

# ANALISIS PENGARUH SUDUT SERANG TERHADAP SUDU AIRFOIL NACA 4412 PADA TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL MENGGUNAKAN SIMULASI CFD SOLIDWORKS

Iwan Setyawan<sup>\*1</sup>, Aldi Eko Purwanto<sup>1</sup>, Adi Winarta<sup>2</sup>

<sup>1</sup>)Program Studi Teknik Mesin, Universitas Gunadarma

<sup>2</sup>)Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali

\*Email: iwan\_s@staff.gunadarma.ac.id

## ABSTRAK

Diantara sumber energi terbarukan, tenaga angin telah menjadi sumber energi utama secara global karena perkembangan teknologi yang cepat dan tersedianya turbin angin dalam berbagai ukuran yang mencakup hampir semua jenis aplikasi mulai dari rumah hingga utilitas besar yang terhubung ke jaringan listrik. Dalam usaha meningkatkan efisiensi turbin angin, sangat penting secara cermat memilih airfoil yang paling cocok untuk sudunya. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh sudut serang terhadap sudu airfoil NACA 4412 pada turbin angin sumbu horizontal. Pada penelitian ini digunakan Flow Simulation/CFD pada software Solidworks dengan memvariasikan sudut serang  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$  dan  $20^{\circ}$ . Dimana kecepatan angin juga divariasikan 4m/s, 5m/s dan 6m/s untuk mendapatkan gaya lift besar serta sudut serang yang tepat, Dari hasil penelitian, didapatkan hasil yang sesuai dengan *NACA Report No. 563* yaitu sudut kritis terjadi pada  $15^{\circ}$  dimana akan terjadi stall jika sudut serang terus dinaikkan.

Kata Kunci: Airfoil, NACA 4412, sudu, sudut serang, turbin angin

## 1. Pendahuluan

Sumber energi terbarukan saat ini meliputi angin, tenaga surya fotovoltaik, tenaga surya termal, panas bumi, tenaga air besar dan kecil, biomassa, dan limbah kota, dan masih banyak lagi. Di antara sumber energi ini, tenaga angin telah menjadi sumber energi utama secara global karena perkembangan teknologi yang cepat dan tersedianya turbin angin dalam berbagai ukuran yang mencakup hampir semua jenis aplikasi mulai dari rumah hingga utilitas besar yang terhubung ke jaringan listrik (1).

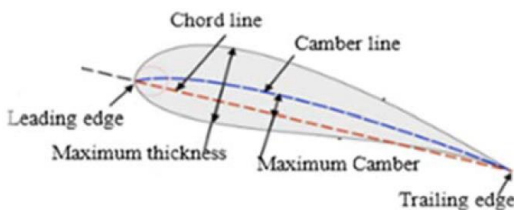
Turbin angin secara umum dibagi menjadi dua kelompok besar yakni: turbin

sumbu vertikal dan turbin sumbu horizontal. Setiap jenis memiliki kelebihan dan kekurangan yang unik. Turbin Angin Sumbu vertikal terkenal dengan desainnya yang sederhana, sehingga memudahkan pemasangan dan pemeliharaan komponen powertrain termasuk girboks, rem, dan generator. Penempatan komponen tersebut dapat ditempatkan di bawah turbin (2). Sementara itu, Turbin angin sumbu horizontal efisiensinya lebih baik dibandingkan yang menggunakan sumbu vertical (3).

Untuk meningkatkan efisiensi turbin angin, sangat penting untuk secara cermat memilih airfoil yang paling cocok untuk sudunya. Terdapat berbagai macam model airfoil

untuk bentuk dasar sudu turbin angin. Salah satunya adalah airfoil adalah jenis NACA 4412(4).

Airfoil NACA adalah profil geometris standar yang dibuat oleh NACA yang berfungsi sebagai patokan dalam desain airfoil. Integrasi konfigurasi airfoil NACA pada turbin angin bertujuan untuk memaksimalkan efisiensi gaya angkat (5). Gambar 1 menunjukkan tata nama airfoil. Garis akord menghubungkan ujung depan dan ujung belakang airfoil dengan garis lurus. Garis camber adalah garis tengah geometris (6).



