



Research article

Pengaruh Koefisien Performa pada Turbin Angin Sumbu Horizontal Tipe *Taperless* dengan Variasi Jumlah Bilah Guna Mendukung Ketahanan Energi di Wilayah Jawa Barat

Anang Budi Sutarsa^{1,*}, Deny Bayu Saefudin², Wahyu Hidayat³, Sovian Aritonang⁴, Maykel Manawan⁵
^{1,4} Prodi Teknologi Daya Gerak, Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan, Jakarta, Indonesia.
^{2,3} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Manufaktur, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Jawa Barat, Indonesia.

*Corresponding author: anangbudis50@gmail.com

ARTICLE INFO

Article History:

Received : 31 May 2024

Revised : 05 July 2024

Accepted : 12 Juny 2024

Available online: 12 July 2024

Keywords: Fossil energy, performance coefficient, renewable energy, wind energy, wind turbine

ABSTRACT

Until now, most of the energy we use comes from the use of fossil energy, where the availability of fossil energy will decrease and will run out over time. To reduce dependence on fossil energy, it needs to be developed as an environmentally friendly renewable energy source, such as the use of wind energy. Currently, the use of wind energy continues to be developed, one of which is the wind energy conversion system which utilizes wind energy sources into electrical energy by converting wind kinetic energy into mechanical energy through wind turbine blades which becomes electrical energy through generators. This research analyzes the performance of horizontal shaft wind turbines with variations in the number of blades to find the optimal coefficient of performance (C_p) value. Testing was carried out through mathematical simulation using *Q Blade v 0.96* software, with variations in the number of blades of 3, 4 and 5, and a wind speed range from 3 m/s to 12 m/s. The C_p calculation results obtained were 27.33% for a 3-blade wind turbine, 33.35% for a 4-blade wind turbine, and 37.68% for a 5-blade wind turbine. So from these calculations a 4 blade wind turbine has a C_p value range of 6.02% difference from a 3 blade wind turbine, while the C_p range of a 5 blade wind turbine has a difference of 4.33% from a 4 blade wind turbine.

ABSTRAK

Kata Kunci: Energi fosil, energi terbarukan, koefisien performa, turbin angin, energi angin.

Hingga kini sebagian besar energi yang kita gunakan berasal dari pemanfaatan energi fosil, yang dimana energi fosil ketersediaannya akan mengalami pengurangan dan akan habis dengan seiringnya waktu. Untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil yang perlu dikembangkan sebagai sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan, seperti pemanfaatan energi angin. Saat ini pemanfaatan energi angin terus dikembangkan salah satunya adalah sistem konversi energi angin yang memanfaatkan sumber energi angin menjadi energi listrik dengan cara mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi mekanik melalui bilah-bilah turbin angin yang menjadi energi listrik melalui generator. Penelitian ini menganalisis kinerja turbin angin poros horizontal dengan variasi jumlah bilah untuk menemukan nilai koefisien performa (C_p) yang optimal. Pengujian dilakukan melalui simulasi secara matematis dengan menggunakan perangkat lunak Q Blade v 0.96, dengan variasi jumlah bilah sebanyak 3, 4, dan 5, serta rentang kecepatan angin dari 3 m/s hingga 12 m/s. Hasil perhitungan C_p diperoleh sebesar 27,33 % untuk turbin angin 3 bilah, sebesar 33,35 % untuk turbin angin 4 bilah, dan sebesar 37,68 % untuk turbin angin 5 bilah. Sehingga dari perhitungan tersebut turbin angin 4 bilah memiliki rentang nilai C_p sebesar 6,02 % selisih dari turbin angin 3 bilah, sedangkan rentang C_p turbin angin 5 bilah memiliki selisih sebesar 4,33 % dari turbin angin 4 bilah

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan salah kebutuhan utama sehari-hari yang kita jumpai, pada saat ini energi listrik sangat dibutuhkan dan terus banyak peningkatan disetiap tahunnya dikarenakan kemajuan teknologi yang terus berkembang maka energi listrik pun akan terus meningkat salah satunya adalah pada saat ini banyak nya kendaraan listrik yang terus diproduksi demi mengurangi polusi udara[1]. Pada saat ini sumber energi listrik rata-rata berasal dari pemanfaatan energi fosil seperti bahan bakar padat maupun bahan bakar cair namun hal itu kedepannya akan semakin berkurang karena energi fosil memiliki batas ketersediaannya[2]. Ekplorasi dan eksploitasi terhadap energi fosil yang semakin meningkat serta tidak diiringi dalam membatasi pemanfaatan energi fosil maka akan semakin cepat berkurang, padahal jumlah energi fosil yang terbatas dan tidak dapat diperbaharui akan menimbulkan masalah yaitu krisis energi di kemudian hari[3]. Hal ini yang mendorong para peneliti untuk mencoba terus untuk mengembangkan sumber-sumber energi baru dan terbarukan yang berasal dari energi alternatif yang belum banyak dikembangkan dan dimanfaatkan dengan baik, supaya tidak ketergantungan terhadap energi fosil yang mendominasi selama ini[4].

