

Jurnal Artikel

**Pengaruh Airfoil dan Jumlah Sudu pada perancangan Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) untuk Kecepatan Angin Rendah**

Sholichan<sup>1</sup>, Aep Saepul Uyun<sup>1\*</sup>, Bangun Novianto<sup>1</sup>, Fitriani<sup>1</sup>,  
 Riki Firmandha Ibrahim<sup>1</sup>, Didik Sugiyanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Energi Terbarukan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Darma Persada

<sup>2</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Darma Persada

\*<sup>1</sup>Corresponding author – Email: Aepsuyun@gmail.com

Artikel Info - : Received : 02 Januari 2023 ; Revised : 20 Januari 2023 ; Accepted: 12 Februari 2023

**Abstrak**

Selain potensi angin karena bentuk geografisnya, Indonesia juga memiliki potensi angin yang dapat dimanfaatkan dari pergerakan arus lalu lintas di jalan raya atau jalan tol. Pergerakan kendaraan berkecepatan tinggi di jalan raya menghasilkan angin lokal, yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Angin lokal ini memiliki variabilitas yang lebih kecil, terutama jika lalu lintas jalan raya konstan. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mendesain Vertical Axis Wind Turbine yang dapat bekerja pada kecepatan angin rendah. Pada pendekatan teoritis, software Qblade digunakan untuk menganalisa beberapa jenis Airfoil yaitu NACA 0012, NACA 0013, NACA 0014, NACA 0015, NACA 0016 dengan variasi sudu 2, 3 dan 4 angka pada masing-masing konfigurasi aerodinamis. Koefisien performa turbin angin sumbu vertikal yang optimal dapat diperoleh pada simulasi turbin yang menggunakan airfoil NACA 0016 sebesar 1,33 dengan konfigurasi jumlah sudu adalah empat buah pada TSR 3,5 sehingga diperoleh daya sebesar 87,78 watt pada kecepatan angin 5 m/s dan kecepatan putar 300 rpm.

**Kata kunci:** VAWT, Darrieus, Qblade

**Abstract**

Apart from wind potential due to its geographical shape, Indonesia also has wind potential which can be exploited from the movement of traffic flow on highways or toll roads. The movement of high-speed vehicles on the highway generates local wind, which can be used to generate electrical energy. These local winds have less variability, especially if road traffic is constant. The main objective of this research is to design a vertical axis wind turbines to operate in low wind speed. In the theoretical approach, Qblade software is used to analyze several types of airfoils, namely NACA 0012, NACA 0013, NACA 0014, NACA 0015, NACA 0016 with 2, 3 and 4 number blade variations on each aerodynamic configuration. The optimal vertical axis wind turbine performance coefficient can be obtained in a turbine simulation that uses a NACA 0016 airfoil of 1.33 with a configuration of four blades at a TSR of 3.5 so that a power of 87.78 watts is obtained at a wind speed of 5 m/s and rotating speed 300rpm.

**Keywords:** VAWT, Darrieus, Qblade

**1. PENDAHULUAN**

Karena letak geografis Indonesia yang berada di wilayah khatulistiwa maka

menyebabkan potensi energi anginnya relatif kecil. Namun, beberapa daerah memiliki potensi angin yang cukup besar karena efek nosel atau menyempitnya antara

dua pulau atau daerah lereng bukit antara dua gunung yang berdekatan. Diketahui bahwa potensi tenaga angin total di Indonesia pada tahun 2016 adalah sekitar 60.647 MW (DEN, 2020).

Pembangunan infrastruktur jalan tol pada rentang waktu satu dekade terakhir yang semakin meluas sehingga ada peluang untuk memanfaatkan potensi energi angin yang terjadi sebagai akibat dari adanya pergerakan kendaraan yang berkecepatan tinggi. Dengan mengaplikasikan turbin angin sumbu vertikal di area jalan raya atau tol maka memungkinkan untuk membangkitkan energi listrik yang dapat dimanfaatkan sebagai stasiun pengisian bahan bakar listrik mengingat perkembangan dan maraknya kendaraan listrik yang mulai digunakan secara masal.

