



# Unjuk Kerja Turbin Angin Dengan Profil Sudu *NACA 4412* Dengan Metode Simulasi

Istofa Rifqy Widya Fauzi<sup>1</sup>, Daru Sugati<sup>2</sup>, Eka Yawara<sup>3</sup>, Subardi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

<sup>2,3,4</sup> Dosen Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

e-mail : [istofarifqy354@gmail.com](mailto:istofarifqy354@gmail.com)

**Abstrak**— Energi angin merupakan salah satu energi yang bersih dan terbarukan. Energi angin ini diubah menjadi energi listrik menggunakan turbin angin. Kecepatan angin di Indonesia berkisar antara 2 m/det hingga 6 m/det. Turbin angin merupakan suatu alat yang mampu mengubah energi angin menjadi energi mekanik dan selanjutnya dirubah menjadi energi listrik melalui generator. Terdapat dua jenis turbin angin, yaitu turbin angin sumbu *vertical* dan turbin angin sumbu *horizontal*. Turbin angin sumbu *horizontal* ini dapat ditingkatkan efisiensinya untuk mencapai koefisien daya yang maksimal. Salah satunya dengan menambah jumlah sudu berjumlah banyak dan memvariasikan *angle twist*. Untuk menguji hal tersebut dapat diuji dengan pengujian skala laboratorium atau dengan eksperimental atau dengan perangkat lunak, perangkat lunak yang sering digunakan antara lain *software CAD* yang sering digunakan dalam perusahaan dan juga *software simulasi*. Turbin angin sangat erat kaitannya dengan kehidupan sehari-hari baik di lingkungan rumah tangga ataupun skala industri. Terutama pada bidang teknik mesin, turbin angin sangat erat dengan adanya pembangkit listrik tenaga angin.

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode simulasi. Kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi perancangan turbin sumbu *horizontal NACA 4412* yang terdiri dari pembuatan desain turbin, simulasi, pengujian dengan 9 variasi kecepatan angin, dan pengambilan data. Dalam penelitian ini akan dilakukan desain Sudu turbin angin menggunakan Perangkat Lunak *QBlade* yang akan digunakan untuk menentukan koordinat *NACA Airfoil* yang digunakan dalam penelitian, Pembuatan Sudu dilakukan menggunakan Perangkat Lunak *SolidWorks*, setelah Sudu selesai didesain Sudu tersebut akan diuji coba dengan menggunakan *CFD Fluent*.

Blade *NACA 4412* dalam simulasi ini memiliki koefisien daya maksimum yaitu 0,17 pada kecepatan 5 m/s untuk *TSR 4*. Simulasi menghasilkan *Coefficient of Performance* yang rendah, jauh dari harapan yaitu sebesar 0.592 atau dari *coefficient Betz*.

**Kata Kunci**— Airfoil, CFD, Efisiensi, Fluent, *NACA 4412*, *Q-Blade*, *SolidWorks*

## I. PENDAHULUAN

Angin secara garis besar dapat diklasifikasikan sebagai angin *planetary* dan lokal. Angin *planetary* disebabkan oleh pemanasan yang lebih besar pada permukaan bumi dekat ekuator daripada kutub utara dan selatan. Hal ini menyebabkan udara hangat di daerah tropis naik dan mengalir melalui atmosfer ke kutub dan udara dingin dari kutub mengalir kembali ke ekuator di dekat permukaan bumi [10].

Energi angin merupakan salah satu energi yang bersih dan terbarukan. Energi angin ini diubah menjadi energi listrik menggunakan turbin angin. Kecepatan angin di Indonesia berkisar antara 2 m/det hingga 6 m/det. Turbin angin sumbu *horizontal* lebih efektif dalam mengekstrak energi angin dibandingkan turbin angin sumbu *vertical*[9].

Turbin angin merupakan suatu alat yang mampu mengubah energi angin menjadi energi mekanik dan selanjutnya dirubah menjadi energi listrik melalui generator. Turbin angin *horizontal* ini dapat ditingkatkan efisiensinya untuk mendapat koefisien daya yang maksimal.