Pada saat ini energi yang ramah lingkungan harus banyak dimanfaatkan sebaik mungkin karena tidak banyak menimbulkan polusi seperti energi fosil. Salah satunya adalah pemanfaatan energi angin, energi angin termasuk sumber energi terbarukan yang tidak banyak menimbulkan polusi dan tidak mencemari udara sekitar serta energi angin tidak memiliki batas jumlahnya[5]. Pada dasarnya energi angin tidak dapat langsung dimanfaatkan begitu saja, oleh sebab itu dibutuhkanlah media yang bisa mengkonversi energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik untuk menggerakkan poros turbin yang selanjutnya diteruskan ke generator yang mengkonversi

energi mekanik menjadi listrik[6].

Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) yang kita kenal adalah dua turbin angin pada umumnya yaitu turbin angin poros horizontal dan turbin angin poros vertikal merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang memanfaatkan angin sebagai energi pembangkitnya. Karena angin terdapat dimana-mana sehingga mudah untuk didapatkan serta tidak membutuhkan biaya yang banyak. Karena listrik tidak dihasilkan langsung oleh alam maka untuk memanfaatkan energi angin ini di perlukan sebuah alat yang bekerja dan menghasilkan energi listrik[7].

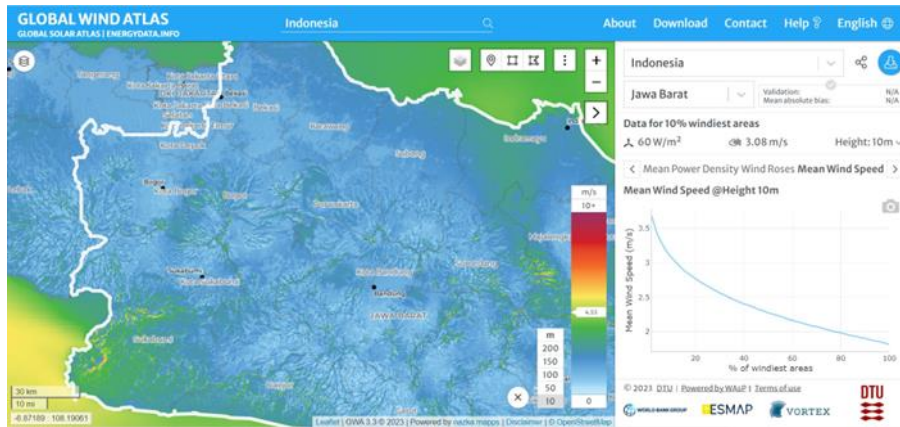
Energi angin merupakan salah satu energi yang tidak akan pernah habis dan merupakan energi terbarukan yang memiliki potensi yang sangat besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik yang pada saat ini kebutuhan energi listrik terus meningkat. Angin merupakan massa aliran udara yang disebabkan oleh perbedaan tekanan dari suatu daerah yang memiliki ketinggian yang berbeda. Indonesia merupakan negara yang beriklim tropis yang memiliki banyak potensi energi angin yang besar, tetapi sampai saat ini negara Indonesia belum bisa memanfaatkan secara penuh untuk menunjang kebutuhan energi listrik. Potensi energi angin di wilayah Indonesia umumnya memiliki kecepatan angin rata-rata sebesar 3 m/s – 12 m/s berdasarkan hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.

Turbin angin merupakan alat konversi energi yang memanfaatkan energi angin sebagai sumber utama untuk menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik. Berdasarkan jenis turbin angin terdapat 2 jenis turbin angin yaitu Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) dan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV). Sedangkan bila dilihat dari fungsi aerodinamika, maka dari ke 2 jenis tersebut adalah yang pertama yaitu tipe *lift* yang memanfaatkan gaya angkat sebagai gaya untuk menggerakkan generator dan yang ke dua adalah yaitu tipe *drag* yang memanfaatkan gaya hambat untuk memutar generator turbin. Gaya ini terjadi akibat aliran udara yang menerpan bilah-bilah turbin angin[8].