Dari hasil observasi yang telah dilakukan oleh pane di sekitar jalan tol kemudian didapatkan data kecepatan angin tertinggi pada siang hari adalah 2,23 m/s, pada malam hari didapat kecepatan tertinggi mencapai 3,54 m/s kemudian diambil rata-rata kecepatan anginnya adalah 2,1 m/s (Pane, 2017).

Untuk mengkonversi potensi energi angin yang terdapat di jalan raya menjadi energi listrik yaitu dengan menggunakan sistem turbin angin, baik itu turbin angin sumbu horisontal maupun turbin angin sumbu vertikal. Tetapi untuk diterapkan di jalan raya dibutuhkan turbin angin yang mudah diproduksi, bentuk sederhana, dan biaya pembuatannya yang rendah. Turbin angin yang memenuhi kriteria tersebut adalah turbin angin dengan sumbu vertikal yang memiliki mekanisme yang sederhana dan dapat menangkap angin dari berbagai arah (Liu, Lin, & Zhang, 2016).

Turbin angin sumbu vertikal khususnya model Darrieus memang mempunyai banyak kelebihan dibanding dengan turbin angin sumbu horisontal. Tetapi turbin angin model darrieus bukan tidak mempunyai

kelemahan. Adapun kelemahan dari turbin angin sumbu vertikal ini yaitu efisiensi dayanya yang rendah dibanding dengan turbin dengan sumbu horisontal, kemudian hanya bilah dengan posisi upstream saja yang dapat menghasilkan torsi yang besar sehingga menyebabkan kemampuan self-starting turbin ini menjadi buruk. (Liu et al., 2019).

Dalam proses perancangan sudu turbin angin diperlukan adanya suatu bentuk aerodinamis yang dilakukan dengan menentukan bentuk geometri yang biasa disebut dengan airfoil yang merupakan suatu bagian penting pada sudu turbin sebagai media untuk menangkap aliran udara yang melewati permukaan suatu sudu (Pane, 2017).

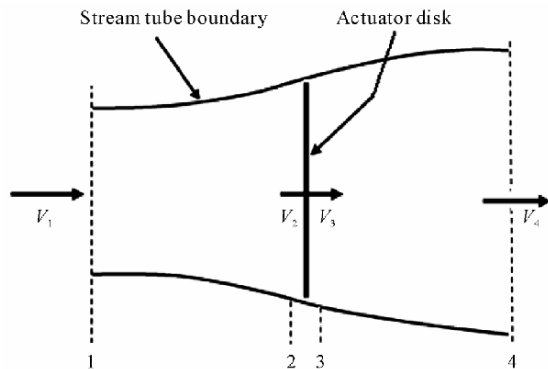
Untuk menetapkan geometri bentuk sudu dapat dipilih airfoil dengan tipe airfoil simetris NACA 00XX yang telah dikembangkan oleh National Advisory Committee for Aeronautics (NACA). Dalam pengkodean seri airfoil NACA 00XX mengandung arti bahwa kode angka 00 merupakan tanda bahwa airfoil tersebut tidak mempunyai camber atau simetris, dan dua kode angka dibelakang merupakan besarnya ketebalan airfoil dalam persen (%) dari panjangnya chord. Contohnya misal ada airfoil dengan kode NACA 0020 yang berarti airfoil tersebut mempunyai ketebalan sebesar 20% dari panjang chordnya, jika panjang chord adalah 10 cm maka ketebalan airfoilnya adalah 2 cm. (Chen et al., 2017).

Dalam penelitian ini akan dievaluasi koefisien performa turbin angin dengan mengembangkan simulasi untuk desain awal turbin angin sumbu vertikal dengan variasi tipe airfoil dan jumlah sudu.