**Gambar 1.** Airfoil nomenclature(6)

NACA telah menerapkan sistem pengkodean yang seragam untuk menunjuk dan membedakan model airfoil di beberapa seri. Diantaranya digunakan pada seri 1 digit, 2-digit, 4 digit, dan 5 digit. Model airfoil untuk kode NACA 4412 dipilih berdasarkan kriteria sebagaimana berikut:

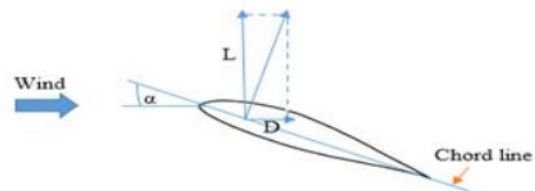
1. Dua digit angka di awal (angka pertama) merupakan maksimum chamber di chord line. Angka ini dalam seperseratus chord
2. Angka berikutnya (angka kedua) menunjukkan posisi maksimum chamber yang dibuat sepersepuluh chord dari leading edge.
3. Angka terakhir (Dua digit) merupakan nilai maksimum thickness. Angka ini juga dibuat dalam seperseratus chord.

Sehingga berdasarkan kriteria diatas *airfoil* NACA 4412 mempunyai *chamber* maksimum yakni 0.04c. Letaknya 0.4c dari *leading edge*. Tebal (*thickness*) maksimum sebesar 0.12c. Angka-angka ini pada

prakteknya dinyatakan sebagai persentase tali busur. Dengan rincian yaitu: *chamber* 4% di 40% c dengan *thickness* 12% (5, 6).

### Koefisien *Lift* dan *Drag* ( $C_L$ and $C_D$ )

Plot koefisien gaya angkat dan gaya hambat pada setiap airfoil menyediakan sarana untuk mengukur karakteristik aerodinamisnya. Plot ini sangat berguna dalam memutuskan apakah suatu airfoil tertentu sesuai untuk area aplikasi tertentu(7).



**Gambar 2.** Demonstrasi gaya angkat dan gaya hambat

Dua gaya yang bekerja pada airfoil akibat aliran udara yg bergerak. Gaya tersebut dinamakan gaya angkat dan gaya hambat. Angin yang masuk menghantam bilah dan melewati airfoil. Karena bentuk airfoil, kecepatan angin permukaan atas berbeda dari permukaan bawah. Kecepatan angin permukaan atas lebih cepat daripada permukaan bawah. Perbedaan ini menciptakan tekanan dan tekanan berbanding terbalik dengan kecepatan. Karena gaya adalah hasil kali tekanan dan luas, tekanan menciptakan gaya. Gaya angkat (L) adalah gaya yang ingin dicapai dan arahnya tegak lurus terhadap aliran angin. Gaya hambat (D) merupakan gaya parasit dan arahnya sejajar dengan aliran angin. Daya keluaran turbin angin dihitung dari gaya tangensial; dan konsekuensi gaya angkat dan gaya hambat. Gaya angkat dan gaya hambat ditunjukkan pada Gambar 2(6).

Rumus untuk mengkalkulasi koefisien *Lift* dan koefisien *Drag* adalah (8):

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho v^2 A} \quad (1)$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho v^2 A} \quad (2)$$

Dimana:

$C_L$  : Koefisien *Lift*

L : Gaya Angkat (N)

$C_D$  : Koefisien *Drag*

D : Gaya Hambatan (N)

$\rho$  : *Density* Udara (kg/m<sup>3</sup>)

v : Kecepatan Angin (m/s<sup>2</sup>)

A : Luas Permukaan Terkena Angin (m<sup>2</sup>)

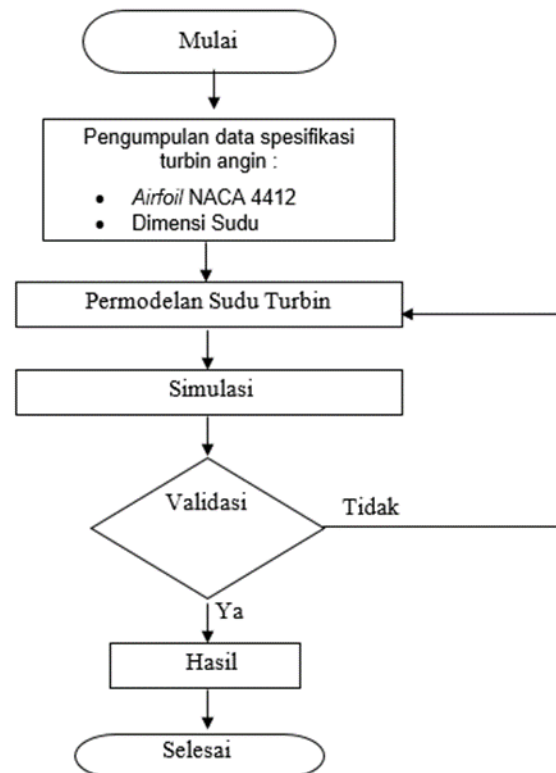
Ravi et al.(9) memperkirakan secara numerik model transisi aliran laminar tak termampatkan ke aliran turbulen di atas airfoil NACA 4412 pada bilangan Reynolds sebesar  $3,0 \times 10^6$ . Koefisien gaya angkat dan gaya hambat yang diperoleh dari penelitian ini, menggunakan model turbulensi Spalart-Allmaras dan Shear Stress Transport (SST). Hasil yang didapat dibandingkan dengan data eksperimen dan menyimpulkan bahwa model turbulen SST memiliki hasil yang lebih baik di wilayah pra-macet dan pasca-macet pada model komputasi. Eleni et al. (10) juga melakukan penelitian tentang variasi koefisien gaya angkat dan gaya hambat dari aliran di sekitar airfoil NACA 0012 pada bilangan Reynolds sebesar  $3,0 \times 10^6$  untuk berbagai model turbulensi viskos seperti Spalart-Allmaras, k- $\epsilon$  yang dapat direalisasikan, dan model SST. Rizianiza et al.(11) menguji turbin angin horizontal tiga blade dengan memvariasikan sudut serang  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$  dan  $25^\circ$ . Pengujian dilakukan pada kecepatan angin 3,8 m/s, 4,3 m/s dan 5,8 m/s. Hasil uji memperlihatkan daya listrik terbesar dihasilkan untuk turbin angin sumbu horizontal yang memiliki sudut serang  $25^\circ$  pada kecepatan angin 5,8 m/s.

