

ANALISIS DESAIN VERTIKAL WIND TURBIN DENGAN AIR FOIL NACA 0016 MODIFIED MENGGUNAKAN SOFTWARE ANSYS 14.5.

Jehan Rosadi Irawan¹, Nur Aklis²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

Email: jehanrosadi@gmail.com

ABSTRAKS

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performa blade vertikal wind turbin tipe Darrieus-H dengan airfoil naca 0016 modified dengan variasi jumlah sudu dan sudut serang dengan menggunakan software Ansys Moving Reference Frames (MRF), dan mengetahui pengaruh distribusi tekanan, kecepatan, perbandingan koefisien lift (C_L), koefisien drag (C_D) dan untuk mengetahui hasil dari koefisien power (C_p), solidity jumlah sudu pada vertikal turbin angin.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan dimensi geometri dengan airfoil naca 0016 modified, verifikasi jumlah sudu yang disimulasi meliputi sudu 2, 3 dan 4 untuk parameter variasi sudut serang -10^0 , 0^0 , 10^0 , percobaan diawali dengan pembuatan model jumlah sudu dan membuat daerah simulasi dengan panjang 4000 mm, lebar 8000 mm dan lingkaran interface 1920 mm menggunakan SolidWorks, setelah itu meshing menggunakan ukuran dengan minimum spacing 0,005 dan maximum spacing 0,05 m dan proses hasil perhitungan yang dilakukan software Ansys. Ada pun penelitian yang akan dilakukan dengan menggunakan simulasi 2D steady-state solver dengan menggunakan Moving Reference Frames (MRF) pada ansys fluent.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa disetiap sudu dan sudut serang turbin angin vertikal mengalami kecepatan dan tekanan yang berbeda dan menghasilkan gaya yang berbeda, pada desain turbin angin sumbu vertikal tipe Darrieus-H dengan airfoil naca 0016 modified dapat diketahui bawah, dengan bentuk airfoil yang besar membuat kecepatan yang besar pada sisi airfoil, dan menghasilkan tekanan yang besar pada ujung depan airfoil, dapat dipengaruhi pada sudut serang yang akan menimbulkan aliran turbulensi yang sangat besar. Hasil dari desain turbin angin mampu menghasilkan nilai koefisien power pada sudu 2 dengan sudut serang -10^0 sebesar 0,531, 0^0 sebesar 0,555 dan 10^0 sebesar 0,581, untuk sudu 3 dengan sudut serang -10^0 sebesar 0,313, 0^0 sebesar 0,367 dan 10^0 sebesar 0,278, pada sudu 4 dengan sudut serang -10^0 sebesar 0,329, 0^0 sebesar 0,406 dan 10^0 sebesar 0,461. Dan untuk hasil pada solidity jumlah sudu untuk sudu 2 sebesar $\sigma = 1,9625$ dan untuk sudu 3 sebesar $\sigma = 2,8875$ untuk sudu 4 sebesar $\sigma = 3,85$ dengan kecepatan angin sebesar 3 m/s.

Kata Kunci : Jumlah sudu, sudut serang, C_L , C_d , C_p dan solidity

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the performance of blade vertical wind turbine-type Darrieus-H with airfoil naca 0016 modified by varying the amount of the blade and the angle of attack by using the software Ansys Moving Reference Frames (MRF), and determine the influence of pressure distribution, velocity, comparison of the coefficient of lift (CL), the coefficient of drag (CD) and to know the results of the power coefficient (Cp), solidity number of blades on a vertical wind turbine.

The study was conducted by using dimensional geometry with modified airfoil naca 0016, verify the number of simulated blade includes blade 2, 3 and 4 to parameter variations of angle of attack -10^0 , 0^0 , 10^0 , the experiment begins with making the model number of the blade and make the simulation area with a length of 4000 mm, width 8000 mm and 1920 mm circle using SolidWorks interface, after the meshing using size with a minimum spacing of 0.005 and a maximum spacing of 0.05 m and the results of calculations performed Ansys software. There is also research that will be conducted using 2D steady-state simulation solver using Moving Reference Frames (MRF) on ANSYS fluent.

The results showed that each of the blade and the angle of attack of wind turbine vertical experience velocity and pressures are different and produce different style, the design of vertical axis wind turbine-type Darrieus-H with airfoil naca 0016 modified can be seen below, the airfoil shape is great to make great velocity on the side of the airfoil, and generate tremendous pressure on the front end of the airfoil, can be influenced at an angle of attack that will cause huge turbulence flow. The results of the design of wind turbines capable of generating power coefficient value at the blade 2 with the angle of attack equal to 0,531 -10^0 , 0^0 at 0.555 and 10^0 amounted to 0.581, for the blade 3 with angle of attack for

0,313 -10⁰, 0⁰ for 0,367 and 10⁰ amounted to 0.278, the blade -10⁰ 4 with the angle of attack of 0.329, 0.406 and 0⁰ of 10⁰ of 0.461. And to the results of the solidity of the blade to the blade number 2 for $\sigma = 1.9625$ and for blade 3 for $\sigma = 2.8875$ for the blade 4 of $\sigma = 3.85$ with a wind speed of 3 m / s.

Keywords: *The amount of the angle, angle of attack, Cl, Cd, Cp and solidity*

1. PENDAHULUAN

Salah satu faktor yang mempengaruhi untuk kerja dari turbin angin adalah bentuk sudu dan tipe konstruksi turbin angin. Berdasarkan bentuk sudu dan konstruksi turbin angin yang digunakan, turbin angin sumbu vertikal dapat dibedakan lagi seperti tipe *Savonius*, tipe *Darrieus*, tipe *Darrieus-H* (disebut juga sebagai *Giromill*) dan lainnya. Salah satu perbedaan ini terletak pada bentuk sudu. Sudu merupakan komponen utama pada peralatan turbin angin karena komponen inilah yang berfungsi untuk mengekstrak energi yang tersedia di angin. Untuk mendapatkan daya yang besar, kemampuan sudu dalam mengekstrak energi angin yang tersedia wajib diperhatikan. Beragam penelitian telah dilakukan dengan berbagai macam tipe turbin angin dan bentuk sudu yang bertujuan untuk mendapatkan kinerja turbin angin yang paling maksimal.

Hal yang menjadi pembahasan di penelitian ini adalah analisa pengaruh jumlah sudu turbin angin sumbu vertikal dengan variasi sudut serang dan menggunakan software *Computational Fluid Dynamic* (disingkat *CFD*). Beberapa peneliti di seluruh dunia telah merancang berbagai tipe turbin angin lalu diuji dan dianalisa dengan bantuan terowongan angin. Pengujian ini membutuhkan seperangkat peralatan dan membutuhkan biaya yang cukup mahal. Dengan bantuan software *CFD*, para peneliti dapat menganalisa dan merancang turbin angin yang lebih baik dan lebih murah dari segi biaya perancangan dengan hasil yang hampir sama bila dibandingkan dengan menggunakan terowongan angin. Perancangan dengan menggunakan software *CFD* merupakan tolak ukur sebagai perkiraan dalam merancang dan membuat turbin angin yang sebenarnya. Atas pertimbangan inilah, akan dilakukan analisa turbin angin sumbu vertikal tipe *Darrieus-H* dengan variasi *airfoil naca 0016 modified* agar turbin angin yang dibuat dapat berfungsi seoptimal mungkin.

