

PERANCANGAN *VERTICAL AXIS WIND TURBINE* (VAWT) SKALA KECIL

Buyung Junaidin

Program Studi Teknik Penerbangan
Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto
Jl.Janti Blok-R Lanud Adisutjipto
ikh libi dikh@yahoo.com

Abstract

Fuel energy consumption is getting higher but it's limited in the world hence the availability of it decreases. This condition makes people find other source energy as an alternative use. Wind energy become one of many alternative energies which is important since energy crisis issue and air pollution by fuel burning. Huge scale of wind turbines have been developed, or are currently under development because they produces electric effectively. But, small scale of wind turbines are also developed due to their advantages compared to large scale wind turbines. One of the advantages is no limitation area of installation due to its size hence it can use in urban areas. For small scale wind turbine, it is very convenient to used vertical axis wind turbine (VAWT) for urban areas which have unsteady wind condition. VAWT can rotate and producing electric with low speed wind and random wind path which those characters as same as urban wind characters. This research focused on design of small scale VAWT which could rotate at low wind speed and random wind path in Indonesia urban areas. Aerodynamic analysis of VAWT using double-multiple stream-tube (DMS) method is done in this research.

Keyword: Wind Turbine, Vertical Axis Wind Turbine (VAWT), Design

Abstrak

Konsumsi energi yang berasal dari bahan bakar fosil yang semakin tinggi dan ketersediannya di alam yang terbatas sehingga jumlahnya makin lama semakin berkurang, memaksa orang untuk mencari alternatif sumber energi lain. Energi angin menjadi salah satu energi alternatif yang penting dan diperhitungkan sejak adanya krisis energi dan isu lingkungan (polusi udara) akibat penggunaan bahan bakar fosil. Energi angin dimanfaatkan dengan cara mengubah gerakan angin menjadi energi listrik dengan turbin angin (*wind turbine*). Banyak turbin angin dengan skala besar yang telah dibuat atau dikembangkan di berbagai negara karena terbukti sangat efektif untuk menghasilkan energi listrik. Turbin angin skala kecil juga ikut dibuat dan dikembangkan hingga saat ini karena beberapa kelebihanannya jika dibandingkan dengan turbin angin skala besar. Kelebihan itu diantaranya tidak terbatasnya daerah atau lokasi pemasangan turbin angin karena ukurannya yang kecil sehingga dapat ditempatkan di daerah seperti perkotaan. Untuk turbin angin skala kecil, jenis *vertical axis wind turbine* (VAWT) sangatlah cocok digunakan di daerah perkotaan karena karakteristik VAWT yang dapat bergerak tanpa tergantung arah angin, hal ini sesuai dengan karakteristik angin perkotaan. Selain itu, VAWT dapat bergerak dan menghasilkan energi listrik pada kondisi kecepatan angin yang rendah. Penelitian ini fokus pada perancangan VAWT skala kecil yang dapat diaplikasikan pada kecepatan angin rendah dan berubah-ubah arah seperti karakteristik angin di perkotaan Indonesia serta analisis aerodinamika menggunakan metode *double-multiple stream-tube* (DMS).

Kata kunci: Turbin angin, Vertical Axis Wind Turbine (VAWT), Perancangan

1. Pendahuluan

Isu energi terbarukan dan ramah lingkungan menjadi fokus penelitian di beberapa negara mendorong terciptanya energi alternatif yang ramah lingkungan salah satunya pemanfaatan turbin angin (*wind turbine*) untuk menghasilkan energi listrik. Perancangan dan pengembangan turbin angin menjadi topik yang menarik perhatian banyak peneliti dengan adanya isu di atas. Saat ini turbin angin jenis *horizontal axis wind turbine* (HAWT) telah banyak dibuat, digunakan atau dikembangkan dibandingkan dengan jenis *vertical axis wind turbine* (VAWT) dikarenakan HAWT memiliki nilai efisiensi lebih baik dibandingkan VAWT dalam pemanfaatan angin menjadi energi listrik. Akan tetapi, jenis VAWT memiliki beberapa kelebihan dibandingkan jenis HAWT diantaranya karena karakteristik VAWT yang dapat bergerak tanpa tergantung arah angin. Selain itu, karena VAWT memiliki sumbu putar vertikal sehingga dalam posisi pemasangan transmisi beserta generatornya dapat ditempatkan di *ground* sehingga memudahkan dalam melakukan perawatan serta mengurangi berat dari VAWT itu sendiri.