Turbin angin jenis poros horizontal yang memiliki bentuk bilah seperti baling-baling pada umumnya. Turbin angin yang berukuran kecil harus diarahkan sesuai dengan arah angin dengan sistem pengarah angin berbentuk ekor pada ujung generator, sedangkan turbin angin yang berukuran besar pada umumnya pengarah angin menggunakan motor servo dan sensor arah angin. Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki karakteristik bilah yang kaku yang agar tidak melengkung saat kecepatan angin tinggi. Turbin angin tipe horizontal mempunyai bilah dengan bentuk pipih yang melintang dimana aliran udara pada salah satu sisinya dapat bergerak lebih cepat dari pada aliran udara di sisi yang lain ketika angin melewatinya bilah. Fenomena ini menimbulkan daerah tekanan rendah pada belakang sudu dan daerah tekanan tinggi pada sisi depan sudu. Perbedaan ini membentuk gaya yang menyebabkan bilah berputar [9].

2. METODE PENELITIAN

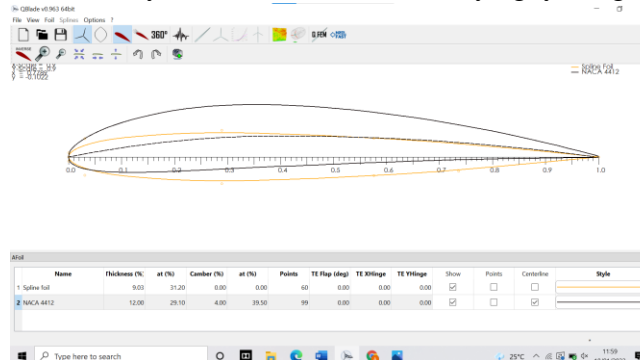
Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode simulasi pada turbin angin sumbu horizontal dengan tipe bilah *taperless* dengan beberapa macam variasi jumlah bilah. Penelitian ini dilakukan menggunakan aplikasi Q Blade v 0.96 yang digunakan untuk menentukan koordinat *airfoil* selain menentukan koordinat yaitu pembuatan desain bilah dengan 3 variasi jumlah bilah. Pada penelitian yang dilakukan menggunakan profil *airfoil* NACA 4412 dengan diameter turbin angin sebesar 120 cm pada ketinggian 10 meter dari permukaan tanah.



Gambar 1. Data kecepatan angin di wilayah Jawa Barat

2.1 Airfoil

Airfoil merupakan struktur yang memiliki bentuk geometris tertentu untuk menghasilkan gaya angkat dari sebuah aliran fluida yang menghasilkan gaya angkat (C_L) yang lebih besar dari gaya hambat (C_D). Gaya angkat yang terjadi pada *airfoil* karena kecepatan aliran udara di permukaan atas pada *airfoil* lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan aliran udara yang dibawah permukaan *airfoil*[12]. Parameter bentuk geometri dari *airfoil* tersebut akan menentukan besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh *airfoil* adalah ketebalan maksimumnya. Semakin jauh posisi ketebalan maksimum dengan ujung awal maka akan mengakibatkan peningkatan kecepatan aliran udara yang melewati permukaan *airfoil* sehingga hal tersebut terjadi pada permukaan atas *airfoil* akan menyebabkan semakin besarnya gaya angkat[10].