Pada penelitian ini dilakukan studi secara sederhana mengenai perbedaan distribusi tekanan, kecepatan, C_L , C_D , dan C_P dengan permodelan menggunakan simulasi *steady – state solver* dengan menggunakan *Moving Reference Frames* (MRF) pada *ansys fluent*. Dimana tampilan akan banyak menggunakan data-data *numeric*, yang merupakan perbaikan dari *study* sejenis yang dilakukan oleh penelitian sebelumnya.

2. TUJUAN

Tujuan penelitian ini adalah menganalisa dengan menggunakan software *Moving Reference Frames* (MRF) pada *fluent*. Dari tujuan tersebut, beberapa tujuan yang ingin dicapai:

1. Untuk mengetahui pengaruh karakteristik distribusi *pressure* (tekanan) dan *velocity* (kecepatan) pada desain turbin angin sumbu vertikal tipe *Darrieus-H* dengan *airfoil naca 0016 modified*.
2. Untuk mengetahui dan membandingkan karakteristik pada koefisien lift (C_L) dengan koefisien drag (C_D), pada sebuah desain turbin angin sumbu vertikal tipe *Darrieus-H* dengan *airfoil NACA 0016 modified* secara komputasi dengan software *Moving Reference Frames* (MRF) pada *fluent*.
3. Untuk mengetahui hasil dari koefisien *power* (C_p) dan Solidity jumlah sudu pada Turbin Angin Vertikal tipe *Darrieus-H* dengan *airfoil NACA 0016 modified*.

3. Kajian Pustaka

Dalam tugas akhir Nugroho (2011) yang menginformasikan tentang perancangan sebuah *prototipe* turbin angin yang cocok untuk penerapan di Indonesia, dimana didapatkan desain dan konstruksi turbin angin sumbu vertikal dengan penggunaan sudu *NACA 0016 Mod*, dan hasil kemampuan bergerak dengan kecepatan angin 0,8 m/s, turbin angin tersebut tanpa pembebanan mampu berputar dengan kecepatan 238rpm dan pembebanan 226rpm, dan

menghasilkan listrik Alternator mengeluarkan 3,4 ampere dengan voltase 12 volt DC dengan kecepatan angin 3 m/s.

Payam Sabaeifard (2012) dalam penelitian ini parameter geometris dan efek jenis *airfoil* pada *H-Darrieus* efisiensi turbin angin dipelajari secara numerik dengan metode *CFD*. Akibatnya, telah ditemukan bahwa turbin 3-berbilah dengan 35% soliditas memiliki kemampuan terbaik dari mulai dan efisiensi di antara semua geometri. Oleh karena itu, turbin dimodelkan dengan disebutkan geometri dan dilengkapi dengan *airfoil* simulasi dan menunjukkan peningkatan 9% dalam efisiensi mencapai 36% kontras dengan *NACA 0018* umum *airfoil*, prediksi yang akurat dari tren kinerja pada berbagai kecepatan rotasi dan koefisien daya yang lebih tinggi dari *DUW200* turbin dari *NACA 0018*, dikonfirmasi metode simulasi dan proses dengan akurasi yang tepat.

4. Landasan Teori

Pada dasarnya energi yang dihasilkan angin dapat di rumuskan sebagai berikut : Udara yang memiliki massa m dan kecepatan v akan menghasilkan energi kinetik sebesar

$$E = 1/2mv^2$$

Volume udara per satuan waktu (debit) yang bergerak dengan kecepatan v dan melewati daerah seluas A adalah

$$V = v \cdot A$$

Massa udara yang bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan ρ yaitu

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot v \cdot A$$

Sehingga energi kinetic yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) adalah

$$P_o = \frac{1}{2} (\rho A v)(v^2) \\ = \frac{1}{2} (\rho A v^3) \quad 1$$

Dengan:

P_o = daya angin (watt)

ρ = densitas udara (kg/m³)

A = luas penampang turbin (m²)

v = kecepatan udara (m/s)

Perbandingan daya mekanik turbin dan daya keluaran teoritik turbin disebut sebagai faktor daya (C_p) adalah

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \rho A (v_1 + v_2)(v_1^2 + v_2^2)}{\frac{1}{2} \rho A v^3}$$

C_p maksimum diperoleh jika perbandingan V_2 dengan V_1 adalah 1/3 maka C_p yang dapat di

hasilkan adalah 0,593. Koefisien daya tersebut dapat diartikan bahwa turbin angin hanya dapat mengubah energi angin menjadi energi mekanik kurang dari 60%. Nilai ini disebut dengan faktor betz.

4.1 Gaya hambat (*drag force*)

Gaya *drag* adalah gaya hambat yang arahnya berlawanan dengan arah gerak benda. Besar gaya hambat dapat dihitung dengan rumus :

$$F_d = \frac{1}{2} \rho V^2 A C_d$$

Dimana :

F_d = Gaya hambat (N)

V_a = kecepatan angin (m/s)

ρ = massa jenis udara (kg/m³) A_T = Luas sapuan rotor (m²) C_D = koefisien hambat

4.2 Gaya angkat (*lift force*)

Gaya angkat (*lift*) adalah gaya pada arah tegak lurus arah aliran yang dihasilkan ketika fluida bergerak melalui benda yang berpenampang *airfoil*. Besarnya gaya angkat dapat dihitung dengan rumus :

$$F_l = \frac{1}{2} \rho V^2 A C_l$$

Dimana :

F_L = Gaya angkat (N)

V_a = kecepatan relatif angin (m/s) ρ = massa jenis udara (kg/m³)

A_T = Luas sapuan rotor (m²) C_L = koefisien angkat

4.3 Fenomena *Stall*

Stall dapat dipahami sebagai fenomena ketika sudut serang sangat besar atau kecepatan aliran terlalu besar sehingga udara tidak masuk laminar, aliran udara tidak bisa menyentuh bagian belakang sudu sehingga terjadi separasi aliran pada bagian belakang sudu. Situasi ini secara signifikan menurunkan *lift* dan meningkatkan *drag* sehingga putaran rotor terhambat. Fenomena *stall* dapat dimanfaatkan sebagai pengereman pasif maupun aktif, karena rotor akan mengurangi kecepatannya pada kecepatan angin yang tinggi. Hal ini menguntungkan, karena menghindari putaran tinggi artinya mengurangi resiko kegagalan. Pengaturannya dilakukan secara pasif bergantung kecepatan angin maupun secara aktif maupun menggunakan mekanisme pengatur sudut *pitch*.

4.4 Computational Fluid Dynamic (CFD)

CFD adalah metode penghitungan, memprediksi, dan pendekatan aliran fluida secara numerik dengan bantuan komputer. Aliran fluida dalam kehidupan nyata memiliki banyak sekali jenis dan karakteristik tertentu yang begitu kompleks, CFD melakukan pendekatan dengan metode numerasi serta menggunakan persamaan-persamaan fluida.

