

The Effect of The Number of NACA 0015 Blade Rotor on VAWT Performance

[Pengaruh Jumlah Rotor Blade NACA 0015 Terhadap Kinerja VAWT]

Muhammad Faiz Febrianto ¹⁾, Rachmat Firdaus ^{*2)}

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: firdausr@umsida.ac.id

Abstract. *Today's energy needs are growing, this is due to the abundance of activities carried out by human beings, in the economic and industrial sectors. Now that a lot of oil-fuel replacement energy has begun to emerge, one of the more developed environmentally friendly resources is wind energy. In this study, a simulation experiment will be carried out. There are three variations that will be worn using 2, 3, 4 blade rotors. The variation of wind speed applied is 3, 5, 7 m/s. The simulation process uses SolidWorks/flow simulation software and uses QBlade. The purpose of this research is to find the influence of the number of blades on the performance of wind turbines. The results are obtained in this experiment are qualitative data in the form of graphic Cp against TSR. Of the 4 variations used variations with a total of 4 blade rotors have the highest Cp with a value of 0.328 at TSR 2.5.*

Keywords - Wind; Blade Rotor; CP; TSR; NACA 0015

Abstrak. *Kebutuhan energi saat ini semakin banyak, ini dikarenakan banyaknya kegiatan yang dilakukan oleh manusia baik itu disektor perekonomian maupun perindustrian. Dimasa ini sudah mulai banyak bermunculan energi pengganti bahan bakar minyak, salah satu sumber daya ramah lingkungan yang lagi banyak dikembangkan adalah energi angin. Pada penelitian ini akan dilakukan percobaan simulasi. Terdapat 3 variasi yang akan dikenakan yakni menggunakan 2, 3, 4 blade rotor. Kecepatan angin yang dikenakan yakni 3, 5, 7 m/s. Proses simulasi menggunakan software SolidWorks/flow simulation dan menggunakan QBlade. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah rotor blade terhadap performa wind turbine. Hasil yang didapat pada eksperimen ini adalah data kualitatif berupa grafik Cp terhadap TSR. Dari 4 variasi yang digunakan variasi dengan jumlah 4 blade rotor memiliki Cp tertinggi dengan nilai 0,328 pada TSR 2.5.*

Kata Kunci - Angin; Rotor Blade; CP; TSR; NACA 0015

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi saat sekarang semakin lama semakin banyak, hal ini dikarenakan banyaknya kegiatan yang dilakukan oleh manusia baik itu disektor perekonomian maupun perindustrian [1]. Akibat peningkatan jumlah penduduk, kegiatan ekonomi, dan kegiatan industri, kebutuhan energi global terus meningkat setiap tahunnya menjadikan kebutuhan energi dunia sangatlah besar [2]. Berdasarkan penelitian Zuraidah pemerintah telah berkemauan untuk memacu penggunaan sumber energi terbarukan agar mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang menimbulkan polusi baik itu udara, air maupun tanah [3]. Apalagi pada saat sekarang ini sudah mulai transisi dari penggunaan energi fosil yang nantinya akan digantikan sepenuhnya menggunakan energi listrik yang lebih ramah lingkungan. Sumber energi fosil yang tersedia terbatas dan jika tanpa dibarengi dengan pencarian energi terbaru untuk memenuhi kebutuhan energi akan berdampak krisis kebutuhan energi dunia. Oleh karena itu, ketersediaan energi alternatif seperti energi angin dimanfaatkan sebagai energi penggantinya. Menurut Habibullah Indonesia dikenal mempunyai potensi akan sumber daya alam yang dapat digunakan sebagai sumber pembangkit listrik [4]. Maka diperlukan sebuah alat dimana pada prinsip kerjanya mengubah energi angin ini menjadi energi mekanik guna memutar generator, banyak orang menyebutnya dengan kincir angin atau bahasa tekniknya *wind turbine* [5].

Menurut Dalam turbin angin sudu/*blade* adalah bagian atau komponen yang berkontak langsung dengan aliran angin. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Abdul Latief tentang perbedaan jumlah blade terhadap turbin angin Savonius tipe U, dengan memanfaatkan *software SolidWorks/flow* menyimpulkan bahwasanya rotor dengan 3 blade menghasilkan perbedaan *pressure* maks dan minimum paling rendah jika dibanding turbin dengan 4 *blade* dan 2 rotor *blade* dengan kecepatan angin yang diaplikasikan adalah 5m/s [6]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Rohmad Arvento yang berjudul pengaruh jumlah rotor *blade* terhadap unjuk kerja wind turbine dengan NACA 0021 sebagai sudu, dalam penelitian ini menyatakan bahwa penambahan jumlah sudu rotor blade menghasilkan peningkatan kuat arus (*ampere*) dan tegangan (*volt*) [7].

Indonesia mempunyai potensi kaya akan sumber daya yang dapat dimanfaatkan sebagai pengelolaan pembangkit listrik. Wilayah di Indonesia memiliki kecepatan angin yang fluktuatif. Angin adalah udara yang berpindah dan udara