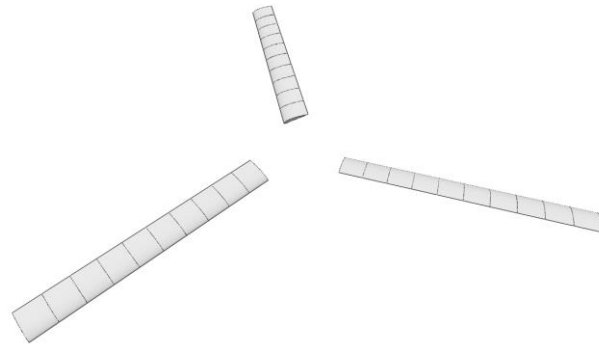


Gambar 2. Airfoil NACA 4412

2.2 Bentuk Bilah Dengan Airfoil NACA 4412

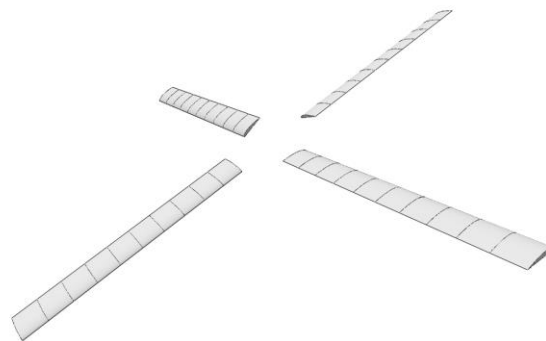
Saat akan melakukan simulasi ada beberapa hal yang perlu diinput pada saat melakukan simulasi membuat bentuk sebuah bilah. *Point* tersebut diantaranya yaitu menentukan jumlah bilah yang akan disimulasikan, radius hub dan sudut *twist* pada bilah. Dari *point* tersebut diinput pada masing-masing percobaan yaitu variasi jumlah bilah dengan variasi bilah 3 – 5. Disini penulis akan menyajikan bentuk variasi bilah dengan *airfoil* NACA 4412 dengan sudut *pitch* 15° pada gambar berikut.

New Blade 3



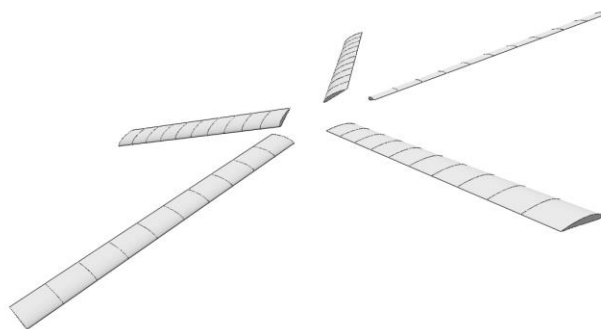
Gambar 3. Bentuk 3 bilah

New Blade 4



Gambar 4. Bentuk 4 bilah

New Blade 5



Gambar 5. Bentuk 5 bilah

2.3 Menghitung Bilang Reynold

Tahap pertama sebelum melakukan proses simulasi menggunakan aplikasi Q Blade v 0.96 adalah menentukan variable yang digunakan dengan menghitung nilai Reynold. Berikut adalah parameter dan ukuran yang akan digunakan dalam proses penelitian.

1. Untuk menentukan nilai Reynold Number menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot c}{\mu}$$

Keterangan :

c = Panjang chord/lebar bilah [m]

Re= Bilangan Reynolds

ρ = Massa jenis fluida [kg/m^3]

V = Kecepatan angin [m/s]

2. Setelah mendapatkan nilai Reynold berdasarkan parameter dan nilai yang telah di tentukan. Nilai Reynold dihitung berdasarkan kecepatan angin relatif serta ukuran diameter turbin untuk lebih jelasnya terdapat pada Tabel 1. Dengan parameter kecepatan angin relatif (W) dan kecepatan angin absolut yang menerpa turbin (V).

Tabel 1. Perhitungan Reynold (Re)

Kecepatan Angin [m/s]	r [m]	Ur [m/s]	Wr [m/s]	Re	
3	0,1	1,75	3,4	27940	-
	1,2	21	21,2	170654	-
4	0,1	2,3	4,6	38105	-
	1,2	28	28,2	232739	-
5	0,1	2,9	5,7	46566	-
	1,2	35	35,3	284422	-
6	0,1	3,5	6,9	55880	-
	1,2	42	42,42	341307	-
7	0,1	4 - 49	8,1	65193	-
	1,2		49,49	398192	-
8	0,1	4,6	9,2	74506	-
	1,2	56	56,56	455076	-
9	0,1	5,25	10,41	83820	-
	1,2	63	63,63	511961	-
10	0,1	5,8	11,5	93133	-
	1,2	70	70,7	568845	-
11	0,1	6,4	12,7	102447	-
	1,2	77	77,7	625730	-
12	0,1	7 - 84	13,8	111760	-
	1,2		84,85	682615	-

Keterangan :

r = Jari-jari elemen [m]