Salah satunya dengan menambah jumlah sudu berjumlah banyak. Efisiensi sistem yang maksimal ini akan meningkatkan daya (*Watt*) yang dihasilkan dengan menggunakan jumlah turbin yang lebih sedikit [2].

Kita bisa meningkatkan kerja dari turbin angin itu sendiri dengan berbagai cara dan metode, yaitu dengan simulasi melalui perangkat lunak. Keunggulan menggunakan perangkat lunak untuk simulasi adalah mempermudah dan mempercepat analisa unjuk kerja.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Energi Angin

Energi angin sebenarnya adalah bentuk energi tidak langsung dari energi matahari, karena angin terjadi akibat pemanasan yang tidak merata pada permukaan bumi oleh matahari.

Angin secara luas dapat dibedakan menjadi *Planetary Winds* dan *Local Winds*. *Planetary Winds* disebabkan oleh matahari pada bagian ekuator lebih besar dari pemanasan pada daerah kutub. Hal ini menyebabkan udara tropis yang hangat akan naik dan tempatnya semula akan diisi oleh udara kutub yang lebih dingin. Udara tropis yang berada di lapisan atmosfer atas akan bergerak ke arah kutub. Arah pergerakan pada *Planetary Winds* dipengaruhi oleh gerakan rotasi bumi. Karena pengaruh sumbu bumi pada orbital bumi terhadap matahari maka terjadi variasi panas yang diterima dari matahari pada suatu tempat, yang menyebabkan variasi musiman pada kecepatan dan arah angin.

### B. Klasifikasi Turbin Angin

Berdasarkan sumbu putaran rotor, turbin angin dapat digolongkan menjadi dua klasifikasi utama yaitu *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) dan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT). Sedangkan apabila dilihat dari fungsi aerodinamisnya, maka rotor turbin dibagi menjadi dua tipe. Pertama adalah tipe *drag* yang mana memanfaatkan gaya hambat sebagai penggerak rotor. Kedua adalah tipe *lift* yang memanfaatkan gaya angkat sebagai gaya penggerak rotor. Gaya ini terjadi akibat angin yang melewati profil rotor.

### C. Perancangan Teoritis Turbin Angin

Energi kinetik tersebut akan diubah menjadi energi mekanik oleh rotor pada turbin untuk kemudian diubah lagi menjadi energi listrik oleh alternator (generator) dan karena energi angin diserap energi kinetiknya sehingga terjadi penurunan kecepatan oleh turbin angin ini [4].

Energi kinetik pada suatu massa angin  $m$  yang bergerak dengan kecepatan  $v$  dapat dirumuskan pada persamaan berikut (Gundtoft, 2008):

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \text{ (Nm)} \dots \dots \dots (1)$$

Energi inilah yang nantinya akan ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor. Kemudian pada luasan area turbin berupa penampang melintang  $A$ , Sedangkan pada massa angin yang didasarkan pada kerapatan angin dapat dirumuskan sebagai berikut [4].

$$m = \rho V = \rho v A \text{ (kg)} \dots \dots \dots (2)$$

Berdasarkan persamaan 2.1 dan 2.2 didapatkan persamaan energi kinetik angin yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) [4].