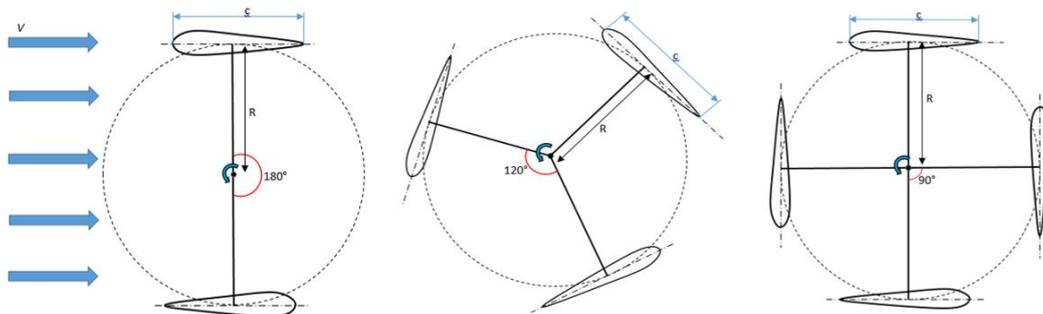
dapat ditemui di seluruh penjuru bumi [8]. Energi angin ialah salah satu energi terbarukan yang fleksibel, ramah lingkungan dan mempunyai efisiensi kerja yang bagus [9]. Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional (Lapan) melakukan penelitian tentang energi angin yang ada di Indonesia. Kecepatan angin negara Indonesia kisaran 2 - 6 m/s pertahun. Sedangkan Indonesia timur mempunyai rata-rata kecepatan angin 5 m/s [10]. Pemanasan global dan perubahan iklim akan mempunyai dampak yang menentukan terhadap prospek jangka menengah dan jangka panjang tenaga angin, yang telah meningkatkan kesadaran akan potensi kontribusi energi angin [11]. Sumber energi angin yang dapat diubah menjadi sumber tenaga pembangkit listrik, maka perlu dimanfaatkan sumber daya alam tersebut untuk mengatasi masalah kebutuhan akan tenaga listrik. Dimunculkanlah suatu ide untuk menggunakan *NACA 0015* untuk mempelajari dan menganalisis pengaruh jumlah bilah/rotor *blade* terhadap kinerja turbin angin.

Jumlah *blade* memberikan dampak perubahan performa dari *wind turbine* sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Ridwan. Menurut penelitian dari Ridwan terdapat banyak faktor yang bisa mempengaruhi performa *wind turbine* diantaranya ialah banyaknya jumlah sudu pada rotor turbin. Kecepatan angin kisaran 3m/s – 5 m/s memberikan efek peningkatan performa turbin angin seiring bertambahnya jumlah *blade* [6]. Juga berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan oleh Rachmat Firdaus menyatakan bahwasanya variasi jumlah *blade* memberikan pengaruh terhadap performa dari *wind turbine*. Jumlah *blade* yang terlalu banyak akan menurunkan torsi *wind turbine*, namun performa yang dihasilkan tetap meningkat [12].

Penelitian ini menggunakan 2 *software* untuk melakukan simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*), *software* yang digunakan adalah *Qblade* dan *SolidWorks*. Alasan menggunakan turbin angin tipe vertikal adalah turbin angin ini lebih efisien dalam menghasilkan energi pada kondisi angin yang bervariasi dan arah angin yang tidak tetap. Turbin angin VAWT ini dapat menangani angin dari berbagai arah tanpa memerlukan penyesuaian posisi tidak seperti turbin angin horizontal (HAWT) yang memerlukan penyesuaian dengan arah datangnya angin [13]. Tujuan utama penelitian ini yakni untuk mengetahui hubungan kecepatan angin dan jumlah rotor *blade* turbin dan menguji hubungan antara kecepatan angin dan koefisien daya dari turbin angin. Demikian dapat diketahui bagaimana perbedaan kecepatan angin dan jumlah blade memberikan perubahan efisiensi turbin angin yang diukur berdasarkan koefisien dayanya. Dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian instrumen serta analisis hasil pengujian pengaruh jumlah rotor *blade* terhadap kinerja VAWT menggunakan spesifikasi sudu *NACA 0015*.

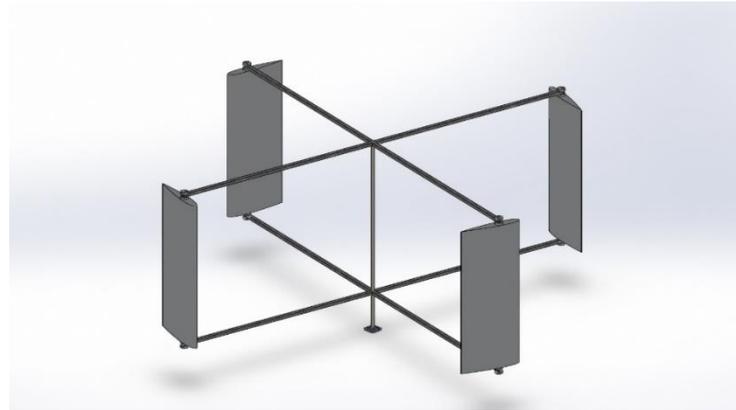
II. METODE

2.1 Desain Experiment



Gambar 1. Skema Jumlah Rotor *Blade*

Pada gambar diatas bisa dilihat perbedaan dari letak rotor *blade* pada turbin angin. Gambar diatas menunjukkan arah rotasi dari rotor *blade* berdasarkan arah datangnya angin. Gambar diatas sesuai dengan variasi jumlah blade yang diteliti pada penelitian kali ini dengan jumlah rotor secara berurutan yaitu 2, 3, dan 4 rotor *blade*. Dengan menggunakan *NACA 0015* sebagai bentuk *blade*. Gambar skema diatas digunakan untuk mempermudah proses pembuatan desain dari *wind turbine*. Dengan menggunakan *software SolidWorks* dibuatlah desain turbin angin dengan jumlah rotor *blade* sesuai dengan skema pada gambar 1 diatas. Dihasilkan desain 3D seperti gambar 2 sebagai berikut



Gambar 2. Desain 3D Turbin Angin

Gambar 2 merupakan hasil dari desain yang dibuat dengan *software SolidWork* dengan hasil berupa desain 3D. Desain yang telah dibuat kemudian akan dilakukan simulasi.