Region turbulen terdapat beberapa pendekatan yang umum digunakan. Salah satu model pendekatan adalah *model k-epsilon*. Pemodelan dengan system ini memberikan keuntungan berupa efisiensi sumber daya komputasi, kestabilan perhitungan numerical dan akurasi solusi yang dihasilkan.

Model *k-epsilon* terdiri dari dua persamaan yang mewakili parameter turbulen suatu aliran. Persamaan pertama adalah persamaan energy *kinetic* turbulen, k , yang digunakan untuk menentukan besar energy turbulensi. Persamaan kedua adalah persamaan disipasi turbulen, ϵ dan digunakan untuk menentukan skala turbulensi.

CFD adalah penghitungan yang mengkhususkan pada fluida, mulai dari aliran fluida, *heat transfer* dan reaksi

kimia yang terjadi pada fluida. Atas prinsip-prinsip dasar mekanika fluida, konservasi energi, momentum, massa, serta *species*, penghitungan dengan CFD dapat dilakukan. Secara sederhana proses penghitungan yang dilakukan oleh aplikasi CFD adalah dengan kontrol-kontrol penghitungan yang telah dilakukan maka kontrol penghitungan tersebut akan melibatkan dengan memanfaatkan persamaan-persamaan yang terlibat. Persamaan-persamaan ini adalah persamaan yang dibangkitkan dengan memasukkan parameter apa saja yang terlibat dalam domain. Misalnya ketika suatu model yang akan dianalisa melibatkan temperatur berarti model tersebut melibatkan persamaan energi atau konservasi dari energi tersebut. Inisialisasi awal dari persamaan adalah *boundary condition*. *Boundary condition* adalah kondisi dimana kontrol-kontrol perhitungan didefinisikan sebagai definisi awal yang akan melibatkan ke kontrol-kontrol penghitungan yang berdekatan dengannya melalui persamaan-persamaan yang terlibat.

Proses simulasi CFD

Umumnya, terdapat tiga tahapan yang harus dilakukan ketika melakukan simulasi CFD, yaitu :

a) *Pre-processing*

Preprocessing adalah langkah awal dalam membangun dan menganalisis sebuah model CFD. Teknisnya adalah membuat model dalam paket CAD (*Computer Aided Design*), membuat *mesh* yang sesuai, kemudian menerapkan kondisi batas dan sifat-sifat fluidanya.

b) *Solving*

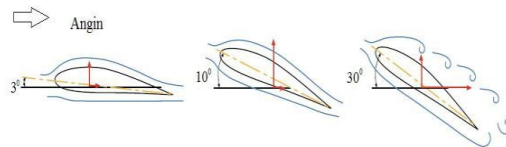
Solvers CFD merupakan suatu proses pengolahan atau perhitungan kondisi-kondisi yang diterapkan pada saat *preprocessing*. Dalam tahap ini dilakukan proses komputasi numerik dengan menggunakan persamaan yang mengatur pada simulasi CFD menggunakan prinsip kekekalan momentum (newton dua). Perangkat lunak CFD digunakan ANSYS CFX guna memecahkan persamaan proses perhitungan (*solving*) oleh ANSYS CFX yaitu

c) *Post-processing*

Post-processing adalah langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa gambar, kurva, dan animasi.

4.5 Sudut serang (angel of atteck) dan sudut pitch

Sudut serang pada turbin *Darrieus* H merupakan sudut antara garis *chord* sudu dengan garis komponem kecepatan relatif. Pada turbin angin *Darrieus* H, besarnya sudut serang dipengaruhi *tip speed ratio*, sudut *pitch* dan sudut *azimuth* sudu. Semakin besar *tip speed ratio* maka sudut serang semakin kecil.



Gambar 1 Sudu turbin pada kondisi sudut serang rendah, medium dan tinggi (Sumber : Eka, 2013)

4.6 Bilangan Reynold

Bilangan *Reynold* (*Re*) menyatakan perbandingan gaya-gaya inersia terhadap gaya-gaya kekentalan (*viskositas*) (*Giles*, 1990). Bilangan *Reynolds* merupakan bilangan tak berdimensi. Dilihat dari kecepatan aliran, dikategorikan laminar bila aliran tersebut mempunyai bilangan *Re* lebih dari 4000 (*Tipler*, 1998). Rumus bilangan *Reynolds* pada turbin angin adalah :

$$Re = \frac{\rho \cdot C \cdot W}{\mu}$$

dimana :

C = panjang *chord* (m)

W = kecepatan absolut elemen sudu (m/s) μ = *viskositas* dinamik udara (Ns/m²)

ρ = massa jenis udara (kg/m³)

Bilangan *Reynold* merupakan faktor yang mempengaruhi gaya *lift* dan gaya *drag* pada *airfoil*, namun dalam banyak perhitungan awal bilangan *Reynold* dapat diabaikan karena hanya memiliki urutan kedua pada karakteristik untuk menentukan gaya *lift* dan gaya *drag* (*Sathyajith Mathew*, 2006).