$$P = \frac{1}{2}\rho A v^3 \text{ (Watt)} \dots \dots \dots (3)$$

#### 1) Gaya Aerodinamik pada Turbin

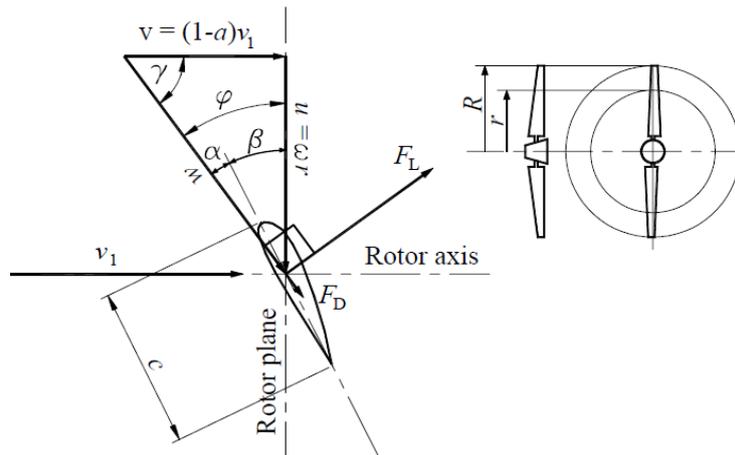
Pada turbin angin, daya yang dihasilkan berasal dari distribusi tegangan geser pada permukaan sudu yang dipresentasikan dengan adanya gaya tekan (*drag*) yang arahnya sejajar

dengan arah aliran fluida dan gaya angkat (*lift*) yang arahnya tegak lurus dengan arah aliran fluida [4]. Kedua gaya tersebut membuat rotor berputar dan juga memiliki beberapa faktor yang mempengaruhinya yakni seperti bentuk sudu, luas permukaan bidang sentuh, sudut serang, serta kecepatan angin. Kedua gaya tersebut diperjelas dengan rumus matematis sebagai berikut [4].

$$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho w^2 \dots\dots\dots(4)$$

$$F_L = C_L \frac{1}{2} \rho w^2 \dots\dots\dots(5)$$

Sudut yang lebih tinggi dari antara 15-20° udara tidak lagi sebaris atau dempet dengan *airfoil* sehingga dia akan jatuh atau yang biasa disebut kondisi “*stall*”. Perhatikan penampang sudu berikut.



Gambar 1. Velocities and angles [4].

### III. MODEL YANG DIUSULKAN

#### A. Arsitektur Model Secara Umum

##### 1) Perancangan Sudu

Sudu turbin angin yang akan digunakan dalam perhitungan terlebih dahulu ditentukan parameter yang akan digunakan sebagai dasar pembuatan Sudu, parameter awal Sudu ditentukan dengan menggunakan persamaan 1–5 penentuan parameter awal dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel 2013*, dengan asumsi energi yang diinginkan sebesar 1000 W, Sudu didesain menggunakan program *QBlade v.09* yang dapat diunduh secara gratis. Untuk kecepatan angin antara (3-11 m/s) menggunakan *Airfoil NACA (The United States National Advisory Committee for Aeronautics) 4412*.

##### 2) CFD FLUENT

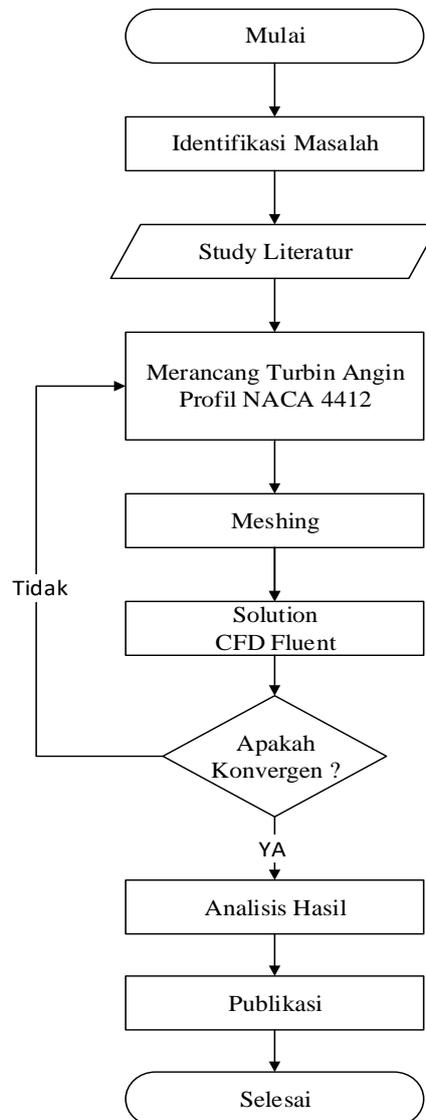
*Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan program komputer perangkat lunak untuk memprediksi dan menganalisis secara kuantitatif aliran fluida, perpindahan panas, transpor fenomena dan reaksi kimia (Al- Kindi, 2015). Analisis aliran fluida dalam suatu sistem dengan CFD merupakan analisis numerik dengan kontrol volume sebagai elemen dari integrasi persamaan-persamaan, yang terdiri dari persamaan keseimbangan massa, momentum dan energi. *FLUENT* adalah sebuah perangkat yang tersedia dalam *Software ANSYS* yang digunakan untuk menganalisa aliran fluida guna untuk memperoleh persamaan Navier-Stokes dari gerakan fluida tersebut, [5].