2.2 Data Parameter Awal

1. Material yang digunakan saat proses desain pada *software Solidworks* :

- *Blade* menggunakan bahan Alumunium
- *Arm* dan *base* mengguakan bahan besi baja

2. Kecepatan angin 3, 5, 7 m/s

3. Panjang *Chord* 40 cm

4. Lebar bentangan 2,8 m

5. Tinggi *blade* 1,5 m

Parameter yang dimasukkan dalam simulasi polar pada *software Qblade*:

1. *Reynolds* yang digunakan 126036.65 dan *Mach* numbernya 0.0

2. *NCrit* pada situasi *average wind tunnel* yaitu 10

3. *Angel of attack* yang 0°

4. Jumlah *blade* yang diaplikasikan 2, 3, 4.

5. kecepatan angin yang dikenakan 5m/s.

Parameter yang dimasukkan dalam simulasi *Ansys*:

1. *General*: *pressure based, velocity absolute*

2. *Viscous*: *K-omega*

3. *Initialization*: *Hybrid*

4. *Calculation*: *Automatic*

5. *Number of iteration*: 1000

6. *Contour Filed, node values, boundary values, contour lines, global range.*

Pressure: *Static pressure*

2.3 NACA Airfoil

NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) airfoil yakni bodi hidrodinamika sederhana yang berguna untuk memberikan gaya angkat dengan bantuan penyelesaian secara matematis yang sangat memungkinkan guna memprediksi besarnya gaya angkat yang dihasilkan suatu bodi airfoil. Airfoil ialah bentuk aerodinamik yang ditunjukan guna mendapat gaya angkat (*lift*) yang besar dan gaya hambat (*drag*) sekecil mungkin [14]. Pada penelitian kali ini menggunakan NACA 0015 sebagai rotor blade.



Gambar 3. NACA 0015

Pada gambar 3 diatas merupakan gambar *airfoil NACA 0015* yang digunakan sebagai blade untuk penelitian turbin angin kali ini. Dengan panjang chord 40cm. Angka 15 bermakna *airfoil NACA 0015* memiliki maksimal ketebalan 15% pada chord 30%. Sedangkan angka 00 memiliki arti maksimal camber 0% pada 0% chord.

2.4 CP dan TSR

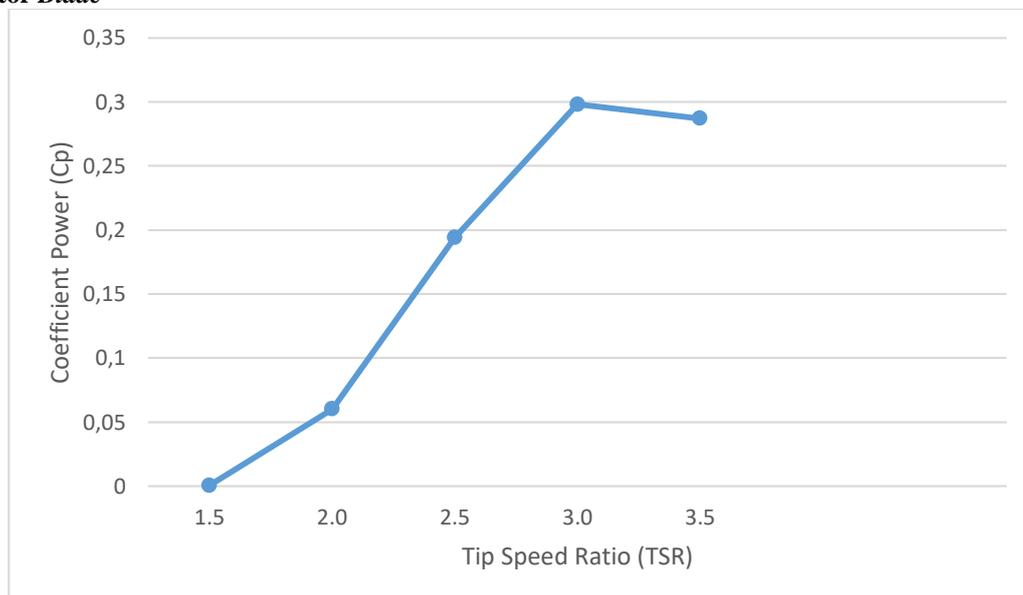
Power Coefficient atau CP adalah kemampuan bilah dalam menyerap energi yang diterima. Menurut teori Beltz koefisien daya yang dihasilkan 50%, maka tidak bisa sepenuhnya dapat diserap 50%. Fenomena itu terjadi karena CP akan mengalami rugi-rugi dari sistem. Performa turbin angin dinyatakan dengan koefisien daya (CP). Dan sementara *Tip Speed Ratio* (TSR) ialah rasio antara kecepatan mekanik dari turbin terhadap kecepatan angin. Nilai TSR yang tinggi dan rendah akan memberikan pengaruh terhadap turbin angin, pada saat nilai TSR lebihdari 1 menunjukkan bahwa banyak bagian pada bilah yang mengalami gaya angkat (*lift*). Sedangkan pada TSR kurang dari 1 maka lebih banyak bagian dari bilah mengalami gaya hambat (*drag*).

2.5 Pengumpulan Data

Guna memperoleh data penunjang serta beberapa teori yang berhubungan dengan penelitian kali ini maka diperlukan teknik pengumpulan data. Pengumpulan data meliputi simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*). CFD sendiri merupakan sebuah perangkat lunak yang dibuat dari model persamaan matematik yang digunakan dalam proses penyelesaian dan perhitungan aliran fluida secara kuantitatif. Dengan memanfaatkan software Qblade untuk mencari nilai CP dan TSR wind turbine pada penelitian ini. Data yang berupa grafik CP dan TSR akan dijadikan acuan untuk mengetahui pada jumlah rotor *blade* berapa turbin mendapatkan efisiensi yang terbaik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