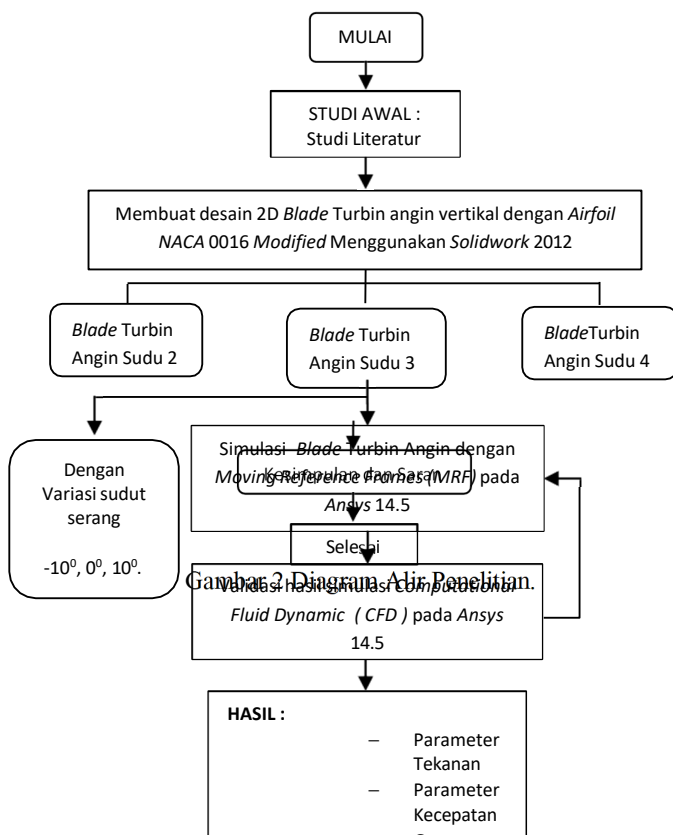
5. METODE PENELITIAN

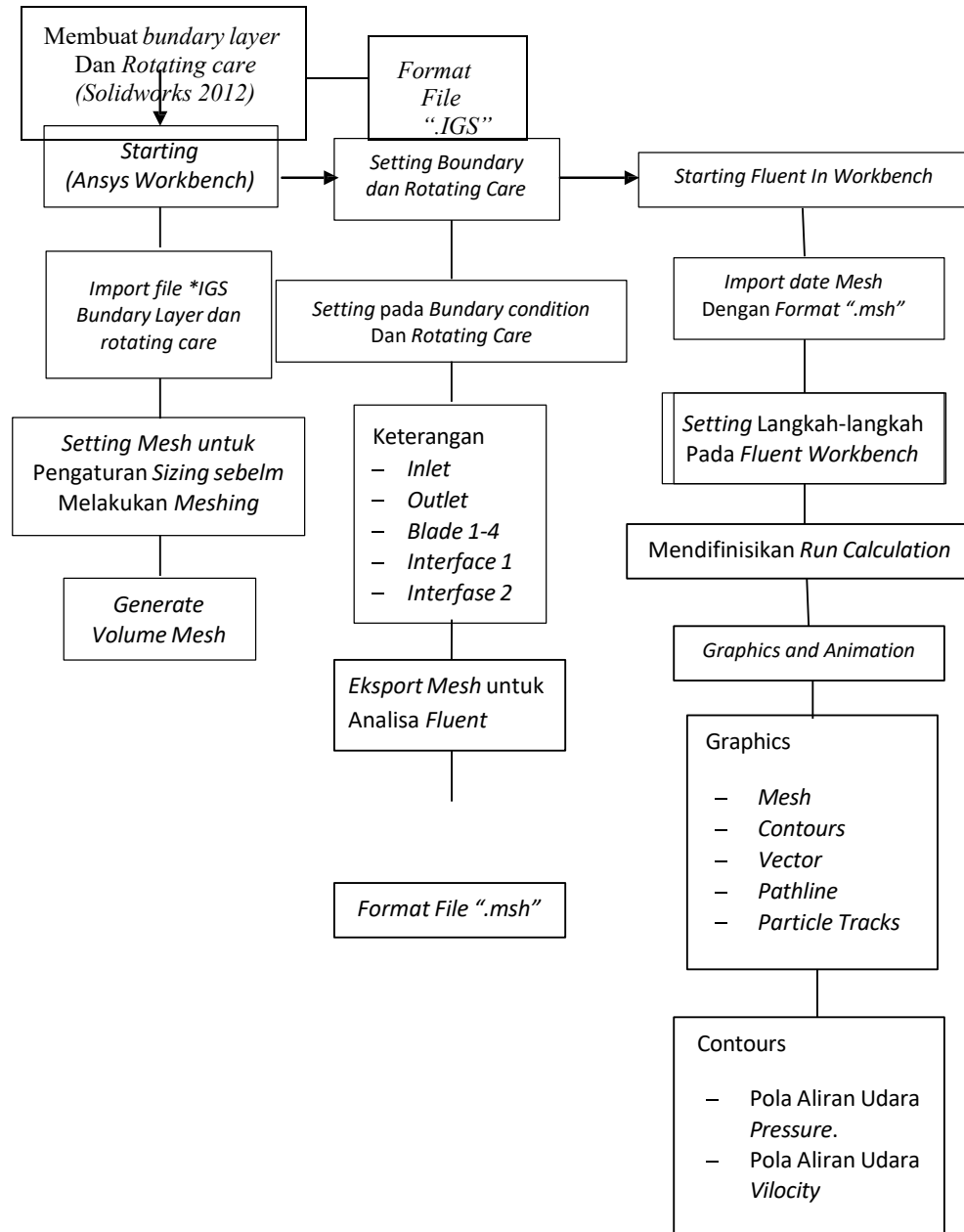
Tahapan dalam penelitian ini akan dijelaskan melalui sebuah diagram alir yang menggambarkan perencanaan dan pengujian berdasarkan urutan prosesnya. Ada pun penelitian yang akan dilakukan dengan menggunakan *software Moving Reference Frames (MRF)* dengan menganalisa *prototipe* turbin angin tersebut dengan berjumlah sudu 2, 3 dan 4, untuk

mengetahui perbedaan tekanan, kecepatan dengan mendapatkan target hasil yang lebih memungkinkan untuk mengukur semua parameter *fluida* didalam daerah simulasi (*Computation Domain*).

Tabel 1 Fitur Geometri utama dari model diuji

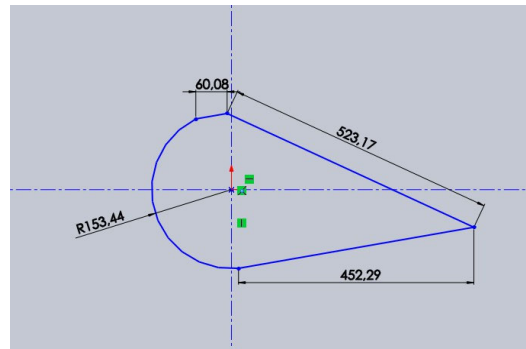
Fitur	Model		
Diameter interface	1920 mm		
Analisis tipe	2D simulasi		
Profil blade	NACA 0016		
Bundary layer	Panjang	Lebar	
	4000 mm	8000 mm	
Ukuran mash	Minimum spasing	Maximum spasing	
	0,005 m	0,05 m	
Jumlah sudu	Sudu 2	Sudu 3	Sudu 4





Gambar 3 Diagram Alir Proses Simulasi

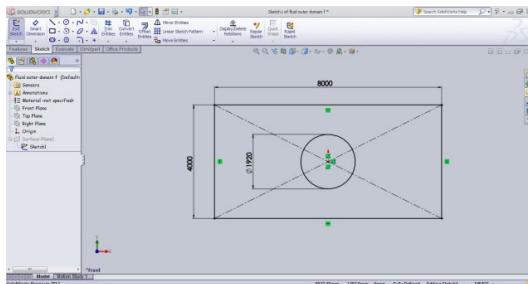
5.1 Desain Profil sudu



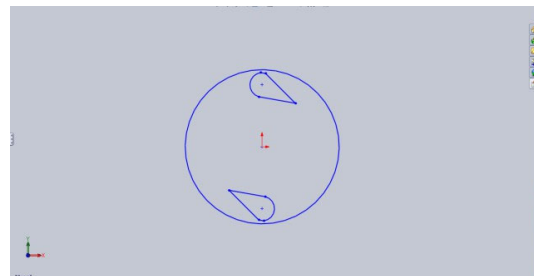
Gambar 4 Geometri Airfoil Naca 0016 modified.

Sesuai tujuan penelitian, dimensi geometri airfoil dibuat sama dengan airfoil naca yang dilakukan oleh Purwanto Eko Nugroho, Geometri *airfoil* yang telah dibuat sebagai mana dilakukan oleh Purwanto Eko Nugroho (2011), dengan perancangan sebuah prototipe turbin angin yang cocok untuk penerapan di Indonesia, dimana didapatkan desain dan konstruksi turbin angin sumbu vertikal penggunaan sudu 4 dengan *airfoil NACA 0016*. Ada pun penelitian yang akan dilakukan dengan menganalisa *prototipe* turbin angin tersebut dengan berjumlah sudu 2, 3 dan 4, untuk mengetahui perbedaan tekanan, kecepatan dengan mendapatkan target hasil yang lebih memungkinkan untuk mengukur semua parameter *fluida* didalam daerah simulasi (*Computation Domain*).