## B. Analisis Data

Sebelum kita mengambil data perlu diketahui bahwa data yang dapat diambil dalam penelitian kali ini yaitu : *Torque Value, Distribution of Pressure*. Data hasil simulasi unjuk kerja turbin angin dengan ringkas. Maka dari itu perlu adanya pengolahan data hasil simulasi menggunakan *Microsoft Excel* untuk mempermudah pekerjaan. Untuk mendapatkan nilai *coefficient performance* tertinggi terhadap perubahan kecepatan yang terjadi.

## C. Metodologi Penelitian

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah metode simulasi. Kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi perancangan turbin sumbu horizontal *NACA 4412* yang terdiri dari pembuatan turbin, simulasi, pengujian dengan 9 variasi kecepatan angin, dan pengambilan data. Pengambilan data dilakukan dengan membandingkan unjuk kerja dengan perhitungan teoritis turbin untuk setiap variasi kecepatan turbin. Penelitian ini akan dilakukan desain Sudu turbin angin menggunakan Perangkat lunak *QBlade* yang akan digunakan untuk menentukan koordinat *NACA Airfoil* yang digunakan dalam penelitian, Pembuatan Sudu dilakukan menggunakan Perangkat Lunak *SolidWorks*, setelah Sudu selesai didesain Sudu tersebut akan diuji coba dengan menggunakan *CFD Fluent*. Adapun tahapan pelaksanaan penelitian ini tampak seperti pada Diagram alir.



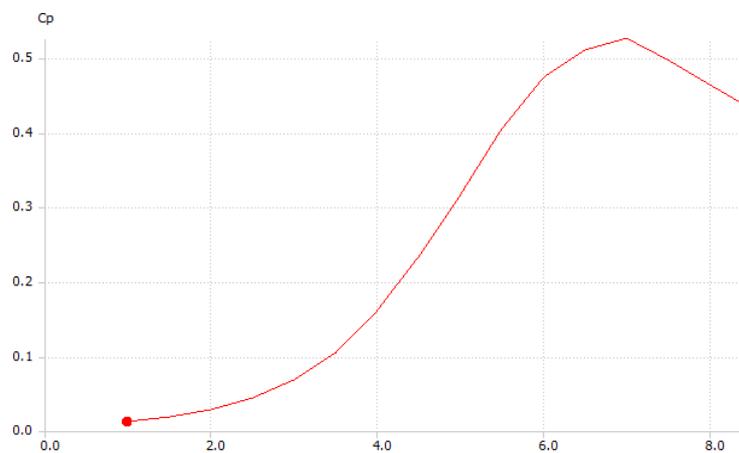
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