## 2. TEORI

Sebuah model sederhana yang dapat digunakan untuk menentukan daya ideal dari rotor sebuah turbin, gaya dorong angin terhadap rotor, dan efek dari operasional

rotor pada angin lokal. Analisa ini disebut dengan volume atur yang menggambarkan batas aliran yang berada di kedua sisi sebuah tabung. Posisi turbin digambarkan berada di tengah volume atur dan berbentuk "cakram aktuator" sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Beri & Yao, 2011)



Gambar 2.1 Sebuah model volume atur (Beri & Yao, 2011)

Berdasarkan hukum kekekalan momentum yang terjadi pada volume atur maka akan didapatkan gaya total yang terjadi didalam volume atur. Gaya tersebut nilainya sama dan berlawanan dengan gaya dorong atau *Thrust* ( $T$ ) (Beri & Yao, 2011).

$$T = V_1(\rho AV)_1 - V_4(\rho AV)_4 \quad (2.1)$$

Dimana  $\rho$  adalah massa jenis udara,  $A$  adalah luas area penampang dan  $V$  adalah kecepatan aliran udara.

Untuk aliran dengan kondisi tunak (steady)  $(\rho AV)_1 = (\rho AV)_4 = m$ , dimana "m" adalah laju aliran massa. Kemudian dapat ditulis menjadi:

$$T = m (V_1 - V_4) \quad (2.2)$$

Gaya dorong (*Thrust*) bernilai positif sehingga kecepatan aliran udara di belakang rotor  $V_4$  lebih kecil daripada aliran udara bebas  $V_1$ . Kemudian dapat diterapkan persamaan Bernoulli pada kedua sisi volume atur yang mengenai cakram rotor. Pada posisi upstream persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 \quad (2.3)$$

Kemudian pada posisi downstream persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

$$p_3 + \frac{1}{2}\rho V_3^2 = p_4 + \frac{1}{2}\rho V_4^2 \quad (2.4)$$

Dimana diasumsikan bahwa tekanan pada posisi sebelum upstream dan kecepatan pada posisi setelah downstream adalah sama  $p_1 = p_4$ , dan kecepatan aliran yang melewati cakram rotor juga sama  $V_1 = V_4$ . Gaya dorong (*Thrust*) dapat juga dinyatakan sebagai jumlah gaya total pada tiap sisi cakram rotor sebagai:

$$T = A_2(p_2 - p_3) \quad (2.5)$$

Untuk memecahkan persamaan  $p_2 = p_3$  menggunakan persamaan **Error! Reference source not found.** dan **Error! Reference source not found.** kemudian disubstitusikan pada persamaan **Error! Reference source not found.** kemudian diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$T = \frac{1}{2}\rho A_2(V_1^2 - V_4^2) \quad (2.6)$$

Dari persamaan gaya dorong **Error! Reference source not found.** dan **Error! Reference source not found.** dan diketahui bahwa laju aliran massa adalah  $A_2 V_2$  maka:

$$V_2 = \frac{V_1 + V_4}{2} \quad (2.7)$$

Dengan menggunakan model sederhana ini diperoleh bahwa kecepatan angin pada bidang cakram rotor adalah rata-rata dari kecepatan angin upstream dan downstream. Jika didefinisikan bahwa faktor induksi aksial adalah  $a$  sebagai penurunan fraksional pada kecepatan angin antara aliran bebas dan cakram rotor maka didapat:

$$a = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \quad (2.8)$$

$$V_2 = V_1(1 - a) \quad (2.9)$$

$$V_4 = V_1(1 - 2a) \quad (2.10)$$

Berdasarkan persamaan **Error! Reference source not found.**, **Error! Reference source not found.** dan **Error! Reference source not found.** maka gaya dorong aksial yang terjadi pada cakram rotor adalah:

$$T = \frac{1}{2} \rho V_1^2 [4a(1 - a)] \quad (2.11)$$

Kemudian gaya dorong menurut (Li, 2015) pada turbin angin dapat diubah menjadi persamaan yang bersifat non-dimensional sebagai koefisien gaya dorong yang ditulis seperti berikut:

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho A V^2} = \frac{\text{Thrust force}}{\text{Dynamic force}} \quad (2.12)$$

Dari persamaan **Error! Reference source not found.** diatas telah diketahui bahwa koefisien gaya dorong  $C_T$  dari sebuah turbin angin adalah sama dengan  $4a(1 - a)$  (Beri & Yao, 2011).