Berdasarkan beberapa penelitian yang sudah dilakukan diatas, maka tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh

sudut serang pada turbin angin sumbu horizontal dengan sudut  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$  dengan memvariasikan kecepatan angin 4m/s, 5m/s dan 6m/s. Dimana pada penelitian ini menggunakan metode Flow Simulation/CFD pada software Solidworks.

## 2. Metodologi Penelitian

Alur penelitian dimulai dengan persiapan awal dilanjutkan dengan proses simulasi dan validasi secara garis besar ditunjukkan pada *Flowchart* berikut pada Gambar 3



Gambar 3. Diagram alir penelitian

### Pengumpulan Data Spesifikasi Turbin Angin

Data dari berbagai referensi dikumpulkan kemudian ditentukan desain dari sudu turbin angin horizontal ini.

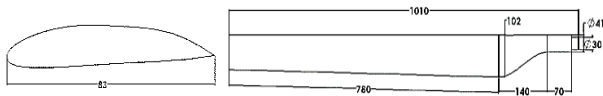
**Airfoil NACA 4412**



**Gambar 4** Airfoil NACA 4412(6)

**Dimensi Sudu**

Pada dimensi sudu dapat dilihat pada gambar 3.3, satuan pada dimensi sudu yaitu milimeter (mm).



**Gambar 5.** Dimensi Sudu Turbin

Penelitian ini menggunakan metode simulasi yang secara umum memiliki tahapan sebagaimana berikut:

1. Identifikasi object simulasi
  - a. Mengidentifikasi *variable output* dari model yang diuji.
  - b. Menentukan *domain* dari model turbin angin meliputi *computational domain*, *boundary condition* dan *physical models*.
2. *Pre-processing*
  - a. Mendesain gambar model sudu turbin angin sesuai dengan objek yang akan diuji.
  - b. Menentukan volume kontrol pada model sudu turbin.
  - c. Melakukan meshing dan grid pada model sudu yang dibuat.
  - d. Evaluasi mesh dan grid untuk mendapatkan waktu komputasi dan akurasi yang optimum.
  - e. Menentukan *boundary condition* sesuai dengan kebutuhan *variable output* uji simulasi tersebut.
3. *Solver Execution*

- a. Menentukan model numerik yang digunakan.
- b. Melakukan proses perhitungan untuk solusi komputasi.
- c. Memonitor proses residual hasil komputasi.
4. *Post-Processing*  
Melakukan validasi hasil simulasi dari *Solidworks 2019 Flow Simulation*.

**Assembly Design**

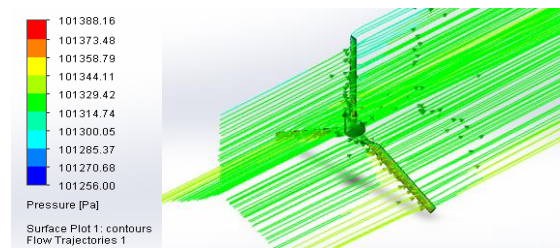
*Assembly design* yaitu proses menyatukan semua *part* yang sudah dibuat dalam 3D model menjadi satu komponen dan pada sudu – sudu terdapat 3 *blade* yang perlu disatukan untuk menjadi komponen sudu turbin angin horizontal dengan memvariasikan kemiringan *blade* 0<sup>0</sup>, 5<sup>0</sup>, 10<sup>0</sup>, 15<sup>0</sup>, dan 20<sup>0</sup>.