Banyak turbin angin dengan skala besar yang telah dibuat atau dikembangkan di berbagai negara karena terbukti sangat efektif untuk menghasilkan energi listrik. Turbin angin skala kecil juga ikut dibuat dan dikembangkan hingga saat ini karena beberapa kelebihannya jika dibandingkan dengan turbin angin skala besar. Kelebihan itu diantaranya tidak terbatasnya daerah atau lokasi pemasangan turbin angin karena ukurannya yang kecil sehingga dapat ditempatkan di daerah seperti perkotaan. Untuk turbin angin skala kecil, jenis *vertical axis wind turbine* (VAWT) sangatlah cocok digunakan di daerah perkotaan karena karakteristik VAWT yang dapat bergerak tanpa tergantung arah angin, hal ini sesuai dengan karakteristik angin perkotaan. Selain itu, VAWT dapat bergerak dan menghasilkan energi listrik pada kondisi kecepatan angin yang rendah. Penelitian ini fokus pada perancangan VAWT skala kecil yang dapat diaplikasikan pada kecepatan angin rendah dan berubah-ubah arah seperti karakteristik angin di perkotaan Indonesia serta analisis aerodinamika dan struktur menggunakan metode double-multiple stream-tube (DMS).

Fokus utama dari perancangan dan analisis sebuah turbin angin adalah menghasilkan turbin angin yang optimal dalam penggunaannya. Analisis turbin angin dapat dilakukan dengan pendekatan numerik maupun eksperimen. Analisis numerik turbin angin menghasilkan deskripsi tiga dimensi karakter aerodinamika maupun struksur dari turbin angin. Beberapa penelitian tentang perancangan dan analisis VAWT telah dilakukan sebelumnya antara lain oleh S. Brusca, R. Lanzafame dan M. Messina (2014) melakukan perancangan VAWT dengan konfigurasi *straight blade*. Dalam penelitiannya mereka menganalisis pengaruh aspek rasio terhadap performa turbin angin. Analisis dilakukan dengan software berbasis *multiple stream tube* (MST) metode. Hasil penelitiannya menunjukkan dengan berkurangnya nilai aspek rasio maka akan meningkatkan nilai performa turbin angin. Selanjutnya, pada tahun 2015, Niranjana.S.J melakukan perancangan dan pembuatan VAWT untuk pembangkit listrik. Hasil pengujian VAWT pada kondisi kecepatan angin 25m/s diperoleh power 1W dengan konfigurasi tinggi 1m dan diameter 0,6m. Selain itu, turbin angin yang telah dibuat dapat beroperasi pada kondisi kecepatan angin antara 0,4m/s sampai 35m/s. Pada tahun yang sama, MD. Saddam Hussen dkk. melakukan perancangan dan analisis rotor VAWT. Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan rancangan rotor yang memiliki performa yang tinggi melalui perubahan tipe rotor dari *straight blade* menjadi *twisted blade* dengan sudut *twist* 45° dan 90°. Selanjutnya, performa kedua tipe rotor dibandingkan dan dianalisis dan Analisis performa rotor dilakukan dengan pendekatan numerik menggunakan software ANSYS-FLUENT untuk analisis aerodinamikanya dan ANSYS-Structural untuk analisis strukturnya.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini melalui tahap-tahap sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahap ini, dilakukan pemahaman terhadap referensi-referensi yang berkaitan dengan topik penelitian, seperti buku, jurnal, dan sumber-sumber lain. Buku dan jurnal dapat berupa cetak maupun *online*.

