

Analisis *Computational Fluid Dynamic* (CFD) Turbin Angin Savonius Bilah Berlapis

Jerico David^a, Fahrudin^b *, Damora Rhakasywi^c

^aProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta
Jl. Raya Limo, Kecamatan Limo, Kota Depok 16515

^bProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta
Jl. Raya Limo, Kecamatan Limo, Kota Depok 16515

^cProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta
Jl. Raya Limo, Kecamatan Limo, Kota Depok 16515

*E-mail: 2010311095@mahasiswa.upnvj.ac.id

Abstract

The demand for energy is increasing, therefore researchers are utilizing alternative energy sources such as wind energy. Savonius is a type of vertical axis wind turbine (VAWT) that is suitable for use in low wind speed conditions, making it capable of operating in urban areas. Researchers are conducting extensive studies to improve the performance of Savonius wind turbines. The Savonius wind turbine used is a Savonius wind turbine with added layered blades. This research was conducted using the computational fluid dynamics (CFD) simulation method with an existing layered Savonius wind turbine model and varied the overlap ratio and the distance between the layered blades to determine the impact of these variations on efficiency improvement using Ansys Fluent 2022 R2 software. The variations in this study included an overlap ratio of 10% with a blade distance of 33 mm and an overlap ratio of 15% with blade distances of 22 mm and 33 mm at a wind speed of 6.46 m/s. The results showed that the layered Savonius wind turbine from previous research with a configuration of a 10% overlap ratio and a blade distance of 22 mm had the best performance with a power coefficient (C_p) of 0.173 and a torque coefficient (C_t) of 0.46. The results of this study provide an understanding of the impact of increasing the value of the layered blade distance and the overlap ratio on the performance of the Savonius wind turbine, which, if not appropriate, can reduce its efficiency.

Keywords: wind energy, Savonius wind turbine, layered blades, overlap ratio, distance between layered blades

Abstrak

Kebutuhan energi semakin meningkat maka dari itu para peneliti memanfaatkan sumber energi alternatif seperti energi angin. Savonius merupakan jenis turbin angin sumbu vertikal (VAWT) yang cocok digunakan di kondisi kecepatan angin rendah yang membuatnya bisa bekerja di wilayah perkotaan. Para peneliti banyak melakukan penelitian untuk meningkatkan kinerja turbin angin savonius. Turbin angin savonius yang digunakan adalah turbin angin savonius dengan penambahan bilah berlapis. Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi *computational fluid dynamics* (CFD) dengan model turbin angin savonius bilah berlapis yang sudah ada dan melakukan variasi pada *overlap ratio* serta jarak antar bilah berlapis untuk mengetahui pengaruh dari variasi tersebut dalam peningkatan efisiensinya menggunakan perangkat lunak Ansys Fluent 2022 R2. Variasi dari penelitian ini ada pada *overlap ratio* sebesar 10% dengan jarak bilah berlapis 33 mm dan *overlap ratio* 15% dengan jarak bilah berlapis 22 mm dan 33 mm pada kecepatan angin 6,46 m/s. Hasilnya menunjukkan bahwa turbin angin savonius bilah berlapis pada penelitian sebelumnya dengan konfigurasi *overlap ratio* 10% dengan kerapatan bilah berlapis sebesar 22 mm memiliki performa terbaik dengan nilai koefisien daya (C_p) sebesar 0.173 dan koefisien torsi (C_t) sebesar 0.46. Hasil penelitian ini memberikan pemahaman mengenai pengaruh penambahan nilai jarak bilah berlapis dan nilai *overlap ratio* pada kinerja turbin angin savonius yang tidak sesuai dapat menurunkan efisiensinya.

Kata kunci: energi angin, turbin angin savonius, bilah berlapis, *overlap ratio*, jarak bilah berlapis