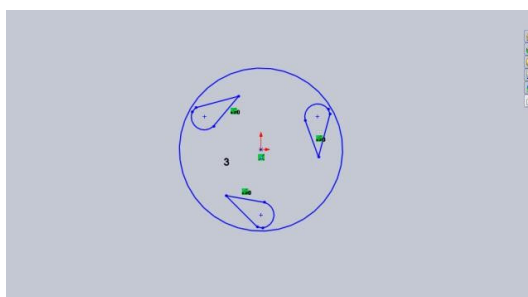
5.2 Dimensi daerah Simulasi



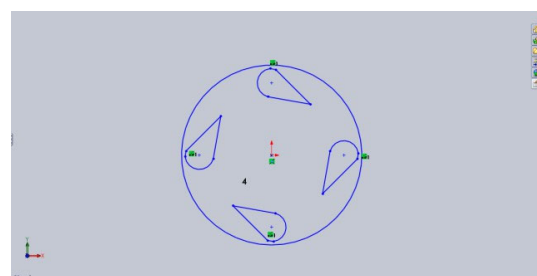
Gambar 5 dimensi daerah simulasi



Gambar 6 dimensi sudu 2



Gambar 7 dimensi sudu 3



Gambar 8 dimensi sudu 4

Hasil *meshing* dari daerah simulasi (*Computation Domain*) untuk turbin angin dengan menggunakan *airfoil NACA 0016* diperlihatkan pada gambar dibawah ini :

Tabel 2. Hasil *meshing* pada model yang diuji pada simulasi.

Fitur	Model								
	Sudu 2			Sudu 3			Sudu 4		
Sudut serang	-10	0	10	-10	0	10	-10	0	10
Nodes	40291	40427	40731	39716	39786	39983	39340	39442	39614
Elements	13179	13220	13326	12974	12996	13065	12839	12864	12933

6. HASIL DAN PEMBAHASAN

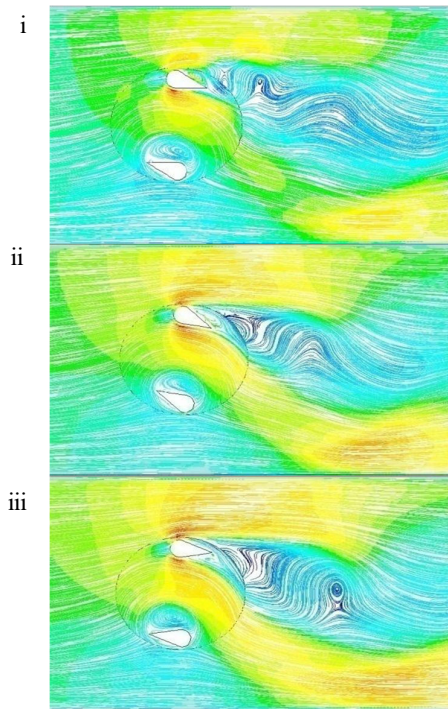
Setelah proses simulasi turbin angin, maka didapatkan data pengujian yang selanjutnya dijelaskan melalui sebuah tabel dan grafik.

Tabel 3 data hasil simulasi variasi jumlah sudu dan sudut serang

Sudut serang	Jumlah sudu	Perssure		Sudut serang	Jumlah sudu	Velocity	
		Max	Min			Max	Min
-10	Sudu 2	24,33998	-44,01458	-10	Sudu 2	6,394463	0,138893
	Sudu 3	28,88948	-52,15551		Sudu 3	7,452722	0,1266452
	Sudu 4	20,47369	-52,46990		Sudu 4	6,75752	0,2040163
0	Sudu 2	25,83412	-47,01846	0	Sudu 2	7,292778	0,2284752
	Sudu 3	27,14972	-51,37171		Sudu 3	7,474862	0,2160636
	Sudu 4	28,68108	-41,46974		Sudu 4	6,84586	0,3747509
10	Sudu 2	22,47159	-37,69432	10	Sudu 2	6,535724	0,2649816
	Sudu 3	25,98316	-46,95628		Sudu 3	6,992506	0,1611607
	Sudu 4	25,12931	-49,79922		Sudu 4	6,82264	0,1925814

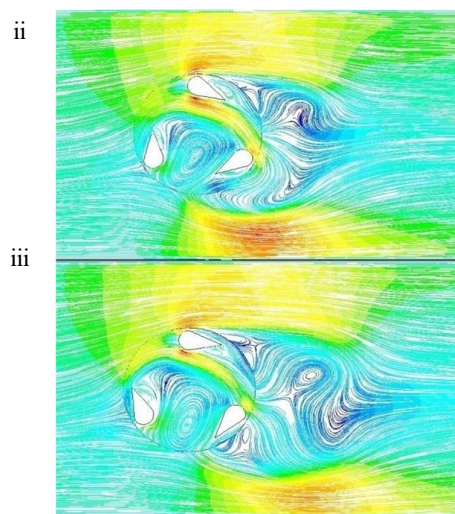
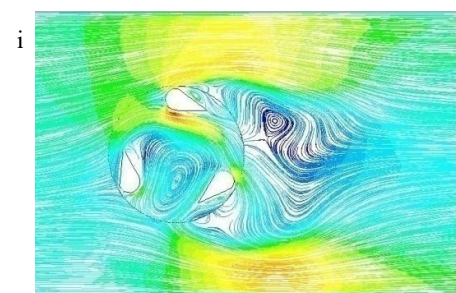
6.1 Hasil gambar simulasi

6.1.1 Hasil simulasi *Streamline* Turbin Angin Vertikal Dua Sudu.



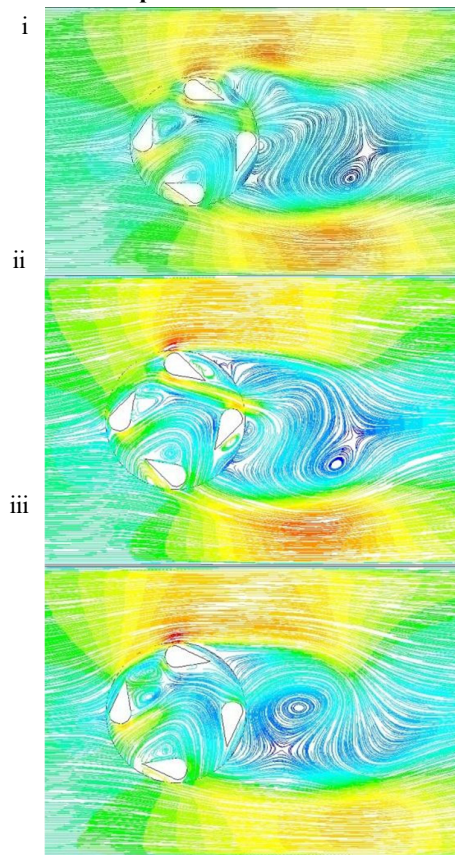
Gambar 9 Kontur Streamline Turbin angin vertikal 2 sudu dengan sudut serang i) - 10⁰, ii) 0⁰, iii) 10⁰