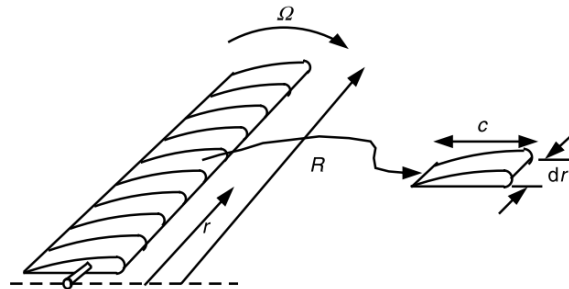
Ur = Kecepatan tangensial setiap elemen bilah [m/s]

Wr = Kecepatan relatif setiap elemen [m/s]

Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan rentang bilangan Reynold yang berbeda diakibatkan oleh kecepatan angin yang berbeda. Pada simulasi yang akan dilakukan pada *software* Q Blade v 0.96. menggunakan bilangan Reynold dari yang terkecil yaitu 27940 hingga yang terbesar yaitu 682615.

2.4 Gaya Aerodinamika pada Turbin

Blade element momentum theory atau teori momentum elemen bilah merupakan gabungan dari teori momentum yang dikemukakan pertama kali oleh Rankine-Froude pada tahun 1878, dengan teori elemen bilah[10]. Teori momentum, biasa disingkat MT (*momentum theory*), yang dikemukakan oleh Rankine dan Froude dimodifikasi pertama kali oleh Betz di tahun 1921 dan kemudian disempurnakan oleh Glauert pada tahun 1926[13]. Teori tersebut berisi tentang model matematik untuk perhitungan daya ideal turbin angin, gaya dorong angin terhadap turbin dan efek operasi turbin terhadap kondisi angin sekitar dengan menerapkan prinsip perhitungan momentum linier pada model *actuator disk*. Sedangkan teori elemen bilah, atau biasa disingkat BET (*blade element theory*), menjelaskan prinsip perhitungan gaya-gaya aerodinamika bilah secara elemental[11].



Gambar 6. Skema elemen pada bilah

$$dQ = B \frac{1}{2} \rho W^2 (C_L \cos\phi - C_D \sin\phi) c r dr$$

$$dP = \Omega dQ$$

Keterangan :

B = Jumlah bilah

C_D = Koefisien *drag*

C_L = Koefisien *lift*

c = *Chord line* [m]

dr = Panjang bilah per elemen [m]

dP = Daya setiap elemen [Watt]

dQ = Torsi setiap elemen [N.m]

W = Kecepatan angin relatif [m/s]

r = Jari-jari setiap elemen [m]

Ω = Kecepatan tangensial [m/s]

2.5 Koefisien Performa

Koefisien performa merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh turbin angin dengan daya angin :

$$dC_p = \frac{dP}{\frac{1}{2}\rho AV}$$

Keterangan :

A = Luas penampang [m^2]

dC_p = Koefisien perforema daya setiap elemen

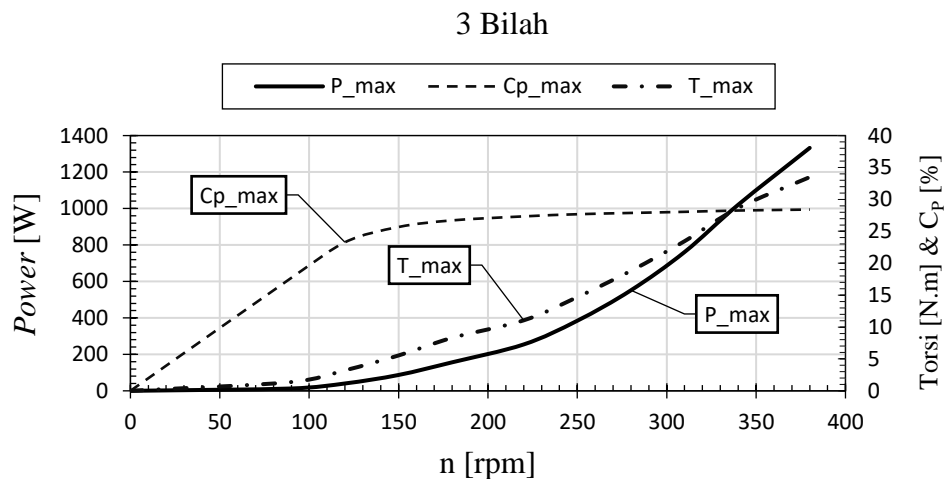
dP = Daya setiap elemen [Watt]

ρ = Massa jenis fluida [kg/m^3]

V = Kecepatan angin [m/s]