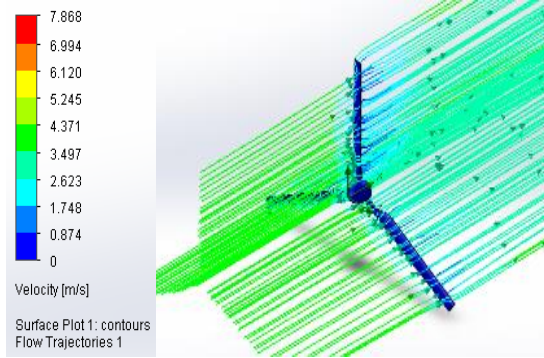
**Gambar 6.** Hasil *Assembly Modeling*

**3. Hasil Dan Pembahasan**

**3.1 Hasil Simulasi dan Perhitungan Manual Dengan Kecepatan Angin 4 m/s**



**Gambar 7.** Tekanan udara pada sudu untuk sudut serang 15<sup>0</sup> - Kecepatan angin 4 m/s



**Gambar 8.** Kecepatan Udara pada sudu untuk sudut serang 15° - Kecepatan angin 4 m/s

Pada Gambar 7 dan 8 diatas, tekanan di permukaan sudu turbin mendapatkan nilai 101373,48 Pa karena sudu turbin hanya terbuka disudut 15° dan disudut ini tekanan pada *airfoil* mencapai nilai tertinggi. Kecepatan angin yang didapat ialah 0,874 m/s ini turun drastis dari kecepatan awal 4 m/s dikarenakan *airfoil* hanya terbuka 15°.

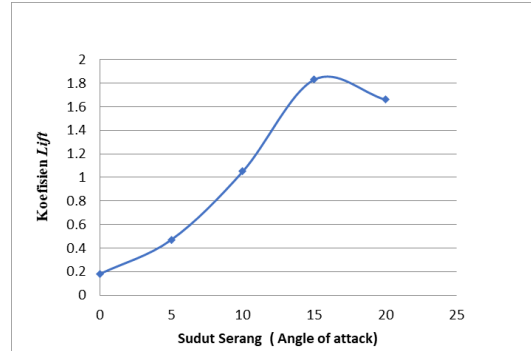
**Tabel 1.** Hasil Simulasi Kecepatan Angin 4 m/s

Deg <sup>0</sup>	Tekanan Airfoil (Pa)	Kecepatan Angin (m/s)	Gaya Lift (N)	Gaya Drag (N)
0	101345,86	0,797	0,34	0,32
5	101344,11	0,961	0,85	0,35
10	101329,42	0,737	1,9	0,6
15	101373,48	0,874	3,3	1,2
20	101344,09	0,818	3	1,8

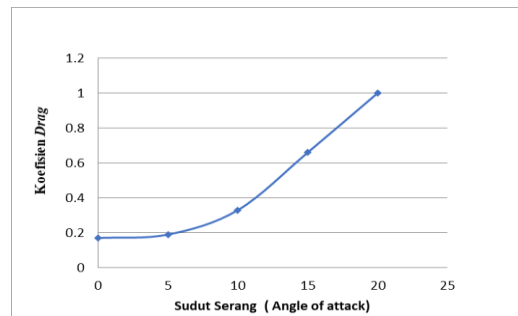
Pada hasil simulasi dengan kecepatan angin 4 m/s didapat hasil tekanan udara dipermukaan sudu, kecepatan angin terkena sudu, gaya lift, dan gaya drag. Hasil ini digunakan untuk perhitungan manual agar mendapatkan hasil koefisien lift dan koefisien drag.

**Tabel 2.** Hasil Perhitungan Kecepatan Angin 4 m/s

Deg (°)	Koefisien Lift	Koefisien Drag
0	0,37	0,34
5	0,94	0,38
10	2,1	0,66
15	3,66	1,33
20	3,33	1,99



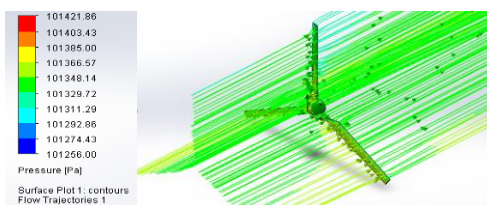
**Gambar 9.** Grafik Koefisien Lift Kecepatan Angin 4 m/s