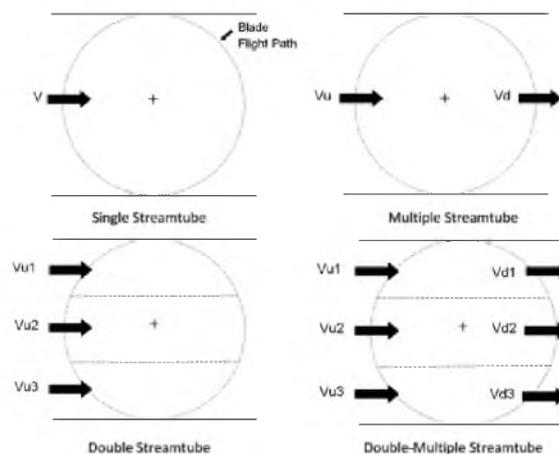
2. Perancangan

Pada tahap ini, dilakukan proses penentuan geometri *vertical axis wind turbine* (VAWT) berdasarkan kriteria yang diinginkan.

3. Analisis Aerodinamika

Pada tahap ini, dilakukan analisis performa aerodinamika rotor *vertical axis wind turbine* (VAWT). Analisis aerodinamika rotor turbin angin dilakukan menggunakan software QBlade yang berbasis metode *Double-Multiple Stream-tube* (DMS). Analisis meliputi pemetodean dan simulasi yang menghasilkan nilai karakteristik aerodinamika VAWT.

Metode DMS berdasarkan prinsip konservasi momentum yang diturunkan dari persamaan hukum Newton kedua. Metode ini telah sukses untuk memprediksi torsi dan beban *thrust* dari rotor tipe Darrieus. Ilustrasi penggunaan DMS untuk analisis VAWT dapat dilihat pada gambar 1.

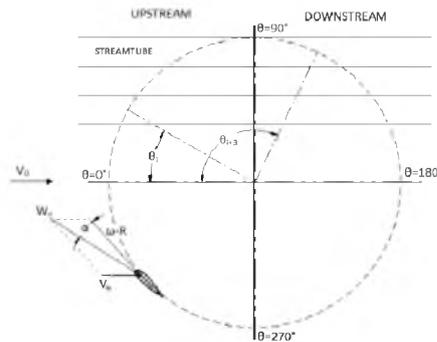


Gambar 1 Metode *stream-tube* untuk analisis VAWT

Metode DMS dikembangkan oleh I. Paraschivoiu untuk menghitung beban aerodinamika *blade* dan performa rotor pada VAWT tipe Darrieus dengan konfigurasi *straight blade* dan *curve blade*. Metode MDS mengaplikasikan teori piringan aktuator pada *upstream* dan *downstream* dari rotor. Teori ini menganggap turbin angin sebagai sebuah piringan yang menciptakan perubahan diskontinuitas tekanan dari aliran udara yang melewati *stream-tube*. Perubahan tekanan ini mengakibatkan perlambatan kecepatan udara yang menghasilkan kecepatan *induce*.

Swept area dibagi menjadi beberapa *stream-tube* dan didefinisikan oleh sudut θ yang merupakan sudut antara arah datang angin dengan posisi *stream-tube* pada rotor seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.

Analisis kondisi aliran udara dilakukan untuk setiap *stream-tube* dengan menggunakan kombinasi dari teori momentum dan teori *blade* elemen, selanjutnya menggunakan prinsip konservasi momentum. Setelah itu, *blade* dibagi menjadi N elemen dan analisis gaya (*lift* dan *drag*) pada *blade* yang merupakan fungsi dari bentuk *blade*.