### 3. METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah Model Double Multiple Stream tube (DMST) yang dikembangkan oleh Paraschivoiu yang memungkinkan adanya perbedaan lintasan antara upwind dan downwind dari setiap bilah dengan membagi setiap tabung aliran menjadi dua bagian dimana yang setengah menghadap pada posisi upwind dan setengahnya lagi pada posisi downwind (Altmimi, 2021).

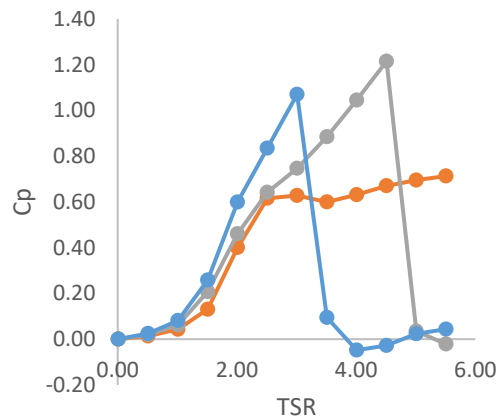
Dalam pendekatan teoritis digunakan perangkat lunak Qblade untuk menganalisis beberapa macam airfoil yaitu NACA 0012, NACA 0013, NACA 0014, NACA 0015, NACA 0016 dengan variasi 2, 3 dan 4 jumlah sudu pada setiap airfoil dengan sudut pitch tetap (fixed).

Parameter	Spesifikasi
Rotasi axis	Vertikal
Tinggi Turbin	1 m
Diameter Rotor	1 m

Airfoil	NACA 0012, NACA 0013, NACA 0014, NACA 0015, NACA 0016
Jumlah sudu	2,3,4
Luas area sapuan	1 m <sup>2</sup>
Rentang kecepatan angin	1 – 5 m/s
Rentang RPM	100 – 500 RPM

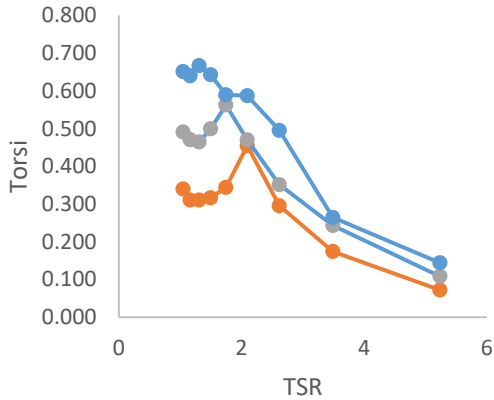
### 4. PEMBAHASAN

Setelah dilakukan simulasi pada desain turbin angin sumbu vertikal straight blade dengan perangkat lunak Qblade dengan memasukkan beberapa tipe airfoil antara lain NACA 0012, NACA 0013, NACA 0014, NACA 0015, NACA 0016 dan serta variasi pada jumlah sudu pada rotor maka didapatkan hasil sebagai berikut.