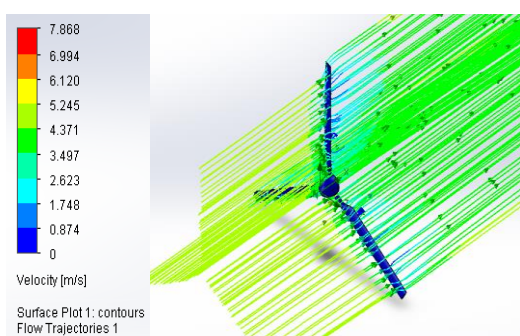
**Gambar 10.** Grafik Koefisien Drag Kecepatan Angin 4 m/s

Pada gambar 9 dan 10 grafik diatas didapatkan dari hasil perhitungan manual mencari nilai koefisien lift dan drag. Dapat dijelaskan pada grafik koefisien lift dari sudut 0° sampai 15° mengalami kenaikan nilai koefisien lift dikarenakan sudu turbin angin mencapai titik maksimal gaya angkat berada disudut 15° dan pada disudut 20° mengalami penurunan. Berbeda pada koefisien drag dari awal sampai akhir mengalami kenaikan tetapi nilainya tidak setinggi koefisien lift.

### 3.2 Hasil Simulasi dan Perhitungan Manual Dengan Kecepatan Angin 5 m/s



**Gambar 11.** Tekanan udara pada sudu untuk sudut serang 15<sup>0</sup> - Kecepatan angin 5 m/s



**Gambar 12.** Kecepatan Udara pada sudu untuk sudut serang 15<sup>0</sup> - Kecepatan angin 5 m/s

Sudut serang 15° adalah sudut kritis /sudut *stall* pada sudut ini merupakan batas maksimum gaya angkat/ *lift* yang terjadi pada *airfoil*. Kecepatan udara yang awalnya 5 m/s turun menjadi 1,748 m/s setelah membentur sudu turbin.

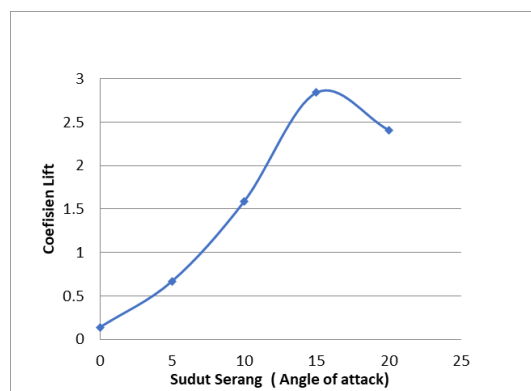
**Tabel 3.** Hasil Simulasi Kecepatan Angin 5 m/s

Deg <sup>0</sup>	Tekanan Airfoil (Pa)	Kecepatan Angin (m/s)	Gaya Lift (N)	Gaya Drag (N)
0	101373,59	0,740	0,4	0,75
5	101354,26	0,741	1,9	0,9
10	101343,81	0,737	4,5	1,6
15	101348,14	1,748	8	4
20	101353,19	0,818	6,8	2,5

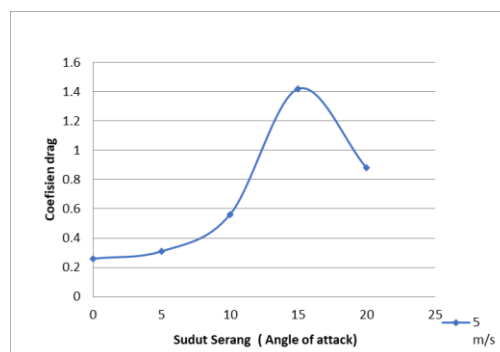
Pada hasil simulasi dengan kecepatan angin 5 m/s didapat hasil tekanan udara dipermukaan sudu, kecepatan angin terkena sudu, gaya *lift*, dan gaya *drag*. Hasil ini digunakan untuk perhitungan manual agar mendapatkan hasil koefisien *lift* dan koefisien *drag*.

**Tabel 4.** Hasil Perhitungan Kecepatan Angin 5 m/s

Deg <sup>0</sup>	Koefisien Lift	Koefisien Drag
0	0,44	0,83
5	2,1	0,99
10	4,99	1,77
15	8,88	4,44
20	7,54	2,77