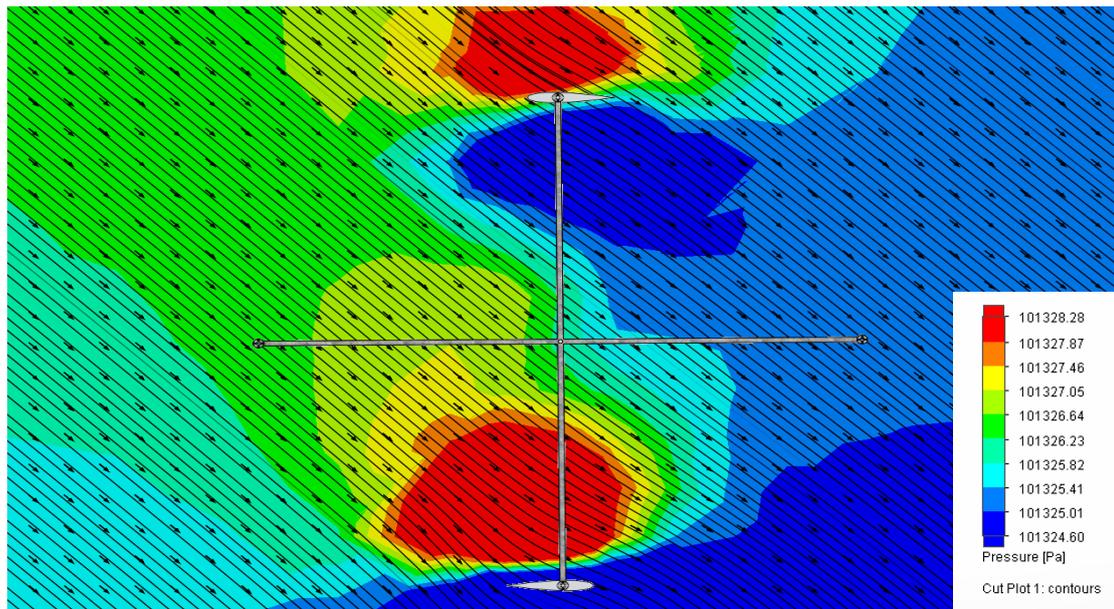
3.1 2 Rotor Blade



Gambar 4. Grafik CP 2 Rotor Blade

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan dengan menggunakan variasi 2 rotor *blade* menghasilkan grafik data pada gambar 3 diatas. Menurut grafik data di atas pada saat TSR (*Tip Speed Ratio*) 1.5 CP (*Coefficient Power*) mendapatkan nilai CP sebesar 0,004. Untuk CP maksimal yang didapatkan dengan pengaplikasian variasi 2 rotor *blade* yakni pada TSR 3.0 menghasilkan Cp sebesar 0,298. Dari TSR awal hingga puncak Cp *max* terdapat selisih sebesar 0,24. Setelah mencapai nilai maksimum Cp mulai turun sampai pada TSR 3.1 dengan nilai Cp yang berangsur-angsur turun.

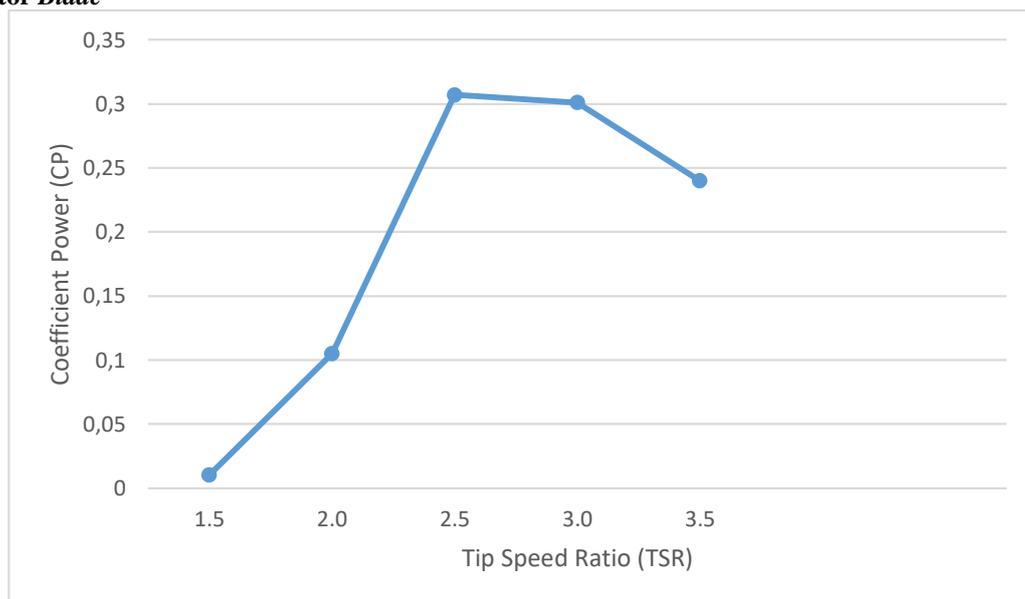
Persebaran Tekanan Pada 2 Rotor Blade



Gambar 5. Persebaran Tekanan 2 Rotor Blade

Berdasarkan gambar 5 persebaran tekanan 2 rotor *blade* diatas bisa dilihat bahwa bagian *blade* yang akan mendapatkan tekanan secara signifikan adalah pada bagian permukaan *blade* yang memiliki luasan penampang yang lebih lebar. Untuk warna merah memiliki tekanan yang besar yakni sekitar 101328.28 pa. Sedangkan untuk tekanan yang paling rendah adalah yang memiliki warna biru tua dengan nilai tekanan yang dihasilkan kisaran 101324.60 pa.