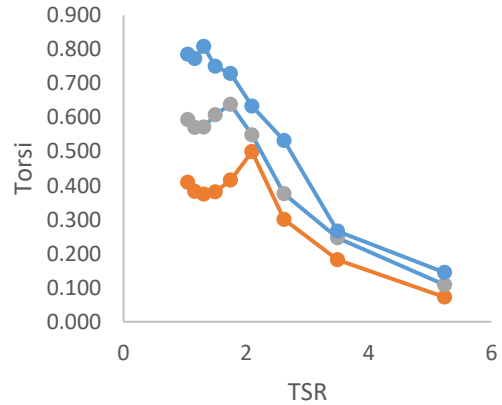


Gambar 4.1 grafik Cp vs TSR NACA 0012 2 sudu, 3 sudu, 4 sudu

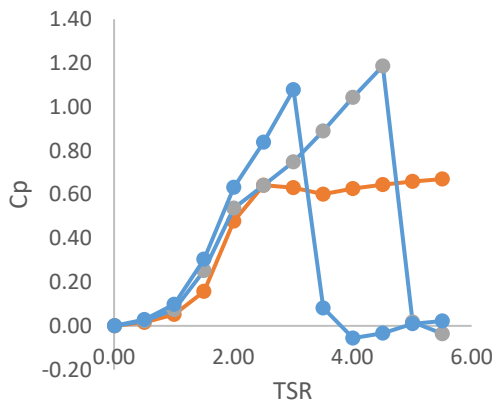
Pada turbin angin sumbu vertikal yang menggunakan airfoil NACA0012 dengan jumlah sudu dua buah diperoleh Cp optimal adalah 0.3 pada TSR 3, jumlah sudu tiga buah diperoleh Cp optimal adalah 1.21 pada TSR 4.5, jumlah sudu empat buah diperoleh Cp optimal adalah 1.07 pada TSR 3. Torsi tertinggi pada turbin angin dengan airfoil NACA 0012 dengan 2 buah sudu dicapai pada TSR 2 sebesar 0.45 NM, dengan 3 buah sudu dicapai pada TSR 1.75 sebesar 0.56 NM, dengan 4 buah sudu dicapai pada TSR 1.31 sebesar 0.67 NM.



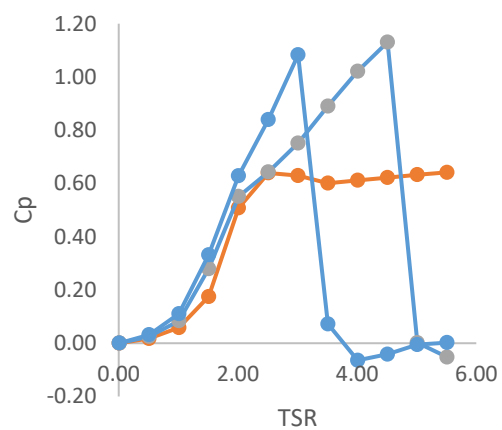
Gambar 4.2 grafik Torsi vs TSR NACA 0012 2 sudu, 3 sudu, 4 sudu



Gambar 4.4 grafik Torsi vs TSR NACA 0013 2 sudu, 3 sudu, 4 sudu



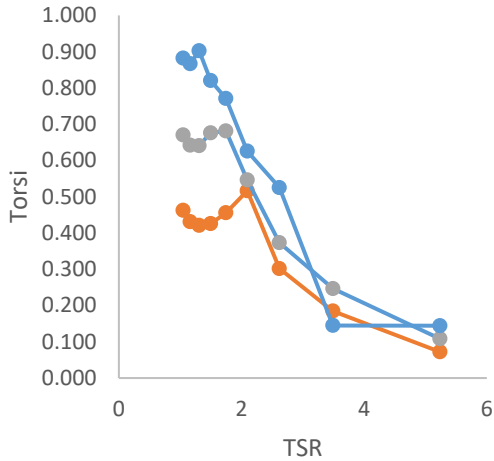
Gambar 4.3 grafik Cp vs TSR NACA 0013 2 sudu, 3 sudu, 4 sudu



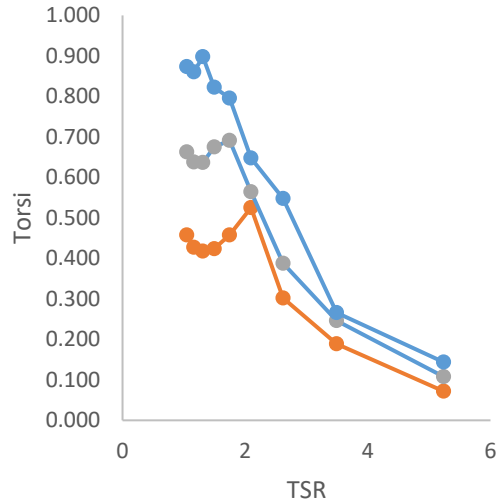
Gambar 4.5 grafik Cp vs TSR NACA 0014 2 sudu, 3 sudu, 4 sudu