**Gambar 13.** Grafik Koefisien Lift Kecepatan Angin 5 m/s.

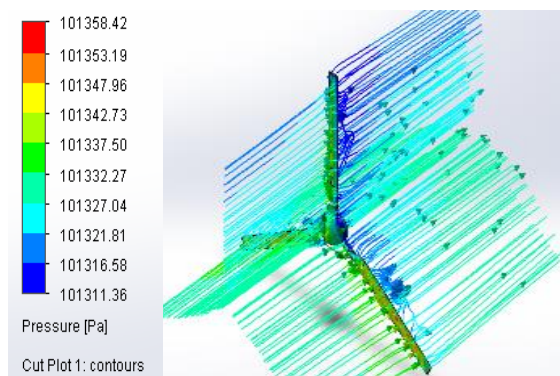


**Gambar 14.** Grafik Koefisien Drag Kecepatan Angin 5 m/s

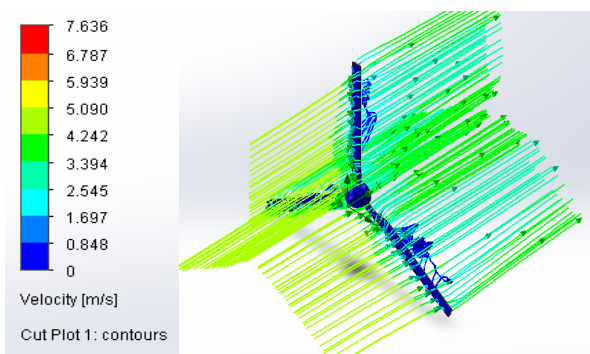


Pada gambar 13 dan 14 grafik diatas didapatkan dari hasil perhitungan manual mencari nilai koefisien *lift* dan *drag*. Dapat dijelaskan pada grafik koefisien *lift* dari sudut 0<sup>0</sup> sampai 15<sup>0</sup> mengalami kenaikan nilai koefisien *lift* dikarenakan sudu turbin angin mencapai titik maksimal gaya angkat berada disudut 15<sup>0</sup> dan pada disudut 20<sup>0</sup> mengalami penurunan. Berbeda pada koefisien *drag* dari awal sampai akhir mengalami kenaikan tetapi nilainya tidak setinggi koefisien *lift*.

### 3.3 Hasil Simulasi dan Perhitungan Manual Dengan Kecepatan Angin 6 m/s.



**Gambar 15.** Tekanan udara pada sudu untuk sudut serang 15<sup>0</sup> Dengan Kecepatan angin 6 m/s.



**Gambar 16.** Kecepatan udara pada sudu untuk sudut serang 15<sup>0</sup> - Kecepatan angin 6 m/s

Tekanan maksimum terhadap airfoil pada sudut serang 15<sup>0</sup> terjadi pada bagian tepi depan, laju kecepatan udara menurun drastis dari 6 m/s menjadi 0,848 m/s setelah membentur sudu turbin.

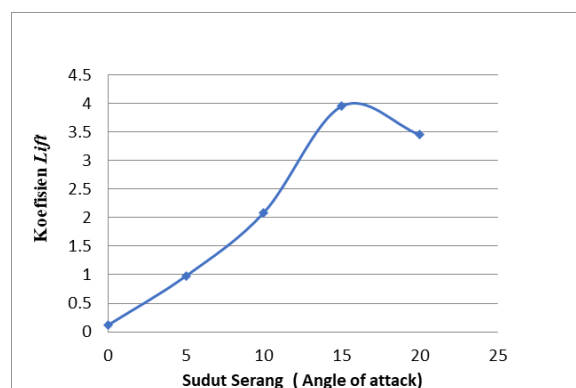
**Tabel 5.** Hasil Simulasi Kecepatan Angin 6 m/s

Deg	Tekanan Airfoil (Pa)	Kecepatan Angin (m/s)	Gaya Lift (N)	Gaya Drag (N)
0	101342,73	0,848	0,49	1,6
5	101344,11	0,961	4	2
10	101329,43	1,115	8,5	3,1
15	101358,79	0,874	16	8
20	101329,41	0,818	14	5,2

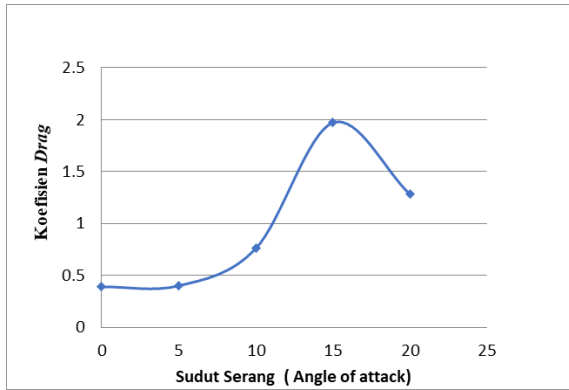
Hasil ini digunakan untuk perhitungan manual agar mendapatkan hasil koefisien *lift* dan koefisien *drag*.

