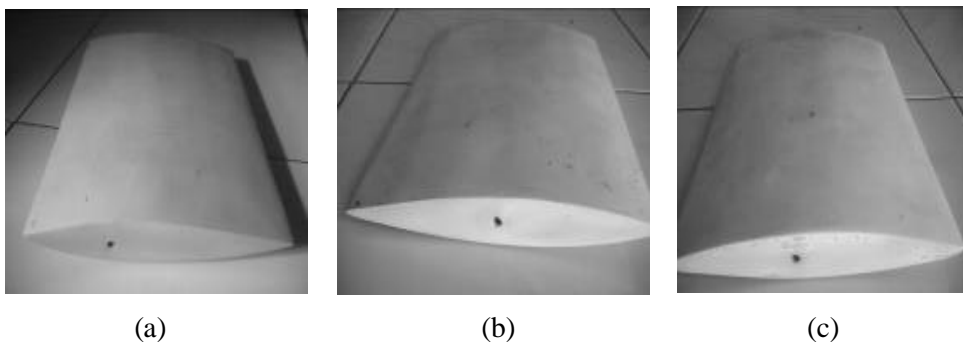




Gambar 8. Diagram Alir Jalannya Penelitian

Model Airfoil yang Digunakan

Model airfoil yang digunakan terbuat dari resin dengan panjang korda 165 mm, tebal maksimum 19 mm, dan panjang span 215 mm.



Gambar 9. Model Airfoil yang diuji; (a) 30%, (b) 40%, (c) 50% Panjang Korda

Terowongan Angin Subsonik (*Subsonic wind tunnel*)

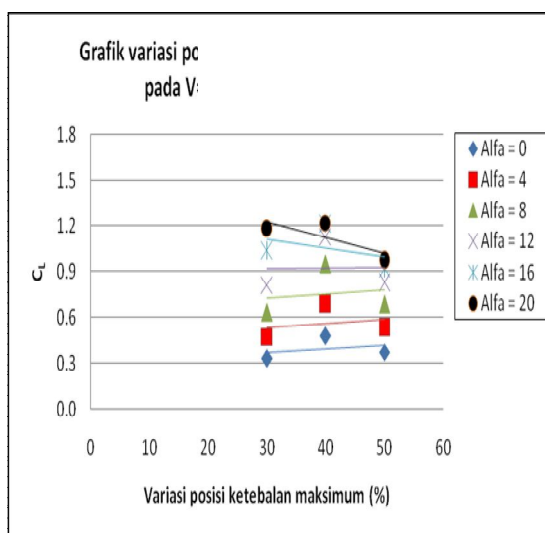
Pengujian terhadap ketiga model airfoil dilakukan pada terowongan angin sub-sonik dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Terowongan Angin

Spesifikasi Terowongan Angin	
Tegangan motor listrik	240 V/50 Hz
Daya motor listrik	1,50 kW
Panjang keseluruhan	2,98 m
Lebar keseluruhan	0,80 m
Tinggi seksi uji	1,83 m
Dimensi seksi uji	300 x 450 mm
Kecepatan udara maksimum	30 m/s
Specific gravity cairan manometer	0,787

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian disajikan dalam grafik di gambar dan gambar



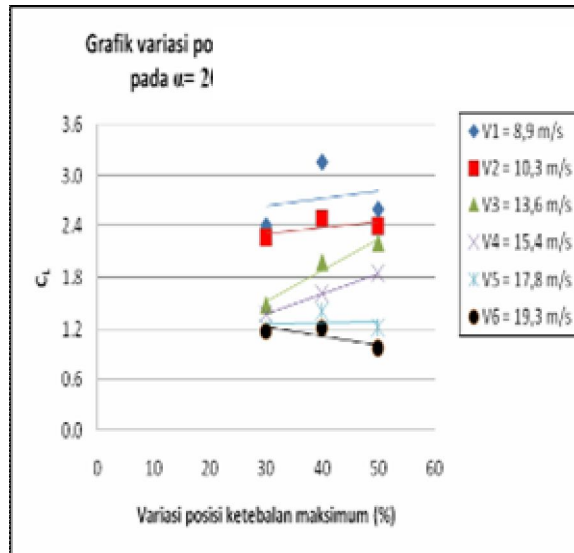
Gambar 10. Grafik Variasi Koefisien Angkat (C_L) Terhadap Posisi Ketebalan Maksimum dari Berbagai Sudut Serang pada Kecepatan Aliran Bebas 19,3 m/s

Pada grafik terlihat bahwa pada kecepatan yang sama, ternyata harga C_L semakin besar seiring dengan semakin besarnya sudut serang. Hal itu terjadi karena seiring dengan bertambahnya sudut serang maka posisi titik stagnasi bergeser dari ujung awal ke bagian permukaan bawah airfoil, hal ini menyebabkan semakin tingginya tekanan udara di permukaan bawah airfoil. Selain itu karena pemisahan

aliran fluida terjadi di permukaan bawah airfoil maka fluida yang seharusnya mengalir di permukaan atas airfoil harus menempuh jarak yang lebih jauh pada rentang waktu yang sama, akibatnya aliran fluida di atas airfoil mengalami kenaikan kecepatan dan penurunan tekanan dengan adanya kenaikan sudut serang tersebut. Adanya dua faktor ini menyebabkan beda tekanan antara permukaan atas dan bawah airfoil menjadi semakin besar dimana tekanan udara di permukaan atas lebih rendah dari tekanan udara di permukaan bawah airfoil sehingga sebagai akibatnya adalah semakin besarnya gaya angkat yang dihasilkan. Hal ini akan terjadi terus seiring dengan semakin besarnya sudut serang hingga pada suatu saat terjadi *stall* dimana karena posisi airfoil menyebabkan beda tekanan yang terjadi cenderung dominan ke arah horisontal sehingga gaya angkat berkurang dan gaya hambat bertambah.