Pada turbin angin sumbu vertikal yang menggunakan airfoil NACA0013 dengan jumlah sudu dua buah diperoleh Cp optimal adalah 0.64 pada TSR 2.5, jumlah sudu tiga buah diperoleh Cp optimal adalah 1.19 pada TSR 4.5, jumlah sudu empat buah diperoleh Cp optimal adalah 1.08 pada TSR 3. Torsi tertinggi pada turbin angin dengan airfoil NACA 0013 dengan 2 buah sudu dicapai pada TSR 2.09 sebesar 0.50 NM, dengan 3 buah sudu dicapai pada TSR 1.75 sebesar 0.64 NM, dengan 4 buah sudu dicapai pada TSR 1.31 sebesar 0.81 NM.

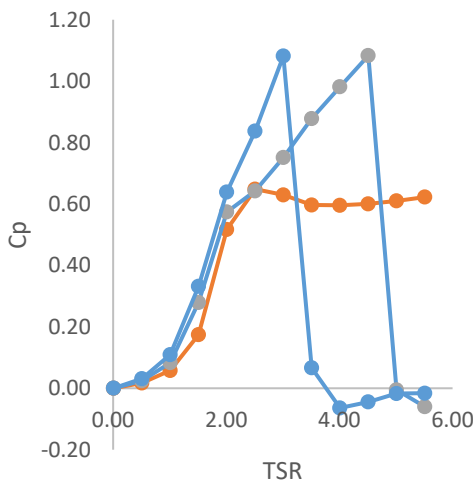
Pada turbin angin sumbu vertikal yang menggunakan airfoil NACA0014 dengan jumlah sudu dua buah diperoleh Cp optimal adalah 0.64 pada TSR 2.5, jumlah sudu tiga buah diperoleh Cp optimal adalah 1.13 pada TSR 4.5, jumlah sudu empat buah diperoleh Cp optimal adalah 1.08 pada TSR 3. Torsi tertinggi pada turbin angin dengan airfoil NACA 0014 dengan 2 buah sudu dicapai pada TSR 2.09 sebesar 0.52 NM, dengan 3 buah sudu dicapai pada TSR 1.50 sebesar 0.68 NM, dengan 4 buah sudu dicapai pada TSR 1.31 sebesar 0.90 NM.



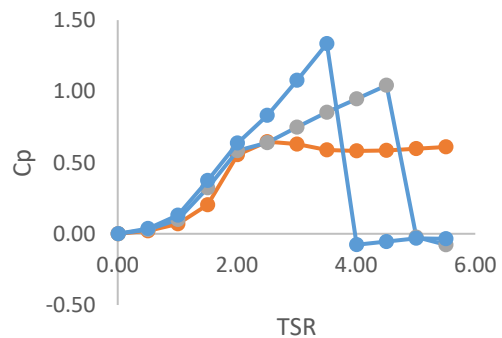
Gambar 4.6 grafik Torsi vs TSR NACA 0014 2 sudu, 3 sudu, 4 sudu