Gambar 2 Pembagian *swept area* menjadi *stream-tube*

Kecepatan *induce* berkurang pada arah aksial *stream-tube*. Kecepatan *induce* pada daerah *upstream* rotor dapat dinyatakan dalam persamaan 1.

$$V_u = V_o a_u \quad (1)$$

Dimana V_u adalah kecepatan *induce upstream*, V_o adalah kecepatan angin dan a_u adalah faktor gangguan *upstream* yang nilainya kurang dari 1.

Pada daerah tengah antara *upstream* dan *downstream* terdapat kecepatan *induce equilibrium* yang dinyatakan dengan persamaan 2.

$$V_s = V_o (2a_u - 1) \quad (2)$$

Pada daerah *downstream* rotor, kecepatan *induce* dinyatakan dengan persamaan 3.

$$V_d = V_s a_d \quad (3)$$

Dimana V_d adalah kecepatan *induce downstream* dan a_d adalah faktor gangguan *downstream* yang nilainya lebih kecil dari a_u .

Dengan mengetahui kecepatan *induce* pada setiap daerah putaran *blade* maka dapat diketahui kecepatan resultan sehingga dapat dihitung gaya *lift* dan *drag* untuk setiap posisi *blade* yang kemudian dipakai untuk menghitung torsi dan koefisien power dari turbin angin.

Kecepatan resultan aliran udara dipengaruhi oleh kecepatan *induce* dan TSR lokal seperti dalam persamaan 4.

$$W_u = \sqrt{V_u^2 [(TSR - \sin^2 \theta)^2 + \cos^2 \theta]} \quad (4)$$

Dimana W_u adalah kecepatan aliran udara resultan dan TSR lokal didefinisikan dalam persamaan 5.

$$TSR = R \frac{\omega}{V_u} \quad (5)$$

Dimana R adalah radius rotor dan ω adalah kecepatan putar rotor.

Kecepatan aliran udara resultan digunakan untuk menghitung nilai bilangan Reynolds dari *blade*, dapat ditulis dalam persamaan 6.

$$R_{sb} = \frac{W_u c}{K_v} \quad (6)$$

Dimana R_{sb} adalah bilangan Reynold, c adalah panjang *chord blade* dan K_v adalah viskositas kinematik.

Sudut serang *blade* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 7.

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{\cos\theta \cos\alpha_0 - (TSR - \sin\theta) \sin\alpha_0}{\sqrt{[(TSR - \sin\theta)^2 + (\cos^2\theta)]}} \right) \quad (7)$$

Dimana α adalah sudut serang *blade* yang merupakan sudut yang dibentuk antara *chord blade* dengan arah kecepatan angin resultan. α_0 adalah sudut serang awal.

Untuk menghitung besar torsi dari *blade*, gaya *lift* dan *drag* dinyatakan dalam komponen arah tangensial dan komponen arah normal (radial). Koefisien gaya arah tangensial dan normal ditulis dalam persamaan 8.

$$C_n = C_l \cos \alpha + C_d \sin \alpha \quad (8a)$$

$$C_t = C_l \sin \alpha + C_d \cos \alpha \quad (8b)$$

Dimana C_n dan C_t adalah koefisien gaya normal dan tangensial, dan C_l dan C_d adalah koefisien gaya lift dan drag.

Faktor gangguan pada daerah upstream dapat dihitung dengan persamaan 9.

$$a_u = \frac{\pi}{f_{up} + \pi} \quad (9)$$

Dimana f_{up} adalah fungsi yang menyatakan karakter aliran pada daerah *upstream* yang dinyatakan dalam persamaan 10.

$$f_{up} = \frac{Nc}{8\pi R} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} |\sec \theta| (C_n \cos \theta - C_t \sin \theta) d\theta \quad (10)$$

Dimana N adalah jumlah *blade*.

Gaya tangensial dan gaya normal merupakan fungsi dari θ , dapat dihitung dalam persamaan 11.

$$F_n(\theta) = \frac{1}{2} \rho c L W^2 C_n \quad (11a)$$

$$F_t(\theta) = \frac{1}{2} \rho c L W^2 C_t \quad (11b)$$

Dimana F_n dan F_t adalah gaya normal dan tangensial, ρ adalah kerapatan udara, c adalah *blade chord*, L adalah panjang *blade* dan W adalah kecepatan angin relatif.