#### IV. IMPLEMENTASI MODEL DAN PEMBAHASAN

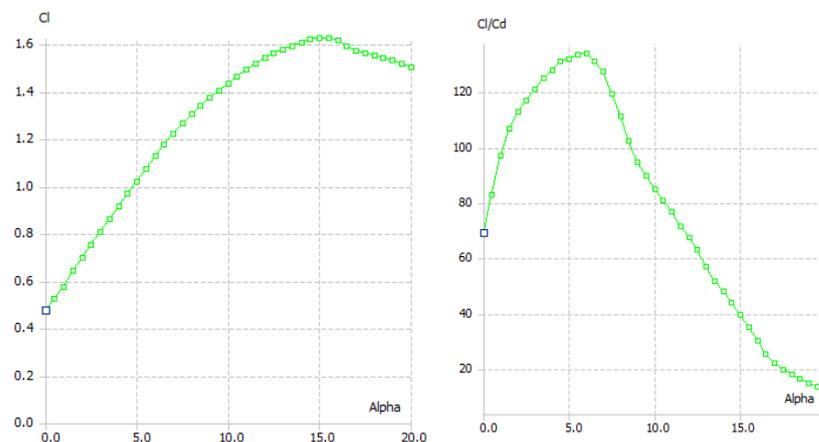
##### A. Perancangan Turbin Angin

Sudu turbin angin yang akan digunakan dalam perhitungan terlebih dahulu ditentukan parameter yang akan digunakan sebagai dasar pembuatan Sudu, dengan asumsi energi yang diinginkan sebesar 1000 W, Untuk kecepatan angin antara (3-11 m/s). Simulasi dilakukan untuk melihat performa dari *NACA 4412* pada Blade dengan kecepatan angin pengujian bernilai 3–11 m/s setelah dilakukan simulasi selanjutnya dilakukan perbandingan hasil terhadap jenis *Airfoil NACA 4412* dengan perhitungan matematis.

Nilai alpha,  $C_l/C_d$  dan  $C_l$  terjadi pada simulasi Q-Blade berdasarkan input airfoil *NACA 4412*. Dan nilai yang digunakan dalam perancangan adalah, nilai maksimum pada grafik antar  $C_l/C_d$  dengan alpha dan grafik  $C_l$  dengan alpha. Berikut ini adalah grafik masing-masing pada setiap jenis air foil.



Gambar 3. Grafik Cp x TSR

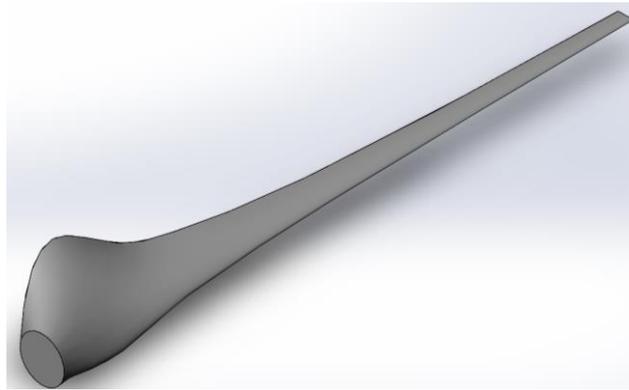


Gambar 4.  $C_l/C_d$  x Alpha (Q-Blade,2019) & Grafik  $C_l$  terhadap Alpha(Q-Blade,2019)

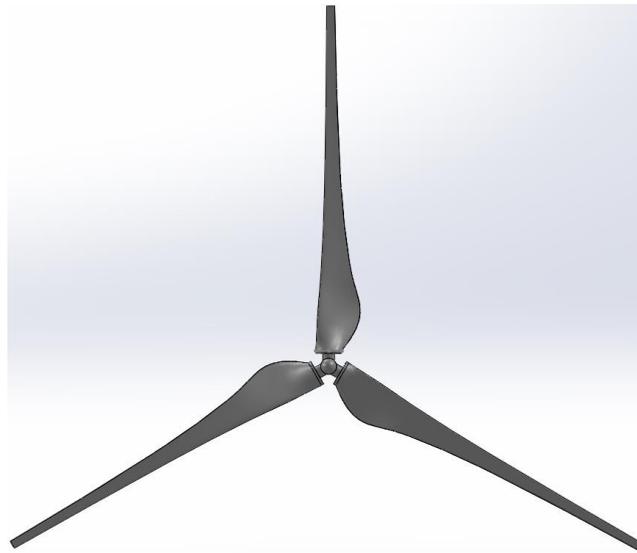
##### B. Hasil Desain Blade *NACA 4412* dari Q Blade

Dalam penentuan koordinat dalam solidworks ini dibantu menggunakan koordinat dalam software Q-Blade yang di export ke excel untuk mendapatkan koordinat secara tepat dari Blade yang akan dibuat.