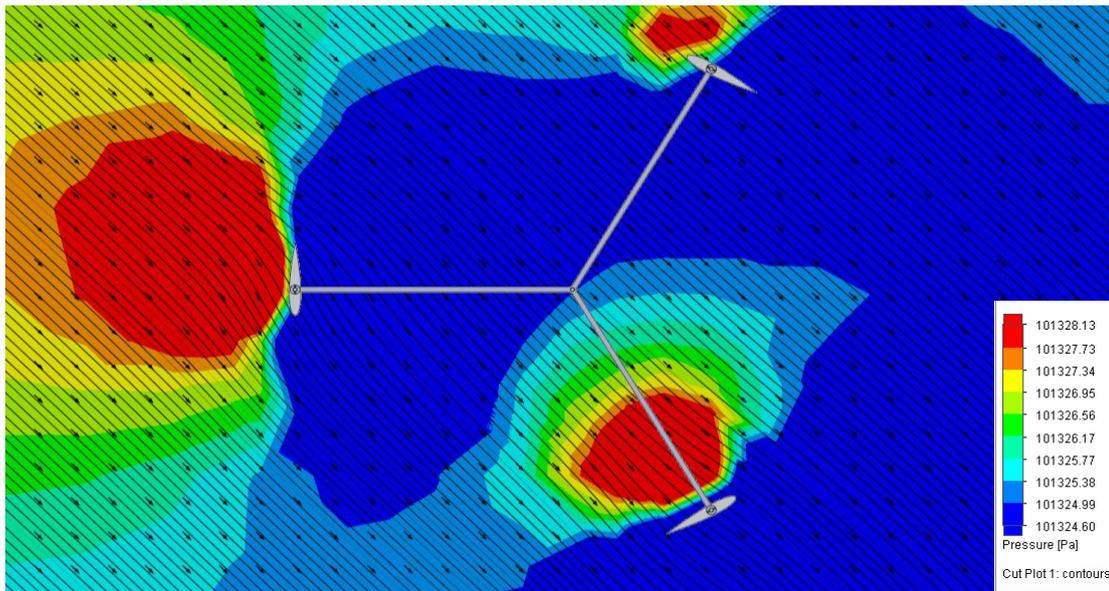
3.2 3 Rotor Blade



Gambar 6. Grafik CP 3 Rotor Blade

Dari hasil grafik yang didapat bisa dilihat puncak CP dari percobaan menggunakan variasi 3 rotor *blade* nilai CP max berbeda dengan variasi 2 rotor *blade* yakni CP max berada pada TSR 2.5 dengan nilai Cp 0,307. Kenaikan awal bisa dilihat pada TSR 1.5 dimana nilai dari CP awal sebesar 0,0104. Dari CP awal hingga mencapai nilai Cp maksimal memiliki selisih sebesar 0,296. Kenaikan signifikan bisa dilihat dari rentang TSR 2.0 sampai dengan TSR 2.5 dengan garis grafik tegak. Kemudian setelah CP mencapai nilai maksimal mengalami penurunan pada TSR 2.6 sampai dengan TSR 3.5.

Persebaran Tekanan Pada 3 Rotor *Blade*

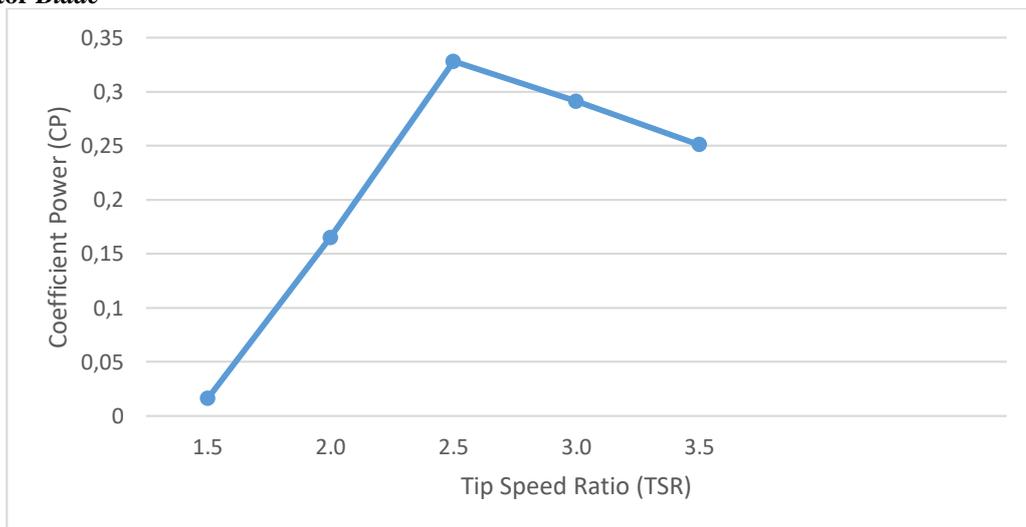


Gambar 7. Persebaran Tekanan 3 Rotor *Blade*

Berdasarkan gambar diatas bisa dilihat persebaran tekanan yang dimiliki oleh 3 rotor *blade*, pada bagian permukaan *blade* yang mempunyai luasan lebar menyebabkan tekanan yang besar ditandai dengan warna merah yang memiliki daerah yang besar. Akan tetapi berbeda dengan pada saat posisi *blade* pada bagian awal permukaan *blade* bisa dilihat memiliki luasan tekanan yang cenderung lebih kecil dari *blade* yang lain. Hal ini disebabkan karena bagian yang terkena terpaan angin lebih kecil luasannya dibandingkan 2 *blade* yang lain.

Untuk nilai tekanan pada wilayah yang berwarna merah yakni sekitar 101328.13 pa dan untuk bagian yang berwarna biru memiliki tekanan yang lebih rendah dari pada bagian yang berwarna merah. Pada bagian yang berwarna biru ini memiliki nilai tekanan sebesar 101324.60 pa.