**Tabel 6.** Hasil Perhitungan Kecepatan 6 m/s

Deg	Koefisien Lift	Koefisien Drag
0	0,54	1,77
5	4,44	2,22
10	9,43	3,44
15	17,7	8,88
20	15,5	5,77



**Gambar 17** Grafik Koefisien *Lift*

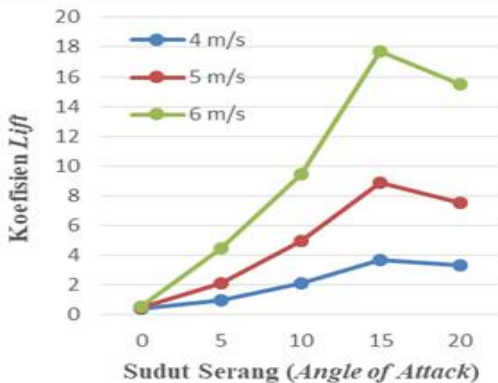


Gambar 18 Grafik Koefisien Drag

Pada gambar 17 dan 18 grafik diatas didapatkan dari hasil perhitungan manual mencari nilai koefisien lift dan drag. Dapat dijelaskan pada grafik koefisien lift dari sudut 0° sampai 15° mengalami kenaikan nilai koefisien lift dikarenakan sudu turbin angin mencapai titik maksimal gaya angkat berada disudut 15° dan pada disudut 20° mengalami penurunan. Berbeda pada koefisien drag dari awal sampai akhir mengalami kenaikan tetapi nilainya tidak setinggi koefisien lift.

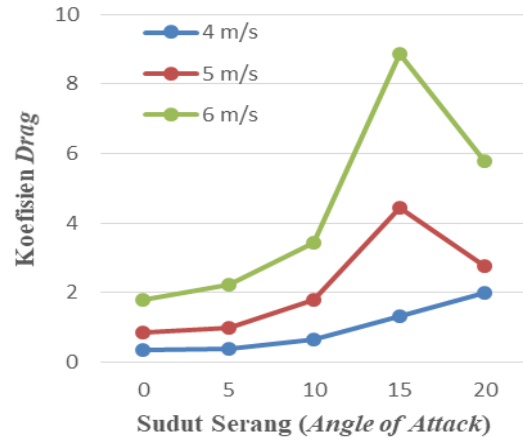
### 3.4. Validasi

Koefisien Lift dan Drag merupakan variabel penting untuk mengevaluasi kinerja airfoil yang dianalisis. Sifat aerodinamis suatu airfoil dapat digunakan untuk memperkirakan sudut optimal atau krusialnya.



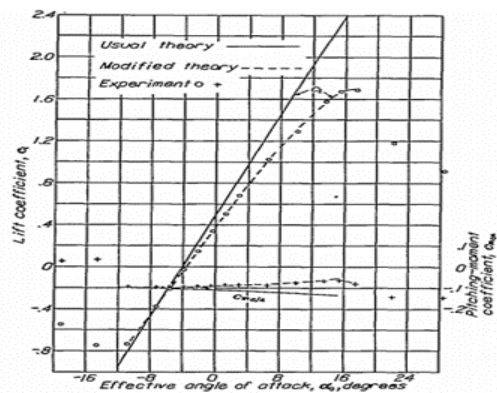
Gambar 19. Grafik Koefisien Lift

Pada gambar 19. Terlihat hasil simulasi dan perhitungan manual yang sudah dilakukan didapatkan hasil koefisien lift. Dapat ditarik kesimpulan untuk kecepatan angin 4 m/s, 5 m/s, dan 6 m/s sudut 0° sampai 15° nilai koefisien lift meningkat. Pada sudut 15° bisa disebut sudut kritis karena mendapatkan nilai koefisien lift tertinggi dan pada sudut 20° nilai koefisien lift kembali menurun.



Gambar 20. Grafik Koefisien Drag

Pada gambar 20. Ditampilkan hasil perhitungan manual dengan kecepatan angin 4 m/s, 5 m/s, dan 6 m/s sudut 0° sampai 15° nilai koefisien drag meningkat mengikuti nilai koefisien lift tetapi nilai drag tidak bisa melebihi nilai lift. Sehingga sudu turbin dapat berputar dengan maksimal disudut 15°.



Gambar 21. Koefisien Lift NACA Report No.563<sup>[5]</sup>



Selanjutnya pada gambar 21. menunjukkan bahwa sudut kritis *airfoil* berdasarkan NACA *Report* No. 563 yaitu pada sudut serang  $15^{\circ}$ , setelah melewati sudut ini gaya angkat semakin berkurang.