Setelah mendesain selesai lalu *assembly hub* dengan Blade yang sudah terbentuk sehingga kita bisa melakukan uji simulasi di software solidworks. Dalam pengujian terdapat beberapa langkah yang harus disiapkan diantaranya adalah :



**Gambar 5.** Sub Assembly Hub



**Gambar 6.** Assembly Blade

Tahap simulasi merupakan tahap penentu dari penelitian kali ini maka dari itu parameter-parameter uji yang digunakan harus sesuai dengan kebutuhan agar bisa tepat sesuai dengan yang kita inginkan.

### *C. Persebaran Tekanan Pada Permukaan Blade*

Persebaran tekanan dari blade pada turbin NACA 4412 ditunjukkan oleh grafik kontur yang menunjukkan perbedaan tekanan pada blade secara visual yang dibedakan oleh warna untuk mempermudah pembacaan ditunjukkan di daftar terlampir.

### *D. Performa Turbin Angin NACA 4412*

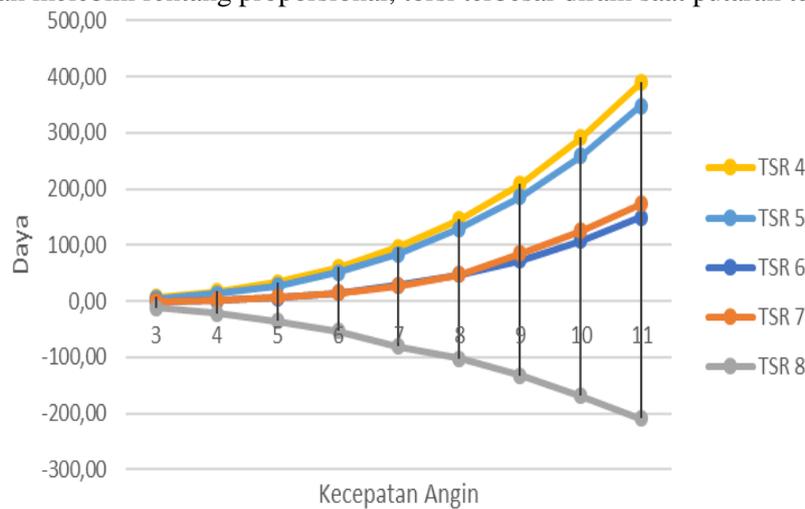
#### *1) Performa Turbin Angin*

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi pada sudu turbin angin sudut *swept* NACA 4412. Seluruh parameter pada sudu ini dibuat standar *setting default*, mulai dari parameter geometri, *mesh*, dan konfigurasi numerik. Variabel independen pada simulasi ini adalah kecepatan angin dan putaran sudu rotor. Simulasi ini akan dilakukan pada putaran sudut konstan  $6^\circ$  dengan masing-masing variasi kecepatan angin 3 m/s sampai 11 m/s dengan selisih 1 m/s. Hasil dari penelitian ini berupa grafik torsi terhadap kecepatan angin, koefisien daya terhadap kecepatan angin.