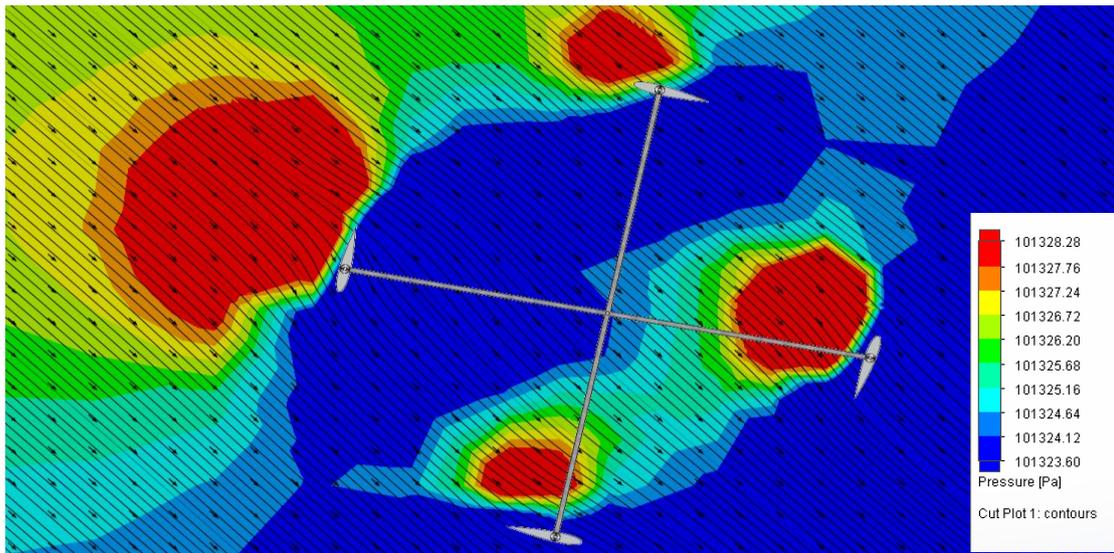
3.3 4 Rotor *Blade*



Gambar 8. Grafik CP 4 Rotor *Blade*

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan dengan menggunakan variasi 4 rotor *blade* menghasilkan grafik data diatas. Berdasarkan grafik data di atas pada saat TSR 1.5 CP mulai naik dengan nilai 0,0161. Dari hasil grafik yang didapat bisa dilihat puncak CP dari percobaan menggunakan variasi 4 rotor *blade* yaitu CP *max* berada pada TSR 2.5 dengan CP 0,328. Setelah mencapai titik maksimum itu CP mulai turun dimulai pada TSR 2.6 sampai TSR 3.5. Terdapat kenaikan signifikan yang bisa dilihat dari rentang TSR 1.5 sampai 2.5. Untuk selisih CP dari awal TSR sampai dengan nilai maksimal yakni 0,311.

Persebaran Tekanan Pada 4 Rotor Blade



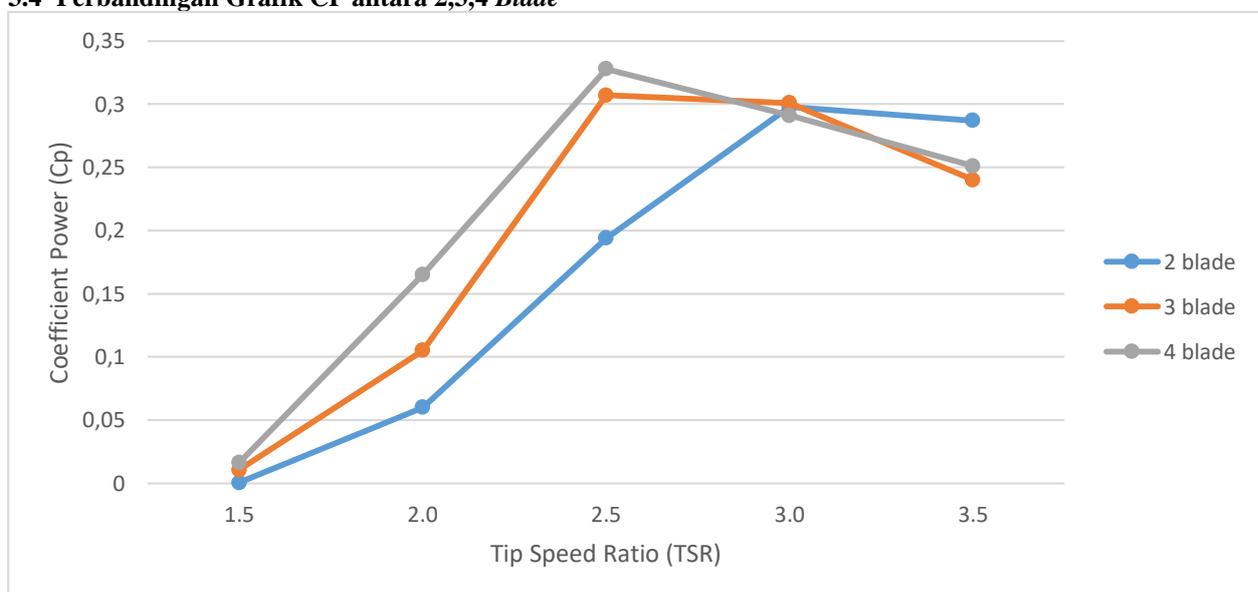
Gambar 9. Persebaran Tekanan 4 Rotor Blade

Berdasarkan gambar 9 diatas bisa dilihat persebaran tekanan yang dimiliki oleh 4 rotor *blade*, pada bagian permukaan *blade* yang mempunyai luasan lebar menyebabkan tekanan yang besar ditandai dengan warna merah yang memiliki daerah yang besar. Akan tetapi berbeda dengan pada saat posisi *blade* pada bagian awal permukaan *blade* bisa dilihat memiliki luasan tekanan yang cenderung lebih kecil dari *blade* yang lain. Hal ini disebabkan karena bagian yang terkena terpaan angin lebih kecil luasannya dibandingkan *blade* yang lain.