#### 4. Kesimpulan

Berikut ini adalah kesimpulan berdasarkan hasil simulasi CFD solidworks yang dilakukan terhadap sudu *airfoil* NACA 4412. Dimana sudu *airfoil* ini diaplikasikan pada turbin turbin angin horizontal. Dalam penelitian ini, dilakukan dengan memvariasikan sudut serang  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$  dan  $20^{\circ}$  dengan variasi kecepatan angin 4 m/s, 5 m/s, dan 6 m/s:

- 1) Hasil perhitungan untuk kecepatan angin 4 m/s sudut serang  $0^{\circ}$  didapatkan nilai koefisien *lift* dan *drag* sebesar 0,37 dan 0,34. Sudut serang  $5^{\circ}$  sebesar 0,94 dan 0,38. Sudut serang  $10^{\circ}$  sebesar 2,1 dan 0,66. Adapun sudut serang  $15^{\circ}$  sebesar 3,66 dan 1,33, sedangkan sudut serang  $20^{\circ}$  sebesar 3,33 dan 1,99.
- 2) Untuk kecepatan angin 5 m/s sudut serang  $0^{\circ}$  mendapatkan nilai koefisien *lift* dan *drag* sebesar 0,44 dan 0,83. Sudut serang  $5^{\circ}$  sebesar 2,1 dan 0,99. Sudut serang  $10^{\circ}$  sebesar 4,99 dan 1,77. Selanjutnya sudut serang  $15^{\circ}$  sebesar 8,88 dan 4,44 kemudian sudut serang  $20^{\circ}$  sebesar 7,54 dan 2,77.
- 3) Untuk kecepatan angin 6 m/s dengan sudut serang  $0^{\circ}$  mendapatkan nilai koefisien *lift* dan *drag* sebesar 0,54 dan 1,77, sudut serang  $5^{\circ}$  sebesar 4,44 dan 2,22. Sudut serang  $10^{\circ}$  sebesar 9,43 dan 3,44. Kemudian sudut serang  $15^{\circ}$  sebesar 17,7 dan 8,88. Serta sudut serang  $20^{\circ}$  sebesar 15,5 dan 5,77.
- 4) Pada perhitungan manual untuk mendapatkan koefisien *lift* dan *drag* didapatkan hasil yaitu pada sudut serang kritis sebesar  $15^{\circ}$ . Hasil ini dapat

divalidasi berdasarkan NACA *Report* No. 563. Setelah melewati sudut ini gaya angkat semakin berkurang. Sudut serang  $15^{\circ}$  memiliki nilai koefisien *lift* tertinggi dari variasi kecepatan 4 m/s, 5 m/s, dan 6 m/s.

#### Daftar Pustaka

1. Rehman S, Alam MM, Alhems LM, Rafique MM. Horizontal axis wind turbine blade design methodologies for efficiency enhancement—A review. *Energies*. 2018;11(3):506.
2. Cao H. Aerodynamics analysis of small horizontal axis wind turbine blades by using 2D and 3D CFD modelling: University of central Lancashire; 2011.
3. Ismail I, Arrahman T. Perancangan turbin angin sumbu horizontal tiga sudu dengan kapasitas 3 MW. *Presisi*. 2017;18(2).
4. Wiratama I, Okariawan I, Yudhiadi I, Mara I, Juliansah A. Analisis pengaruh profil sudu dan jumlah sudu terhadap unjuk kerja turbin angin poros horizontal pada daerah kecepatan angin rendah. *Jurnal Dinamika Teknik Mesin*. 2019;9(1):71.
5. Coles D, Wadcock AJ. Flying-hot-wire study of flow past an NACA 4412 airfoil at maximum lift. *AIAA Journal*. 1979;17(4):321-9.
6. Aung YYH, Soe MM, Thu AM. Effect of attack angle on aerodynamics analysis of different wind turbine wings using numerical simulation. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*. 2016;26(4):319-29.
7. Petinrin M, Onoja V. Computational study of aerodynamic flow over NACA 4412 airfoil. *British Journal of Applied Science & Technology*. 2017;21(3):1-11.
8. Hossain S, Raiyan MF, Akanda MNU, Jony NH. A comparative flow analysis of

- NACA 6409 and NACA 4412 aerofoil. International Journal of Research in Engineering and Technology. 2014;3(10):342-50.
9. Ravi H, Madhukeshwara N, Kumarappa S. Numerical investigation of flow transition for NACA-4412 airfoil using computational fluid dynamics. International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology. 2013;2(7):2778-85.
  10. Eleni DC, Athanasios TI, Dionissios MP. Evaluation of the turbulence models for the simulation of the flow over a National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) 0012 airfoil. Journal of Mechanical Engineering Research. 2012;4(3):100-11.
  11. Rizianiza I, Setiorini SD, Djafar A, editors. The Effect of The Angle of Attack of the Electric Power Generated on Prototype of the Horizontal Axis Wind Turbine. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; 2019: IOP Publishing.