2) Hasil Simulasi dan Pembahasan Performa Turbin Angin NACA 4412

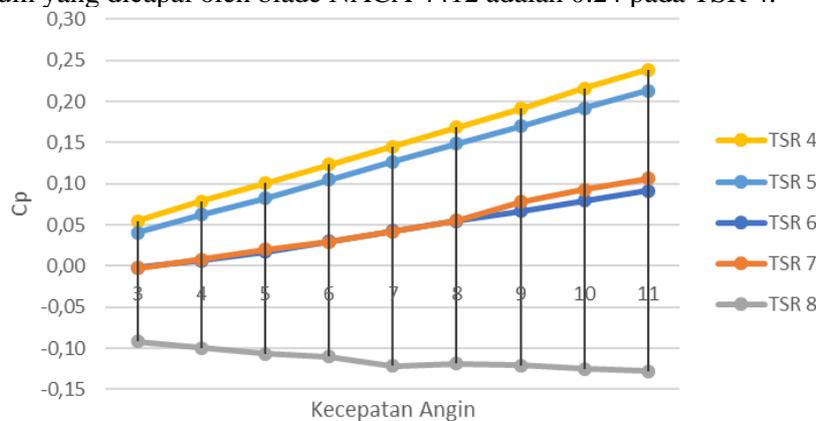
Pada blade NACA 4412, pada TSR 4 kenaikan torsi secara proporsional terjadi pada rentang kecepatan angin 3 m/s ke 11 m/s menghasilkan nilai  $C_p$  yang paling tinggi. Sedangkan pada TSR 8 terjadi penurunan torsi pada rentang kecepatan angin 3 sampai 11 m/s. Artinya, semakin tinggi putaran blade NACA 4412, maka rentang kenaikan torsi secara proporsional akan bertambah. Turbin angin yang beroperasi pada putaran tinggi akan mengalami kenaikan gradien pada kecepatan angin yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin angin yang beroperasi pada putaran rendah.

Pada rentang kecepatan dimana torsi mengalami kenaikan secara proporsional, menunjukkan bahwa torsi yang dihasilkan pada putaran rendah memiliki nilai torsi lebih tinggi dibanding pada putaran tinggi. Pada blade NACA 4412, menunjukkan bahwa pada torsi yang dimiliki saat TSR 4 jauh lebih besar dibanding TSR 8. Namun yang terjadi adalah sebaliknya, saat kecepatan terus bertambah melebihi rentang proporsional, torsi terbesar diraih saat putaran tertinggi.



Gambar 7. Daya Turbin NACA 4412 terhadap kecepatan angin

Performa suatu turbin angin dapat dinilai dari koefisien dayanya. Semakin besar koefisien dayanya, maka semakin besar energi angin yang dapat diekstrak. Gambar 4.9 menunjukkan performa turbin angin blade NACA 4412 terhadap kecepatan angin. Dapat diamati pada grafik dibawah bahwa pada kecepatan rendah terjadi penurunan koefisien daya terlebih dahulu baru terjadi kenaikan performa pada kecepatan angin tertentu. Kemudian seiring dengan bertambahnya kecepatan angin, koefisien daya berkurang secara perlahan. Semakin tinggi putaran sudu, maka titik *stall* akan bergeser ke kanan sehingga *stall* dapat tertunda. Koefisien daya maksimum yang dicapai oleh blade NACA 4412 adalah 0.24 pada TSR 4.



Gambar 8. Perbandingan koefisien daya ( $C_p$ ) turbin angin blade NACA 4412 terhadap kecepatan angin.