Berdasarkan gambar diatas bisa dilihat pada bagian permukaan *blade* yang terkena terpaan angin secara langsung menghasilkan daerah berwarna merah yang mana bagian merah ini menandakan daerah timbulnya tekanan tinggi. Sedangkan pada bagian belakang *blade* atau bagian yang tidak terkena terpaan angin secara langsung memiliki warna biru yang menandakan bahwasannya tidak terjadi tekanan yang tinggi dan warna biru ini identik dengan tekanan rendah dibanding tekanan pada daerah yang berwarna merah.

Untuk nilai tekanan pada wilayah yang berwarna merah yakni sekitar 101331.28 pa dan untuk bagian yang berwarna biru memiliki tekanan yang lebih rendah dari pada bagian yang berwarna merah. Pada bagian yang berwarna biru ini memiliki nilai tekanan sebesar 101324.60 pa.

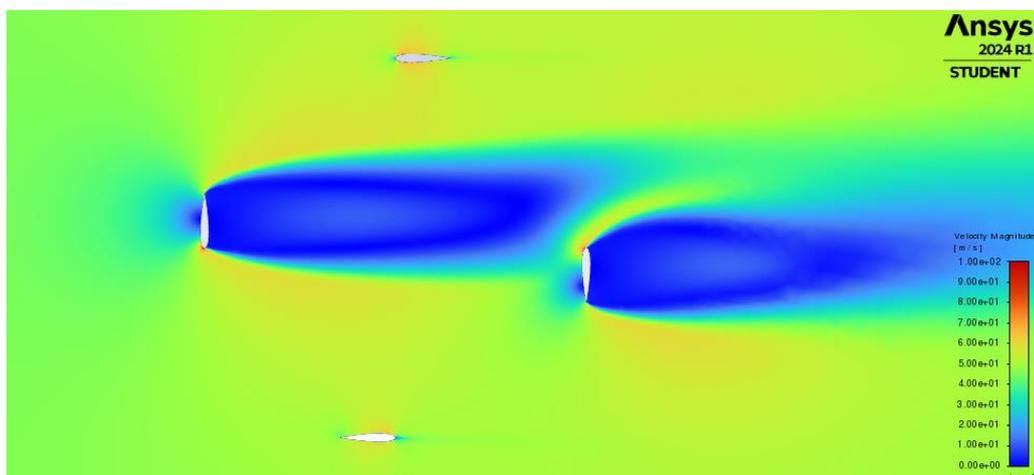
3.4 Perbandingan Grafik CP antara 2,3,4 Blade



Gambar 10. Grafik Perbandingan CP 2,3,4 Rotor Blade

Dari beberapa grafik yang sudah dimunculkan diperlukan grafik perbandingan diantara ketiganya dihasilkan grafik perbandingan antara 2, 3, dan 4 rotor *blade*. Grafik ini berfungsi menunjukkan perbandingan CP terhadap TSR antara penggunaan 2, 3 dan 4 rotor *blade*. Untuk pengaplikasian 2 rotor *blade* membutuhkan jarak TSR yang lebih lama dari percobaan menggunakan 3 dan 4 *blade*. Sesuai dengan grafik pada gambar 4 bisa dilihat untuk grafik 2 rotor *blade* ditandai dengan garis berwarna biru, sedangkan untuk garis yang berwarna orange menunjukkan grafik penggunaan 3 rotor *blade* dan untuk grafik yang berwarna kelabu menunjukkan hasil pengaplikasian 4 rotor *blade*. Untuk TSR awal / TSR 1.5 ke 3 variasi sudah menunjukkan perbedaan CP yang dihasilkan, untuk percobaan 2 rotor *blade* menghasilkan CP sebesar 0,0004. Sedangkan untuk untuk variasi 3 dan 4 rotor *blade* menghasilkan angka CP yang berbeda sangat signifikan yaitu 0,0104 untuk variasi 3 rotor *blade* dan 0,0161 untuk variasi 4 rotor *blade*.

Terhadap selisih dari grafik perbandingan CP terhadap TSR diatas, pada saat TSR 1.5, antara variasi 3 *blade* dan 2 *blade* terdapat selisih CP sebesar 0,01 dan untuk selisih antara variasi 4 *blade* dan 3 *blade* sendiri pada 0,0057, sedangkan untuk selisih antara variasi 4 *blade* dan 2 *blade* terpaut sangat jauh yaitu 0,0157. Untuk pengaplikasian 2 rotor *blade* untuk mencapai CP *max* pada TSR 3.0 sedangkan untuk pengaplikasian 3 dan 4 rotor *blade* pada TSR 2.5 sudah menunjukkan angka CP maksimal. Untuk selisih Cp maksimal antara variasi 3 *blade* dan 2 *blade* adalah sebesar 0,009 dan untuk selisih antara variasi 4 *blade* dan 3 rotor *blade* adalah sebesar 0,021 sedangkan untuk variasi 4 *blade* dan 2 *blade* menghasilkan selisih yang besar diantara ke 3 perbandingan variasi rotor *blade* yaitu sebesar 0,03. Bisa dilihat sesuai dengan grafik untuk percobaan dengan variasi 4 rotor *blade* pada TSR 1.5 sampai dengan TSR 2.5 grafik mengalami kenaikan yang signifikan dari pada garis grafik percobaan dengan variasi 2 rotor *blade*. Sedangkan untuk variasi 3 rotor *blade* kenaikan secara signifikan terjadi antara rentan TSR 2.0 sampai dengan TSR 2.5.



Gambar 11. Aliran Angin 4 Rotor *Blade*

Pada uji coba menggunakan *software Ansys* yang bertujuan untuk mengetahui persebaran aliran udara pada rotor Darrious menunjukkan bahwa terdapat aliran udara disekitar rotor yang ditunjukkan dengan indikator warna merah pada beberapa bagian pada rotor, hal ini menandakan bahwa pada bagian tersebut menunjukkan adanya tekanan udara yang memiliki nilai 10 Pa, dan juga pada bagian yang terhalang oleh rotor menunjukkan indikator warna biru yang menunjukkan bahwa udara tersebut memiliki nilai kurang dari 2 m/s. Untuk kondisi udara yang ditunjukkan pada indikator dengan warna hijau menunjukkan bahwa udara tersebut memiliki nilai lebih dari 10 m/s.