3. HASIL DAN DISKUSI

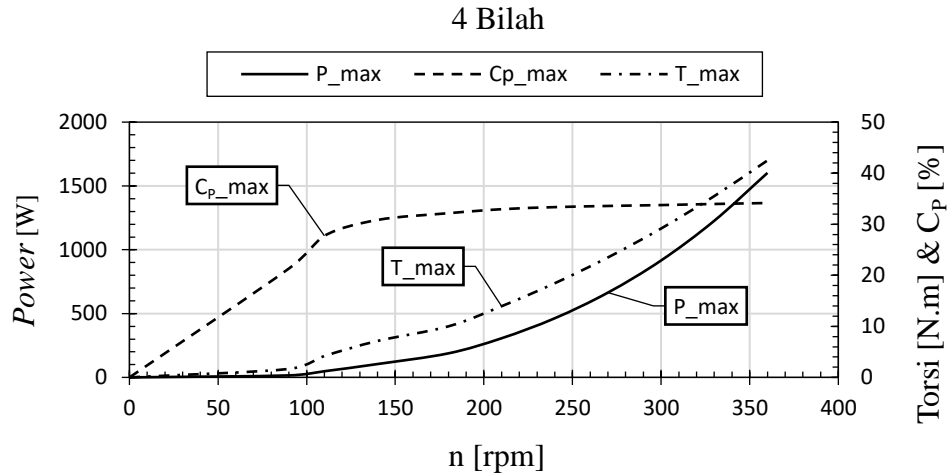
Pada penelitian ini akan menampilkan kurva perbandingan performa antara variasi jumlah bilah turbin angin horizontal. Kurva yang ditampilkan akan meliputi *power*, koefisien performa (C_p) dan torsi yang dihasilkan oleh setiap turbin angin, karena setiap variasi jumlah bilah turbin angin memiliki perbandingan kurva yang berbeda-beda. Perbedaan kurva tersebut di pengaruhi oleh kecepatan angin yang bervariasi mulai dari 3 hingga 12 m/s, dari kecepatan angin tersebut mempengaruhi hasil performa dari setiap turbin angin tersebut.



Gambar 7. Power – rpm 3 bilah

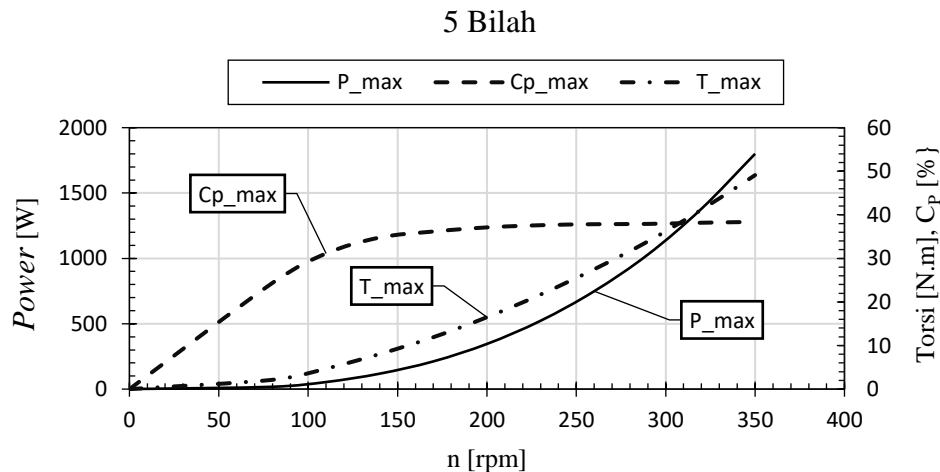
Pada gambar 7 merupakan grafik dari peforma turbin angin 3 bilah mengalami peningkatan pada nilai torsi, *power*, dan C_p disetiap rpm nya yang dipengaruhi oleh meningkatnya kecepatan angin mulai dari 3 m/s – 12 m/s. Nilai torsi yang optimum pada turbin angin 3 bilah menghasilkan 11,04 – 28,67 Nm pada 220 – 340 rpm dan nilai *power* yang optimum pada turbin angin 3 bilah menghasilkan 254,53 – 1020,79 watt pada 220 – 340 rpm, sedangkan C_p yang optimum yang dihasilkan pada 3 bilah yaitu 26% – 28% pada 200 – 330

rpm.