6.1.3 Hasil Simulasi *Streamline* Turbin Angin Vertikal Tiga Sudu.



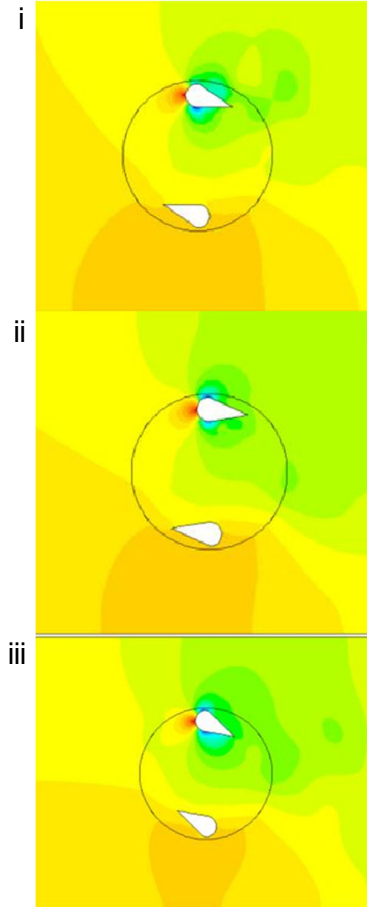
Gambar 10 Kontur Streamline Turbin angin vertikal 3 sudu dengan sudut serang i) -10⁰, ii) 0⁰, iii) 10⁰

6.1.2 Hasil Simulasi *Streamline* Turbin Angin Vertikal Empat Sudu.



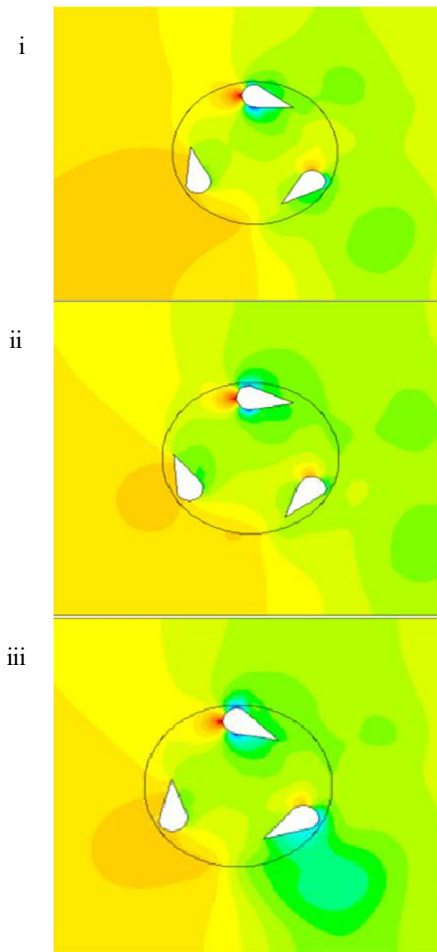
Gambar 11 Kontur Streamline Turbin angin vertikal 4 sudu dengan sudut serang i) -10° , ii) 0° , iii) 10°

6.1.4 Hasil Simulasi Tekanan Turbin Angin Vertikal Dua Sudu.



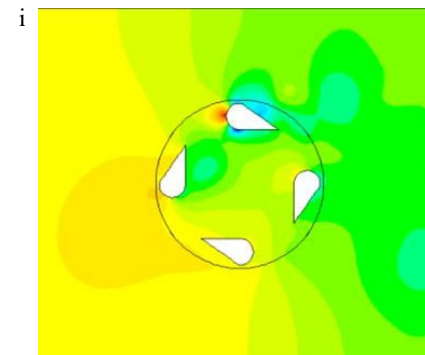
Gambar 12 Kontur Tekanan Turbin Angin Vertikal 2 sudu dengan sudut serang i) -10° , ii) 0° , iii) 10°

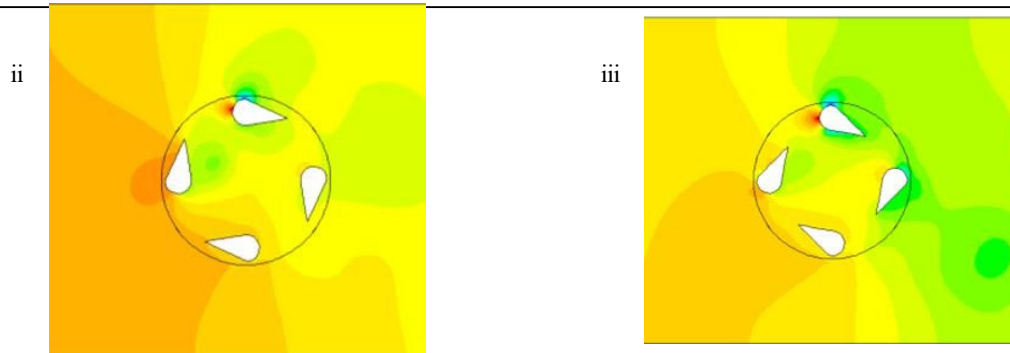
Hasil Simulasi Tekanan Turbin Angin Vertikal Tiga Sudu.



Gambar 13 Kontur Tekanan Turbin Angin Vertikal 3 sudu dengan sudut serang i) -10° , ii) 0° , iii) 10°

6.1.5 Hasil Simulasi Tekanan Turbin Angin Vertikal Empat Sudu.

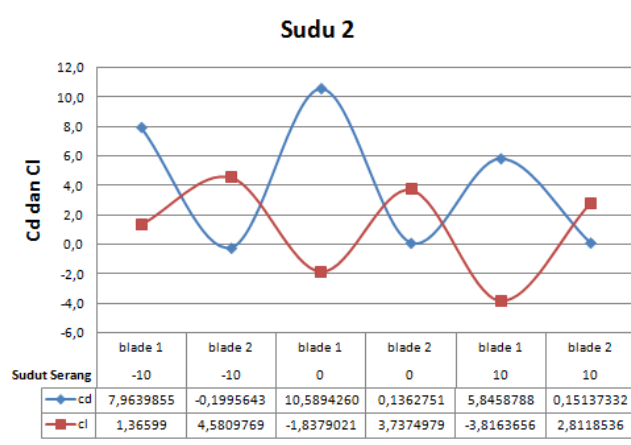




Gambar 13 Kontur Tekanan Turbin Angin Vertikal 4 sudu dengan sudut serang i) -10° , ii) 0° , iii) 10°

7. PEMBAHASAN

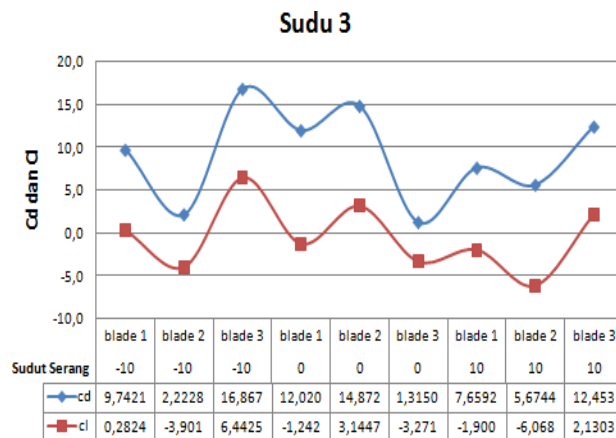
7.1 Grafik hubungan antara koefisien Lift dan koefisien Drag dengan sudut serang -10° , 0° , dan 10° pada Sudu 2.