Torsi yang dihasilkan oleh *blade* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 12.

$$Q(\theta) = \frac{1}{2} \rho c R L C_t W^2 \quad (12)$$

Torsi rata-rata yang dihasilkan pada daerah *upstream* dapat dihitung dengan persamaan 13.

$$Q_{av} = \frac{N}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} Q(\theta) d\theta \quad (13)$$

Koefisien torsi rata-rata pada daerah *upstream* dapat dihitung dengan persamaan 14.

$$C_{q_{av}} = \frac{Q_{av}}{\frac{1}{2} \rho V_0^2 S R} \quad (14)$$

Dengan diketahui nilai $C_{q_{av}}$ maka koefisien power untuk daerah *upstream* dapat dihitung dalam persamaan 15.

$$C_{p_u} = C_{q_{av}} TSR \quad (15)$$

Untuk torsi rata-rata dan koefisien power dari rotor pada daerah *downstream* dihitung dengan menggunakan cara yang sama (persamaan 13-15). Total koefisien power dari rotor dihitung dengan persamaan 3.16.

$$C_{p_t} = C_{p_u} + C_{p_d} \quad (16)$$

Dimana C_{p_d} adalah koefisien power dari rotor pada daerah downstream.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perancangan VAWT

3.1.1 Batasan Perancangan Turbin Angin

Proses perancangan turbin angin dimulai dengan menentukan konsep turbin angin. Penentuan konsep turbin angin mempertimbangkan batasan-batasan yang menjadi acuan dalam proses perancangan. Batasan-batasan tersebut antara lain:

1. Turbin angin vertikal dirancang untuk kondisi urban/perkotaan (kecepatan angin rendah dan berubah-ubah arah). Kecepatan angin diasumsikan minimal 2,5m/s.
2. Ukuran turbin angin dalam skala kecil dengan diameter rotor 0,6m (ukuran turbin mempertimbangkan kemudahan dalam membuat rotor) dan nilai rasio tinggi per diameter rotor sebesar 1,2.
3. Jumlah *blade* ada 3 dan panjang *chord blade* rotor 0,08m untuk mendapatkan nilai soliditas lebih dari atau sama dengan 4 yang memberikan kemampuan putaran awal turbin angin.
4. Nilai *Tip Speed Ratio* (TSR) diperkirakan 2
5. Airfoil yang digunakan untuk penampang *rotor blade* adalah Selig 2027 (S2027) dengan koefisien *lift* pada sudut serang nol derajat adalah 0,3.

3.1.2 Perhitungan Geometri dan Perkiraan Performa Awal Rotor Turbin Angin

Tinggi Rotor

Berikut perhitungan geometri rotor:

$$H/D = 1,2$$

$$H/0,6 = 1,2$$

$$H = 0,72\text{m}$$

Nilai 1,2 merupakan perbandingan antara tinggi rotor dengan diameter rotor turbin, sehingga diperoleh tinggi rotor sebesar 0,72m.

Swept Area

Berikut perhitungan *swept area*:

$$S = 2R H$$

$$= 2 \times 0,3 \times 0,72$$

$$= 0,432\text{m}^2$$

Nilai *swept area* diperoleh sebesar 0,432m²

Power Angin

Berikut perhitungan estimasi *power* angin yang dihasilkan:

P_A = power angin

S = *swept area*

ρ = *density* udara [Nilai ρ pada kondisi *sea level* adalah 1.225kg/m^3]

V = *kecepatan* udara [$2,5\text{m/s}$]