Gambar 8. Power – rpm 4 bilah

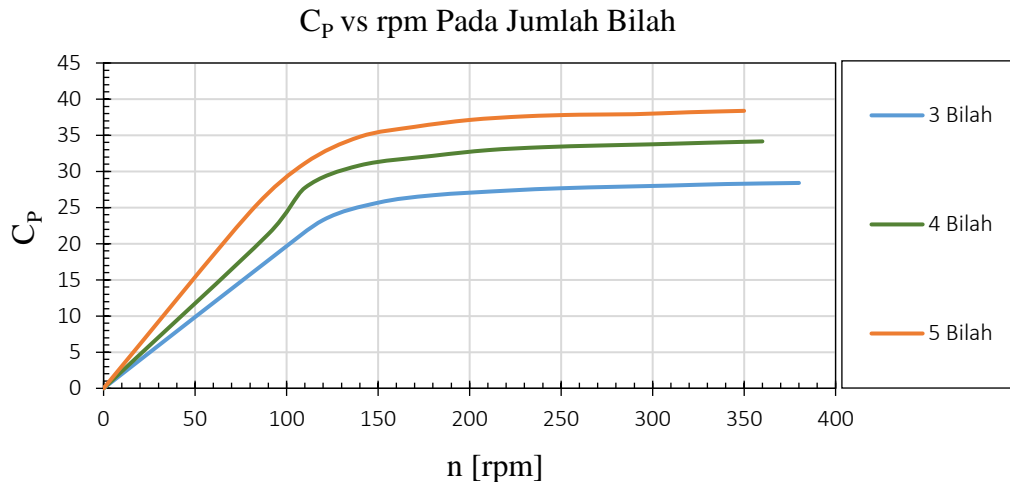
Pada gambar 8 merupakan grafik dari performa turbin angin 4 bilah mengalami peningkatan pada nilai torsi, *power*, dan C_p disetiap rpm nya yang dipengaruhi oleh meningkatnya kecepatan angin mulai dari 3 m/s – 12 m/s. Nilai torsi yang optimum pada turbin angin 4 bilah menghasilkan 12,04 – 35,51 Nm pada 200 – 330 rpm dan nilai *power* yang optimum pada turbin angin 4 bilah menghasilkan 306,71 – 1227,24 watt pada 200 – 340 rpm, sedangkan C_p yang optimum yang dihasilkan pada 4 bilah yaitu 33,15% – 34,15% pada 180 – 360 rpm.



Gambar 9. Power – rpm 5 bilah

Pada gambar 9 merupakan grafik dari performa turbin angin 5 bilah mengalami peningkatan pada nilai torsi, *power*, dan C_p disetiap rpm nya yang dipengaruhi oleh meningkatnya kecepatan angin mulai dari 3 m/s – 12 m/s. Nilai torsi yang optimum pada turbin angin 5 bilah menghasilkan 11,91 – 41,16 Nm pada 170 – 320 rpm dan nilai *power* yang optimum pada turbin angin 5 bilah

menghasilkan 212,05 – 1379,34 W pada 170 – 320 rpm, sedangkan C_P yang optimum yang dihasilkan pada 5 bilah yaitu 36,16% – 38,18% pada 170 – 320 rpm



Gambar 10. C_P – rpm Terhadap variasi jumlah bilah

Pada grafik diatas merupakan hasil efisiensi dari variasi jumlah bilah pada turbin angin sumbu horizontal. Nilai efisiensi turbin angin diketahui dari hasil perhitungan *Coefficeint of Power* (C_P) yang merupakan ukuran dari sebuah efisien daya pada turbin angin. C_P adalah perbandingan antara daya output atau daya generator dengan daya input atau daya angin yang menerpa bilah turbin angin. Perhitungan C_P dilakukan dengan menghitung gaya aksial dari turbin angin, sebelum menghitung gaya aksial yaitu terlebih dahulu menentukan dan mengukur data-data yang dibutuhkan. Dari hasil perhitungan C_P diperoleh sebesar 27,33 % untuk turbin angin 3 bilah, sebesar 33,35 % untuk turbin angin 4 bilah, dan sebesar 37, 68 % untuk turbin angin 5 bilah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data dapat disimpulkan bahwa :