## V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Blade NACA 4412 memiliki koefisien daya maksimum yaitu 0,17 pada kecepatan 5 m/s untuk TSR 4.
2. Penelitian menghasilkan *Coefficient of Performance* yang rendah, jauh dari harapan yaitu sebesar 0.592 atau dari *coefficient Betz*.
3. TSR yang digunakan pada perhitungan meleset dari hasil simulasi menggunakan perangkat lunak CFD yaitu TSR optimal adalah TSR 4.
4. Pada perancangan tingkat kehalusan permukaan diabaikan sehingga ada kemungkinan mempengaruhi hasil perhitungan dari simulasi menggunakan CFD.
5. Tingkat ketelitian dari proses meshing sangat berpengaruh terhadap proses perhitungan sehingga mempengaruhi hasil akhir dari nilai yang dimunculkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aryanto, F. et al., 2013. Pengaruh Kecepatan Angin dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin. *Dinamika Teknik Mesin*, 3(ISSN 2088-088X), p. 10.
- [2] Dewi, M. L. et al., 2010. *Aanalisi Kinerja Turbin Angin Poros Vertikal Dengan Modifikasi Rotor Savonius L Untuk Optimalisasi Kinerja Turbin*. 1 ed. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- [3] Febriyanto, R. & et al., 2019. Study experimental of blade NACA 4412 with pitch angle on horizontal. *Journal of Physics*., 1153 012137(IOP Publishing), p. 8.
- [4] Gundtoft, S., 2008. *Wind Turbines*, Arhus: Mechanical.
- [5] Haque, M. N. & al, e., 2015. Experimental investigation on the performance of NACA 4412 aerofoil with curved leading edge planform. *Procedia Engineering*, 105(6th BSME International Conference on Thermal Engineering (ICTE 2014)), p. 9.
- [6] Hossain, M. S., Raiyan, M. . F., Akanda, M. N. U. & Jony, N. H., 2014. Comparative Flow Analysis Of Naca 6409 And Naca 4412 Aerofoil. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 03(10), p. 9.
- [7] Koca, K., Genç, M. . S., Açikel, H. H. & M., 2017. Identification of flow phenomena over NACA 4412 wind turbine airfoil at low Reynolds numbers and role of laminar separation bubble on flow evolution. *Energy*, 1(Elsevier Ltd), p. 15.
- [8] Mehdi, H., Gaurav, S. & Sharma, M., 2017. Numerical Investigation of Fluid Flow and Aerodynamic performance on a 2D NACA-4412 Airfoil. *International Journal of Research in Engineering and Innovation*, 1(IJREI), p. 5.
- [9] Prastiko, Y. C., 2016. *Uji Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Darrieus-H NACA 0018 Modifikasi dengan Variasi Sudut Pitch*. 1 ed. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [10] Pudjanarso, I. A. & Nursuhud, P. I. D., 2006. *Mesin Konversi Energi*. 2 ed. Yogyakarta: Andi.
- [11] Pujono, 2012. *Bahan Ajar Metode Perancangan*. 1 ed. Cilacap: Politeknik Negeri Cilacap.
- [12] Ravi, H., Madhukeshwara, N. & Kumarappa, S., 2013. Numerical Investigation Of Flow Transition For Naca-4412 Airfoil Using Computational Fluid Dynamics. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(IJRSET), p. 8.
- [13] Riegels, F. W., 1961. *Theoretically Developed Families Of Profiles*. 533.6.01 ed. London: Butterworths.
- [14] Saputra, D. A., Satria, E. & Ardinata, R., 2015. Perancangan Pesawat Tanpa Awak (Unmanned Aerial Vehicle) untuk Pencitraan Lokasi Siaga. *Prosiding Seminar Inovasi Teknologi dan Rekayasa Industri 2015*, 08(Universitas Andalas.), p. 6.
- [15] Supranto, 2000. *Energi Nuklir dan Angin*. 1 ed. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- [16] Yunginger, R. & N.Sune, N., 2015. Analisis Energi Angin Sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik Di Kota Di Gorontalo. *Jurnal Ilmiah*, 1(Universitas Negeri Gorontalo), p. 15.



**Istofa Rifqy Widya Fauzi, A.Md., S.T.** adalah lulusan mahasiswa Politeknik Negeri Cilacap (PNC) tahun 2017. Gelar Ahli Madya (A.Md) diraih di Poiteknik Negeri Cilacap, Ciacap tahun 2017 Istofa melanjutkan jenjang sarjana di Institut Teknologi Nasional Yogyakarta - Yogyakarta. Gelar Sarjana (S.T.) diraih dengan predikat *Cum Laude* di Departemen Teknik Mesin di Institut Teknologi Nasional Yogyakarta(ITNY) tahun 2017. Bidang penelitian yang sedang ditekuni saat ini adalah *Turbin, Teknologi Energi Terbarukan, Manufaktur*. Istofa tertantang dengan hal-hal baru sehingga dapat mnyelesaikan berbagai tugas dan masalah yang diberikan kepada istofa.