Airfoil dengan lokasi ketebalan maksimum 30% panjang-korda memiliki koefisien angkat (C_L) lebih kecil daripada airfoil dengan 50% panjang-korda jika dibandingkan pada sudut serang yang kecil (sampai dengan 12°), hal yang bertolak belakang terjadi pada sudut serang yang besar (16° dan 20°). Hal ini terjadi karena pada sudut serang yang lebih kecil (sampai dengan 12°), aliran yang melewati airfoil dengan lokasi-ketebalan-maksimum yang lebih dekat dari ujung awal akan mengalami perlambatan dan peningkatan tekanan lebih awal sehingga permukaan atasnya memiliki tekanan rata-rata yang lebih tinggi daripada tekanan rata-rata permukaan airfoil dengan lokasi-ketebalan-maksimum yang terletak lebih jauh dari ujung awal. Pada sudut serang yang lebih besar (16° dan 20°), aliran yang melewati permukaan atas airfoil mengalami peningkatan kecepatan sehingga airfoil dengan lokasi-ketebalan-maksimum yang lebih jauh dari ujung awal mengalami peningkatan kecepatan namun di sisi lain rugi-rugi akibat gesekan dengan permukaan juga menjadi semakin dominan sehingga menyebabkan tekanan rata-ratanya lebih tinggi daripada tekanan rata-rata permukaan airfoil dengan lokasi-ketebalan-maksimum yang terletak lebih dekat dari ujung awal.

Pada grafik yang sama terlihat bahwa airfoil dengan lokasi-ketebalan-maksimum 40% panjang-korda selalu memiliki harga Koefisien angkat (C_L) tertinggi pada berbagai sudut serang. Hal ini disebabkan karena di permukaan atas airfoil dengan lokasi-ketebalan-maksimum 40% ini terjadi perpaduan antara peningkatan kecepatan aliran yang besar dan rugi-rugi gesekan dinding yang kecil sehingga menyebabkan lebih rendahnya tekanan rata-rata di permukaan atas airfoil dan kemudian berakibat pada dihasilkan gaya angkat dan koefisien angkat terbesar.



Gambar 11. Grafik Variasi Koefisien Angkat (C_L) terhadap Posisi Ketebalan Maksimum dari Berbagai Kecepatan pada Sudut Serang 20°

Pada gambar terlihat bahwa pada sudut serang yang sama, ternyata harga C_L semakin turun seiring dengan semakin bertambahnya kecepatan aliran bebas. Hal ini terjadi karena seiring dengan bertambahnya kecepatan maka semakin besar pula rugi-rugi gesekan antara aliran dengan permukaan sehingga meskipun gaya angkat yang dihasilkan semakin besar namun tidak sebanding dengan kenaikan tekanan dinamis yang terjadi akibat penambahan kecepatan.

Pada grafik juga terlihat bahwa airfoil dengan lokasi-ketebalan-maksimum pada 40% panjang korda, penjelasan tentang hal ini sama dengan penjelasan tentang kecenderungan yang sama pada grafik sebelumnya. Pada kisaran kecepatan aliran bebas antara 8,9 m/s sampai dengan 17,8 m/s terlihat kecenderungan bahwa seiring dengan semakin jauhnya lokasi-ketebalan-maksimum dari ujung awal ternyata koefisien angkatnya juga semakin besar. Hal ini terjadi karena pada permukaan atas airfoil, seiring dengan semakin jauh lokasi-ketebalan-maksimum dari ujung awal maka semakin besar pula peningkatan kecepatan aliran udara sehingga menyebabkan tekanan rata-ratanya menjadi lebih kecil dan akibatnya koefisien angkat airfoil menjadi lebih besar. Pada kecepatan aliran bebas sebesar 19,3 m/s terlihat kecenderungan yang bertolak belakang dari kecenderungan yang terjadi pada kecepatan-kecepatan di bawahnya. Hal ini terjadi karena pada kecepatan yang lebih tinggi tersebut peningkatan kecepatan yang terjadi pada airfoil dengan lokasi-ketebalan-maksimum yang lebih jauh diiringi dengan semakin besarnya rugi-rugi akibat gesekan dengan permukaan sehingga menyebabkan tekanan rata-ratanya permukaan atasnya menjadi lebih tinggi daripada tekanan rata-rata pada permukaan atas airfoil dengan lokasi-ketebalan-maksimum yang lebih dekat dengan ujung awal.

KESIMPULAN

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kecepatan yang lebih rendah dan sudut serang yang lebih kecil ternyata semakin jauh lokasi-ketebalan-maksimum dari ujung awal akan menyebabkan semakin tingginya harga koefisien angkat airfoil simetris
2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja airfoil tertinggi dengan koefisien angkat sebesar 3,16 dicapai oleh airfoil dengan lokasi ketebalan maksimum pada 40% panjang kordanya (diukur dari ujung awal) dengan sudut serang 20° dan kecepatan aliran bebas sebesar 8,9 m/s.

DAFTAR PUSTAKA

- Dugdale, R.H, 1981, "*Fluid Mechanics*", 3rd edition George Godwin.
- Fox, Robert W., A.T. McDonald, "Introduction to Fluid Mechanic", 4th edition, John Wiley & Sons, 1994.
- Franzini, JB, 1997, "*Fluid Mechanics with engineering Application*", 9th edition, McGraw Hill.
- Streeter, VL, 1998, "*Fluid Mechanics*", 9th edition, McGraw Hill.
- White, F.M, "*Fluid Mechanics*", 2nd edition.