Grafik 1 Hubungan koefisien lift dan koefisien drag sudu dua dengan sudut serang

Koefisien drag (Cd) dan koefisien life (Cl) memulai perubahan tajam terhadap positif dari negatif dan kemudian kurva menunjukkan perilaku sinusoidal (gelombang), dijelaskan kurva bergerak dari positif ke negatif dan positif untuk kembali, pada hasil grafik diatas menunjukkan perilaku Cd dan Cl dengan variasi sudut serang mengalami gerakan yang berlawanan pada setiap blade masing-masing, pada hasil grafik diatas menunjukan bahwa Cd pada blade 1 lebih besar dari blade 2 setiap sudut serang, sedangkan Cl kebalikannya pada blade 1 lebih kecil dari blade 2, perilaku ini sama juga pada blade dan sudut serang yang lain, ini mengakibatkan Cd dan Cl seimbang.

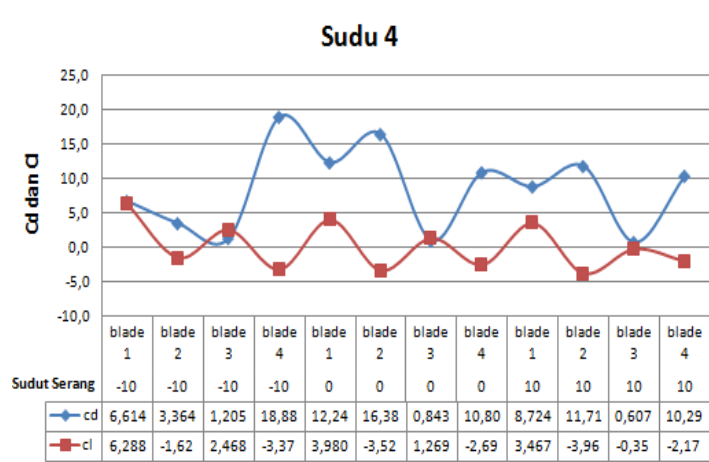
Grafik hubungan antara koefisien Lift dan koefisien Drag dengan sudut serang -10° , 0° , dan 10° pada Sudu 3



Grafik 2 Hubungan koefisien lift dan koefisien drag sudu tiga dengan sudut serang.

Dari grafik diatas terlihat kesamaan kurva antara koefisien drag dan koefisien lift, dimana perbedaannya koefisien drag lebih besar dan koefisien lift lebih kecil dengan variasi sudut serang dan blade masing – masing, dijelaskan grafik diatas peningkatan koefisien drag yang diikuti peningkatan koefisien lift dan sebaliknya penurunan koefisien drag diikuti menurunnya koefisien lift, bisa dilihat bentuk kurva pada variasi sudut serang dan blade, perilaku ini sama juga pada blade dan sudut serang yang lain dimana terjadi kesetimbangan.

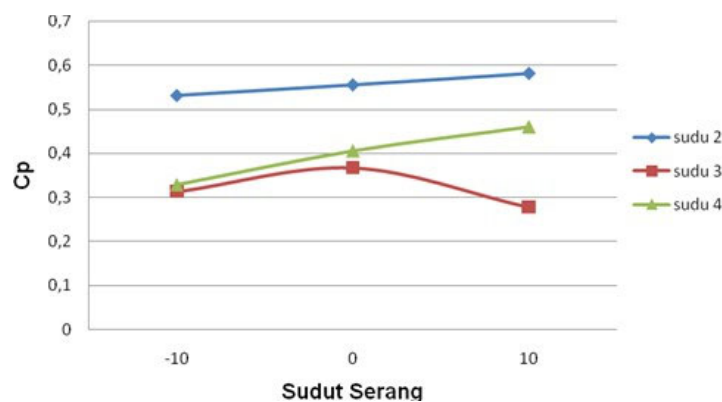
7.2 Grafik hubungan antara koefisien Lift dan koefisien Drag dengan sudut serang -10°, 0°, dan 10° pada Sudu 4.



Grafik 3 Hubungan koefisien lift dan koefisien drag sudu empat dengan sudut serang.

Dari grafik diatas terlihat perbedaan kurva antara Koefisien drag dan koefisien lift, pada sudut serang terdapat perbedaan pada blade 3, dilihat pada grafik koefisien drag pada blade 3 mengalami penurunan dan dilanjut pada blade 4 meningkat, sedangkan koefisien lift pada blade 3 dengan variasi sudut serang mengalami peningkatan dan dilanjut dengan blade 4 menurun, hal ini disebabkan blade 3 menerima gaya yang besar dikarenakan pada blade posisi membelakangi arah angin. Untuk sudut serang -10° pada blade 1 terjadi nilai yang hampir sebanding dimana koefisien drag sebesar 6,614 N dan koefisien lift sebesar 6,288 N.

7.3 Perbandingan Koefisien Power dengan Sudut Serang pada Turbin Angin



Grafik 4 Hubungan koefisien power dengan sudut serang pada turbin angin vertikal.

Perbandingan Cp maksimum diperoleh jika V_2 dengan V_1 adalah 1/3 maka Cp yang dapat dihasilkan adalah 0,593, koefisien daya tersebut dapat diartikan bahwa turbin angin hanya dapat mengubah energi angin menjadi energi mekanik kurang dari 60%, nilai ini disebut dengan faktor Betz. Dari hasil grafik diatas bisa dilihat bahwa perubahan sudut serang mempengaruhi tinggi atau rendahnya Cp, pada turbin angin 2 sudu nilai Cp tertinggi pada 10° dan Cp terendah pada sudut serang 0° kemudian -10°, sedangkan pada turbin angin 3 sudu yang mengalami nilai Cp tertinggi pada sudut serang 0° kemudian -10° dan Cp terendah pada sudut serang 10°, sedangkan pada turbin angin 4 sudu nilai Cp tertinggi pada sudut serang 10° kemudian 0° yang mengalami nilai Cp terendah pada sudut serang -10°. Dimana nilai Cp dipengaruhi

perbandingan kecepatan angin masuk dan keluar (V_1/V_2) dengan kecepatan angin sebesar 3 m/s. Untuk turbin angin yang mengalami C_p terbesar pada turbin angin sudu 2 disetiap sudut serang, dan turbin angin yang mengalami C_p terkecil pada turbin angin sudu 3.