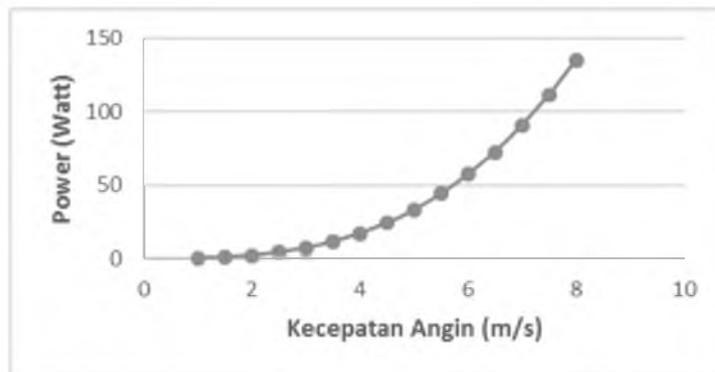
$$P_A = \frac{1}{2} \rho S V^3$$

$$P_A = 0,5 \times 1,225 \times 0,432 \times 2,5^3$$

$$P_A = 4,13\text{watt}$$

Nilai power angin diperoleh sebesar $4,13\text{watt}$

Power yang dihasilkan pada kecepatan angin $2,5\text{m/s}$ dan *swept area* $0,432\text{m}^2$ adalah $4,13\text{watt}$. Nilai power yang dihasilkan dari kecepatan angin 1 sampai 8m/s dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3 Grafik Hubungan Kecepatan Angin dengan Power Angin

Pada gambar 3 terlihat semakin tinggi kecepatan angin maka power yang dihasilkan oleh angin semakin besar.

Gaya Lift

Gaya *lift* adalah gaya yang dihasilkan sebagai akibat dari perbedaan tekanan akibat aliran udara pada suatu benda yang berbentuk airfoil (*blade* VAWT).

Berikut perhitungan gaya *lift* pada satu *blade* rotor:

$$S_{blade} = C H$$

$$= 0,08 \times 0,72$$

$$= 0,06\text{m}^2$$

$$L = \frac{1}{2} \rho V^2 S_{blade} C_L$$

$$= 0,5 \times 1,225 \times 2,5^2 \times 0,0576 \times 0,3$$

$$= 0,07\text{N}$$

Besar gaya *lift* pada satu *blade* diperoleh sebesar $0,07\text{N}$

Power Turbin

Untuk menghitung nilai power turbin terlebih dahulu dihitung nilai kecepatan putaran rotor menggunakan persamaan TSR.

$$\lambda = \frac{\omega R}{V}$$

$$2 = \frac{\omega \times 0,3}{2,5}$$

$$\omega = \frac{2,5 \times 2}{0,3}$$

$$= 16,67 \text{ rad/s atau}$$

Nilai kecepatan putaran rotor diperoleh sebesar 16,67rad/s.

Selanjutnya, perhitungan power turbin:

$$P_T = T \cdot \omega$$

$$P_T = (4RL)\omega$$

$$P_T = (4 \times 0,3 \times 0,07) \times 16,67$$

$$= 1,4 \text{ watt}$$

Nilai power yang dihasilkan turbin angin sebesar 1,4watt.

Koefisien Power

Koefisien power (C_p) adalah perbandingan antara power yang dihasilkan oleh kincir (P_K) dengan power yang disediakan oleh angin (P_A)

$$C_p = \frac{P_T}{P_A}$$

$$C_p = \frac{1,4}{4,13}$$

$$C_p = 0,34$$

Nilai koefisien power diperoleh sebesar 0,34.

Solidity

Berikut perhitungan nilai *solidity*:

$$\sigma = \frac{N c}{2R}$$

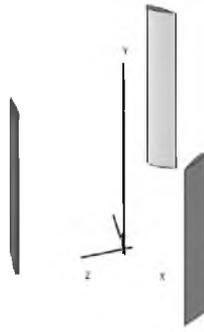
$$\sigma = \frac{3 \times 0,08}{2 \times 0,3}$$

$$\sigma = 0,4$$

Nilai *solidity* yang dihasilkan turbin angin sebesar 0,4.