Pada penelitian koefisien performa turbin angin sumbu horizontal dengan variasi jumlah bilah dan menghasilkan beberapa perbandingan nilai koefisien performa diantara turbin angin 3 bilah sampai 5 bilah. Hasil perhitungan C_P diperoleh sebesar 27,33 % untuk turbin angin 3 bilah, sebesar 33,35 % untuk turbin angin 4 bilah, dan sebesar 37, 68 % untuk turbin angin 5 bilah. Sehingga dari perhitungan tersebut turbin angin 4 bilah memiliki rentang nilai C_P sebesar 6,02 % selisih daru turbin angin 3 bilah, sedangkan rentang C_P turbin angin 5 bilah memiliki selisih sebesar 4,33 % dari turbin angin 4 bilah. Berdasarkan pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa semakin banyaknya jumlah bilah pada turbin angin akan menurunkan nilai efisiensi pada turbin angin tersebut, dimana pada setiap penambahan jumlah bilah akan semakin kecil rentang nilai efisiensinya. Menurunnya nilai C_P tersebut disebabkan oleh meningkatnya soliditas atau kekakuan pada energi kinetik angin yang menerpa bilah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cakrawati Sudjoko, “Strategi Pemanfaatan Kendaraan Listrik Berkelanjutan Sebagai Solusi Untuk Mengurangi Emisi Karbon,” *J. Paradig. J. Multidisipliner Mhs. Pascasarj. Indones.*, vol. 2, no. 2, pp. 54–68, 2021.
- [2] I. Rizianiza, D. Setiorini, and A. Djafar, “Perancangan Prototipe Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu Studi Kasus Institut Teknologi Kalimantan,” *SPECTA J. Technol.*, vol. 2, no. 3, p. 21, 2018, doi: 10.35718/specta.v2i3.7.
- [3] A. E. Setyono and B. F. T. Kiono, “Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050,” *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 2, no. 3, pp. 154–162, 2021, doi: 10.14710/jebt.2021.11157.
- [4] J. Sih Setyono, F. Hari Mardiansjah, and M. Febrina Kusumo Astuti, “Potensi Pengembangan Energi Baru Dan Energi Terbarukan di Kota Semarang,” *J. Riptek*, vol. 13, no. 2, pp. 177–186, 2019, [Online]. Available: <http://ripteck.semarangkota.go.id>.
- [5] A. Mulkan, “Analisis Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Sumber Pembangkit Energi Listrik,” *J. Ilm. Tek. Unida*, vol. 3, no. 1, pp. 74–83, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal.unida-aceh.ac.id/index.php/jitu/article/view/308>.
- [6] Istofa & Daru, “Unjuk Kerja Turbin Angin Dengan Profil Sudu NACA 4412 Dengan Metode Simulasi,” *Semin. Nas. Sains Teknol. dan Inov. Indones. (SENASTINDO AAU)*, vol. 1, no. 1, pp. 19–26, 2019.
- [7] M. Perdana, A. Akmal, R. Saputra, H. Fahmi, and S. Sulaiman, “Analisa Daya Turbin Angin Sumbu Horizontal BladeTaperless Berbahan Komposit Hybrid dengan AirfoilBlade Tipe NACA,” *J. Rekayasa Energi dan Mek.*, vol. 2, no. 2, p. 145, 2022, doi: 10.26760/jrem.v2i2.145.
- [8] E. Hau, *Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Application, Economics.*, Third. Munich, Germany, 2012.
- [9] T. Multazam and A. Mulkan, “Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Horizontal Pada Kecepatan Angin Rendah Untuk Meningkatkan Performa Permanent Magnet Generator,” *J. Serambi Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 616–624, 2019, doi: 10.32672/jse.v4i2.1446.
- [10] J. F. Manwell, J. G. McGowan, and A. L. Rogers, “Wind Energy Explained: Theory, Design and Application,” in *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, Second Edi., USA: A John Wiley and Sons, Ltd., 2010.
- [11] R. Nanang, Gunarto, and E. Sarwono, “Study Eksperimental Berbagai Macam Jenis Sudu Turbin Angin Sumbu Horizontal Skala Laboratorium,” *Repos. Univ. Muhammadiyah Pontianak*, vol. 3, no. 2, pp. 113–120, 2017.
- [12] N. P. Noronha and M. Krishna, “Aerodynamic performance comparison of airfoils suggested for small horizontal axis wind turbines,” *Mater. Today Proc.*, vol. 46, no. xxxx, pp. 2450–2455, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.01.359.
- [13] D. B. Saefudin, W. Pisenon, and R. Hakim, “Kajian Keserupaan Parameter Kinerja Miniatur dan Prototipe Turbin Angin Sumbu Horizontal,” *J. Tek. Media Pengemb. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 17, no. 2, p. 60, Dec. 2018, doi: 10.26874/jt.vol17no2.80.