7.4 Perbandingan Koefisien Power dengan Solidity jumlah sudu pada Turbin Angin Vertikal

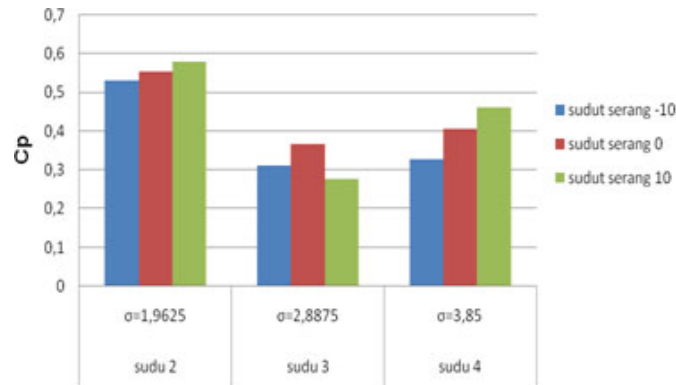


Diagram 1 Hubungan koefisien Power dengan jumlah sudu turbin angin vertika

Analisis numerik dilakukan untuk memahami pengaruh jumlah blade dan soliditas pada perilaku dari lurus vertikal berbilah-sumbu vertikal turbin angin. Ditemukan bahwa, pada setiap variasi sudut serang yang sama koefisien daya meningkat dengan turunnya Soliditas dan jumlah blade pada turbin angin sudu 2, dan koefisien daya menurun dengan meningkat Soliditas dan jumlah pisau pada turbin angin sudu 3 dan sudu 4. Juga ditemukan bahwa, sesuai kecepatan yang ditentukan diperoleh koefisien daya ini menurun dengan peningkatan soliditas dan jumlah pisau. analisis ini diperoleh dengan blade dan panjang chord yang sama pada setiap turbin angin dengan kecepatan angin 3 m/s.

8. PENUTUP

8.1 KESIMPULAN

- Untuk turbin angin sudu 2 tidak memiliki penghalang yang besar akibatnya terjadi aliran yang menerobos melalui sela tengah turbin, dimana hasil tekanan dan kecepatan terdapat pada setiap blade, untuk sudut serang juga berpengaruh pada tekanan dan kecepatan pada aliran dimana terjadi hasil nilai yang berbeda, begitu juga sebaliknya pada turbin angin sudu 3 dan sudu 4, dimana perbedaannya pada faktor efek penghalang lebih besar dimana hasil tekanan dan kecepatan juga terdapat pada setiap blade. Pada desain turbin angin sumbu vertikal tipe *Darrieus-H* dengan *airfoil naca 0016 modified* dapat diketahui bawah dengan menggunakan naca 0016 yang sudah dimodif pada tugas akhir sebelumnya, desain ini mengalami tekanan yang cukup besar pada ujung depan *airfoil*, dengan bentuk *airfoil* yang besar membuat kecepatan yang besar pada sisi *airfoil*, dan menghasilkan tekanan yang besar pada ujung depan *airfoil*, dan dipengaruhi pada sudut serang yang akan menimbulkan aliran turbulensi yang sangat besar.
- Yang mempengaruhi koefisien lift (C_L) dan koefisien drag (C_D) antara lain pada bentuk blade, sudut serang, kecepatan angin, dan tekanan disetiap sudu turbin angin dimana terdapat koefisien drag yang lebih besar disetiap sudu turbin angin.
 - pada sudu 2 dimana koefisien drag lebih besar dan koefisien lift lebih kecil pada blade 1, dan terdapat koefisien lift lebih besar pada blade 2, untuk turbin angin ini mengalami awal berputarnya cukup sulit dan memerlukan momen gaya yang cukup besar ada kemungkinan turbin tersebut berputar terbalik, untuk koefisien drag yang nilainya rendah terdapat pada sudut serang 10° .
 - Pada sudu 3 untuk hubungan koefisien drag dan koefisien lift ada kesetimbangan, dan untuk sudu 3 pada awalan mudah mulai berputar dan dapat menangkap energi angin secara efektif, untuk koefisien drag yang mengalami rendah terdapat pada sudut serang 10° .
 - Pada sudu 4 mengalami turbulensi yang besar kejadian ini yang dinamakan stall, dengan turbulensi yang besar dapat mengurangi gaya yang dihasilkan dan efisiensi rendah, untuk sudu 4 dapat menghasilkan cukup besar untuk mulai awal berputar dan mampu untuk kecepatan angin rendah, untuk koefisien drag yang mengalami rendah terdapat pada sudut serang -10° .
- Hasil dari desain turbin angin mampu menghasilkan nilai koefisien power pada sudu 2 dengan sudut serang -10° sebesar 0,531, 0° sebesar 0,555 dan 10° sebesar 0,581, untuk sudu 3 dengan sudut serang -10° sebesar 0,313, 0° sebesar 0,367 dan 10° sebesar 0,278, pada sudu 4 dengan sudut serang -10° sebesar 0,329, 0° sebesar 0,406 dan 10° sebesar 0,461. Dan untuk hasil pada solidity jumlah

sudu untuk sudu 2 sebesar $\sigma = 1,9625$ dan untuk sudu 3 sebesar $\sigma = 2,8875$ untuk sudu 4 sebesar $\sigma = 3,85$ dengan kecepatan angin sebesar 3 m/s.

8.2 Saran

1. Untuk penelitian lebih lanjut lagi sebaiknya menambah variasi kecepatan angin agar karakteristik pada turbin angin terlihat lebih jelas.
2. Untuk penelitian lebih lanjut sebaiknya menambahkan disetiap angel of rotation pada waktu berputarnya turbin angin.
3. Untuk penelitian lebih lanjut lagi menambahkan variasi panjang *Chord* untuk mengetahui karakteristik turbin angin vertikal.
4. Diharapkan untuk mahasiswa yang berkecimpung didunia aeromodelling agar lebih memperhatikan kajian – kajian seperti penelitian ini, agar kedepannya dalam hal penerapan model turbin angin vertikal dapat terapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, John D, Jr. 2007. *Fundamental of Aerodynamics*, Fourth Edition. Mc Graw Hill. Higher Education. NewYork.
- ANSYS 14.5. *Using Moving Reference Frames Sliding Meshes*, (2010)
- Alaimo, Andrea. 2015. *3D CFD Analysis of a Vertical Axis Wind Turbine*. Kore University of Enna
- Cengel, Yunus A, Cimbala John M. 2006. *Fluid mechanics : fundamentals and applications*. Inc., 1221 Avenue of the Americas, New York, NY 10020.
- Huda, Saiful. 2014. *Analisa Bentuk Profile dan Jumlah Blade Vertical Axis Wind Turbine terhadap Putaran Rotor untuk Menghasilkan Energi Listrik*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- M.H. Mohamed. 2015. *CFD analysis for H-rotor Darrieus turbine as a low speed wind energy converter*. Helwan University.
- Sabaeifard, Payam. 2012. *Determination of Vertical Axis Wind Turbines Optimal Configuration through CFD Simulations*. Islamic Azad University.
- Taher G. 2015. *Effect of Number of Blades and Blade Chord Length on the Performance of Darrieus Wind Turbine*. Ain Shams University