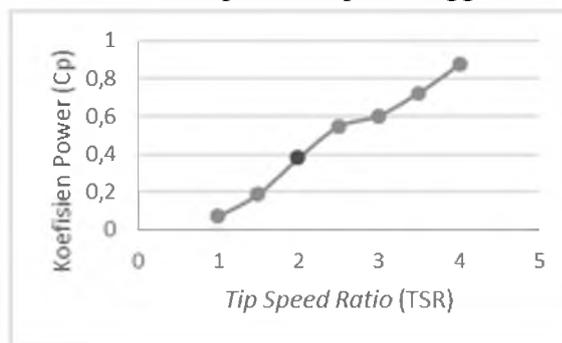
3.1.3 Analisis Aerodinamika Rotor VAWT

Analisis aerodinamika rotor turbin angin dilakukan dengan menggunakan bantuan software QBlade yang berbasis metode *Double-Multiple Stream-tube* (DMS). Dalam proses analisis, langkah pertama yang dilakukan adalah pemodelan rotor turbin angin menggunakan software QBlade seperti pada gambar 3.2.



Gambar 4 Metode Rotor Turbin Angin

Dari metode yang telah dibuat (gambar 4) dilakukan analisis dengan kondisi lingkungan yang sama seperti perhitungan perkiraan performa awal dan variasi parameter nilai TSR untuk mendapatkan nilai koefisien power (C_p) tertinggi.



Gambar 5 Grafik Hubungan Koefisien Power dan TSR Turbin Angin

Dari gambar 5 terlihat bahwa nilai koefisien power turbin angin 0,38 diperoleh pada saat nilai TSR turbin angin sama dengan 2. Jika nilai TSR yang diperoleh dari simulasi software dibandingkan dengan hasil perhitungan perkiraan performa awal, perbedaan nilai C_p tidak tepaut jauh (11%) sehingga dapat disimpulkan bahwa penentuan geometri dan perkiraan awal performa turbin angin sudah mendekati benar.

4. Kesimpulan

Dari hasil perancangan diperoleh geometri *vertical axis wind turbine* (VAWT) skala kecil dengan spesifikasi pada tabel 1.1:

Tabel 1.1 Spesifikasi Hasil Rancangan VAWT

Parameter	Ukuran
Diameter Turbin	0,6m
Tinggi rotor	0,72m
Jumlah blade	3
Panjang chord blade	0,08m
Jenis airfoil blade	Selig 2027 (S2027)
Sudut serang awal	0 deg

Hasil analisis aerodinamika menunjukkan nilai koefisien power turbin angin sebesar 0,38 diperoleh pada saat nilai TSR turbin angin sama dengan 2.

Daftar Pustaka

- MD.Saddam Hussien, Dr. K. Rambabu, M. Ramji, E. Srinivas, 2015, *Design and Analysis of Vertical Axis Wind Turbine Rotors*, International Journal on Recent Technologies in Mechanical and Electrical Engineering (IJRMEE), Volume:2, Issue:9, Hal.054-062.
- Niranjana S.J., 2015, *Power Generation by Vertical Axis Wind Turbine*, International Journal of Emerging Research in Management & Technology, Volume:4, Issue:7, Hal.1-7.
- S. Brusca, R. Lanzafame, M. Messina, 2014, *Design of a vertical-axis wind turbine: how the aspect ratio affects the turbine's performance*, International Journal of Energy and Environmental Engineering, Volume:5, Issue:4, Hal.333–340.
- Samia Tabassum dkk., 2015, *Design and Analysis of Different Types of Rotors for Pico-Turbine*, Scientific Research Publishing, Bangladesh Council of Scientific and Industrial Research, Dhaka, Bangladesh.
- Oliver Hammond, Shelby Hunt dan Emily Machlin., 2014, *Design of an Alternative Hybrid Vertical Axis Wind Turbine*, Bachelor Theses, Worcester Polytechnic Institute, United Stated.