Gambar 4.8 grafik Torsi vs TSR NACA 0015 2 sudu, 3 sudu, 4 sudu

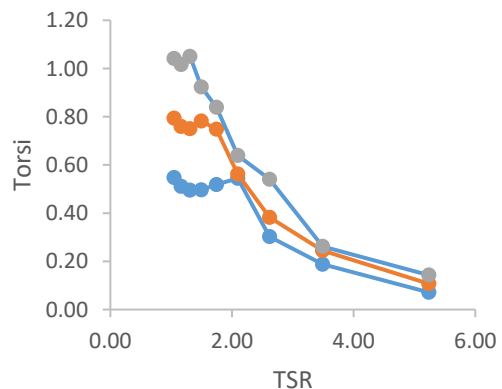


Gambar 4.7 grafik Cp vs TSR NACA 0015 2 sudu, 3 sudu, 4 sudu



Gambar 4.9 grafik Cp vs TSR NACA 0016 2 sudu, 3 sudu, 4 sudu

Pada turbin angin sumbu vertikal yang menggunakan airfoil NACA0014 dengan jumlah sudu dua buah diperoleh Cp optimal adalah 0.64 pada TSR 2.5, jumlah sudu tiga buah diperoleh Cp optimal adalah 1.13 pada TSR 4.5, jumlah sudu empat buah diperoleh Cp optimal adalah 1.08 pada TSR 3. Torsi tertinggi pada turbin angin dengan airfoil NACA 0015 dengan 2 buah sudu dicapai pada TSR 2.09 sebesar 0.53 NM, dengan 3 buah sudu dicapai pada TSR 1.75 sebesar 0.69 NM, dengan 4 buah sudu dicapai pada TSR 1.31 sebesar 0.90 NM.



Gambar 4.10 grafik Torsi vs TSR NACA 0016 2 sudu, 3 sudu, 4 sudu

Pada turbin angin sumbu vertikal yang menggunakan airfoil NACA0016 dengan jumlah sudu dua buah diperoleh Cp optimal adalah 0.65 pada TSR 2.5, jumlah sudu tiga buah diperoleh Cp optimal adalah 1.04

pada TSR 4.5, jumlah sudu empat buah diperoleh  $C_p$  optimal adalah 1.33 pada TSR 3.51. Torsi tertinggi pada turbin angin dengan airfoil NACA 0016 dengan 2 buah sudu dicapai pada TSR 2.09 sebesar 0.54 NM, dengan 3 buah sudu dicapai pada TSR 1.05 sebesar 0.79 NM, dengan 4 buah sudu dicapai pada TSR 1.31 sebesar 1.05 NM.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil desain dan simulasi turbin angin sumbu vertikal TASV tipe Darrieus straight blade yang telah dilakukan dengan perangkat lunak Qblade dengan lima variasi airfoil dan dengan 3 variasi jumlah sudu maka selanjutnya dapat ditarik kesimpulan bahwa koefisien performa turbin angin sumbu vertikal yang optimal dapat diperoleh pada simulasi turbin yang menggunakan airfoil NACA 0016 sebesar 1.33 dengan konfigurasi jumlah sudu adalah empat buah pada TSR 3.5 sehingga diperoleh daya sebesar 87.78 watt pada kecepatan angin 5 m/s dan kecepatan putar 300 rpm.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- A. I. Altmimi, M. Alaskari, O. I. Abdullah, A. Alhamadani, and J. S. Sherza, "Design and Optimization of Vertical Axis Wind Turbines Using QBlade," pp. 1–11, 2021.
- C. Lapointe and H. Gopalan, "Numerical Investigation of Mini Wind Turbines Near Highways," *J. Sol. Energy Eng. Trans. ASME*, vol. 138, no. 2, pp. 1–4, 2016, doi: 10.1115/1.4032428.
- Chen, F., Zhang, L., Huai, X., Li, J., Zhang, H., & Liu, Z. (2017). Comprehensive performance comparison of airfoil fin PCHEs with NACA 00XX series airfoil. *Nuclear Engineering and Design*, 315, 42–50. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2017.02.014>
- Dewan Energi Nasional (DEN), Bauran Energi Nasional 2020. 2020.
- E. Pane, "Optimasi perancangan turbin angin vertikal tipe darrieus untuk penerangan di jalan tol," no. November, pp. 1–2, 2017.
- H. Beri and Y. Yao, "Double Multiple Stream Tube Model and Numerical Analysis of Vertical Axis Wind Turbine," vol. 2011, no. July, pp. 262–270, 2011, doi: 10.4236/epe.2011.33033.
- J. Liu, H. Lin, and J. Zhang, "Review on the technical perspectives and commercial viability of vertical axis wind turbines," *Ocean Eng.*, vol. 182, no. April, pp. 608–626, 2019, doi:10.1016/j.oceaneng.2019.04.086.
- Q. Li, T. Maeda, Y. Kamada, J. Murata, K. Furukawa, and M. Yamamoto, "Effect of number of blades on aerodynamic forces on a straight-bladed Vertical Axis Wind Turbine," *Energy*, vol. 90, pp. 784–795, 2015, doi: 10.1016/j.energy.2015.07.115.