VII. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian secara numerik yang dilakukan kali ini tentang pengaruh jumlah rotor *blade* terhadap performa turbin angin VAWT dengan *blade rotor* NACA 0015 dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya jumlah rotor *blade* yang digunakan maka performa dari *wind turbine* juga akan meningkat pula, akan tetapi penambahan rotor *blade* yang berlebihan malah akan mengurangi rpm dari *wind turbine*. Faktor lain yang ikut memberikan efek peningkatan performa adalah kecepatan angin yang diaplikasikan pada percobaan kali ini. Percobaan dengan 2 rotor *blade* menghasilkan CP 0,298 pada TSR 3.0. Sedangkan pada percobaan 3 dan 4 *blade* secara berurutan menghasilkan CP sebesar 0,307 dan 0,328 pada TSR 2.5. Performa *wind turbine* kali ini bisa dilihat dari CP yang telah didapatkan. Untuk performa tertinggi didapat pada *wind turbine* dengan menggunakan 4 rotor *blade* dengan nilai Cp 0,328.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada Prodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo yang telah memberikan pengetahuan dan wawasan baru yang berhubungan dengan teknik mesin. Saya ucapkan terimakasih juga pada teman-teman dan rekan-rekan aslab yang telah mensupport saya sehingga saya bisa menyelesaikan artikel ini.

REFERENSI

- [1] M. R. Rizqulloh, "Pengaruh Dimensi Dan Jumlah Blade Pada Karakteristik Vertical Axis Wind Turbine (Vawt) Darrieus Tipe H-Rotor Menggunakan Software Qblade," 2021.
- [2] L. Mustika, "Pengembangan Media Konversi Energi Angin Menjadi Energi Listrik," *J. Pendidik. Fis. dan Sains*, vol. 3, no. 2, p. 20, 2020, [Online]. Available: <https://ejurnalunsam.id/index.php/JPFS>.
- [3] Z. Tharo, Hamdani, and M. Andriana, "Pembangkit Listrik Hybrid Tenaga Surya Dan Angin Sebagai Sumber Alternatif Menghadapi Krisis Energi Fosil Di Sumatera," *Semnastek Uisu*, pp. 141–144, 2019.
- [4] Habibullah and R. Firdaus, "The Effect of Alpha Angle Variation Sudu Rotor Blade On Wind Turbine Performance Using Blade NACA 0018," *Procedia Eng. Life Sci.*, vol. 1, no. 2, 2021, doi: 10.21070/pels.v1i2.986.
- [5] A. Rachman, P. Pratiwi, and L. Ashari, "Rancang Bangun dan Uji Prestasi Horizontal Axis Wind Turbine Jenis Taper Design and Performance Horizontal Axis Wind Turbine Taper Type," *J. Tek. Mesin Inst. Teknol. Padang*, vol. 9, no. 2, pp. 2089–4880, 2019, [Online]. Available: <https://e-journal.itp.ac.id/index.php/jtm>.
- [6] A. Latief, "Pengaruh jumlah sudu pada turbin angin sumbu vertikal terhadap distribusi kecepatan dan tekanan 1,2," *J. Ilm. Teknol. dan Rekayasa*, vol. 24, pp. 141–151, 2019.
- [7] R. Arvendo, Y. Prasetyo, and E. R. Firdaus, "The Effect Of The Sudu Blade Rotor Blades On The Performance Of Wind Turbines Using NACA 0021 [Pengaruh Jumlah Sudu Rotor Blade Terhadap Unjuk Kerja Wind Turbin Dengan Menggunakan Blade NACA 0021]," pp. 1–6.
- [8] M. Q. Andiyantama, I. Zahira, and A. Irawan, "Prediksi Energi Listrik Kincir Angin Berdasarkan Data Kecepatan Angin Menggunakan LSTM," *JITCE (Journal Inf. Technol. Comput. Eng.)*, vol. 5, no. 01, pp. 1–7, 2021, doi: 10.25077/jitce.5.01.1-7.2021.
- [9] R. Putri *et al.*, "Pembangkit Listrik Tenaga Bayu sebagai Sumber Alternatif pada Mesjid Tengku Bullah Universitas Malikussaleh," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 1, 2022, doi: 10.30596/rele.v5i1.10788.
- [10] D. Oktavitasari and Y. A. Manaf, "Pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin ventilator dan sensor cahaya," *Infotex*, vol. 2, no. 1, pp. 307–317, 2023.
- [11] R. FIRDAUS, T. KIWATA, T. KONO, and K. NAGAO, "Numerical and experimental studies of a small vertical-axis wind turbine with variable-pitch straight blades," *J. Fluid Sci. Technol.*, vol. 10, no. 1, pp. JFST0001–JFST0001, 2015, doi: 10.1299/jfst.2015jfst0001.
- [12] R. Firdaus, T. Kiwata, K. Nagao, and T. Kono, "The influence of the number of rotor blades on the performance of orthopter wind turbine," *MATEC Web Conf.*, vol. 197, pp. 4–7, 2018, doi: 10.1051/mateconf/201819708008.
- [13] U. S. Dharma and M. Masherni, "Pengaruh Desain Sudu Terhadap Unjuk Kerja Prototype Turbin Angin Vertical Axis Savonius," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 138–148, 2017, doi: 10.24127/trb.v5i2.246.
- [14] Y. Wahyudi, M. Agung, and Muhsin, "Pengaruh Distribusi Tekanan Terhadap Gaya Lift Airfoil NACA 23012 pada Berbagai Variasi Angle of Attack," *J. / Mech. Eng.*, pp. 1–15, 2021, [Online]. Available: <http://eprints.unm.ac.id/id/eprint/19675>.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.