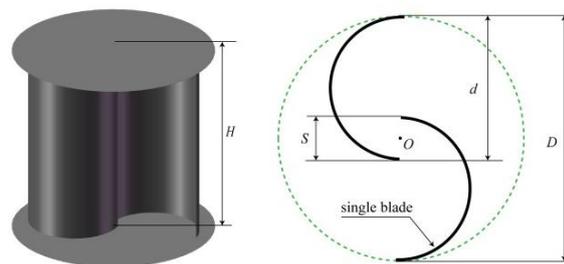
1. Pendahuluan

Permintaan energi yang meningkat menyebabkan penipisan bahan bakar fosil dan mempercepat pemanasan global, sehingga mendorong pencarian sumber energi alternatif menjadi mendesak [1]. Pemanfaatan energi angin merupakan pemanfaatan energi terbarukan yang paling berkembang saat ini [2]. Berdasarkan data dari WWEA (World Wind Energy Association), sampai dengan tahun 2022 kapasitas tenaga angin global mencapai 934 Gigawatt–1000 Gigawatt. Potensi energi terbarukan sebagai pengganti energi konvensional semakin menonjol karena berbagai alasan, termasuk keberlanjutan, ketersediaan yang berkelanjutan, dan dampak lingkungan yang lebih rendah [3]. Pada tahun 2023 total

instalasi sebesar 50% meningkat dari tahun sebelumnya menjadi 117 GW, GWEC juga telah merevisi perkiraan pertumbuhan tahun 2024-2030 naik sebesar 10%.

Turbin angin menghasilkan listrik dengan memanfaatkan tenaga angin yang memutar sudu-sudu. Proses kerja turbin melibatkan angin yang mendorong sudu-sudu, yang kemudian terhubung dengan generator untuk mengubahnya menjadi listrik. Saat angin melewati turbin, kecepatannya menurun karena sebagian energinya diserap oleh turbin dan diubah menjadi energi mekanik. Turbin angin memiliki dua jenis yaitu turbin angin sumbu horizontal dan sumbu vertikal [4]. Kelebihan turbin angin vertikal adalah dapat bekerja pada kecepatan angin yang lebih rendah daripada jenis horizontal. Desain turbin angin vertikal lebih sederhana yang membuat proses instalasi dan perawatan lebih mudah. Namun efisiensi turbin angin vertikal lebih rendah jika dibandingkan dengan jenis turbin angin horizontal [5].

Turbin angin savonius terdiri dari dua bilah setengah silinder yang disusun dalam pola 'S', ditemukan oleh SJ Savonius [6]. Gambar 1 menunjukkan bentuk desain turbin angin savonius. Pada saat tertentu, salah satu setengah silinder memiliki sisi cembung menghadap angin, sementara setengah silinder lainnya memiliki sisi cekung yang menghadap angin. Gaya hambat, yang merupakan kekuatan yang mendorong rotor turbin angin savonius, terjadi karena perbedaan koefisien hambat antara sisi cembung yang lebih kecil dan permukaan cekung. Akibatnya, angin yang mengenai sisi setengah silinder dengan sisi cekung akan mengalami gaya hambat yang lebih besar, yang mendorong rotor untuk berputar.



Gambar 1. Turbin Angin Savonius

Karena turbin angin savonius memiliki efisiensi yang rendah dibutuhkan modifikasi untuk meningkatkan performanya. Modifikasinya harus menjaga dimensi turbin angin savonius dan bobotnya. Modifikasi dengan penambahan bilah berlapis pada turbin angin savonius dapat meningkatkan nilai efisiennya [7]. Penambahan *end-plate* meningkatkan efisiensi hingga 36% dibandingkan dengan Savonius tanpa pelat ujung [8]. *Overlap ratio* juga memberikan peningkatan performa pada turbin savonius dan nilai yang direkomendasikan 10% dan 15% [9]. Modifikasi tersebut memberikan efek pemblokiran aliran udara pada kedua ujung sudu sehingga meningkatkan perpindahan momentum aliran fluida. Untuk dimensi dari rotor, material, dan bobot tidak ada perubahan yang signifikan dari modifikasi turbin savonius tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *overlap ratio* dan jarak kerapatan bilah berlapis pada turbin angin savonius agar energi angin dapat dimanfaatkan secara maksimal. Koefisien daya (C_p) dan koefisien torsi (C_t) menjadi acuan dalam penentuan performa terbaik dari semua variasi turbin angin savonius bilah berlapis pada penelitian ini. Analisis yang digunakan menggunakan bantuan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) agar analisisnya bisa dibuktikan. Model turbin savonius yang digunakan sebagai acuan dalam modifikasi adalah penelitian yang dilakukan Y. Kurniawan secara eksperimental [10].

2. Material dan metode penelitian

Langkah komputasi pada penelitian ini terdiri dari tiga tahapan, yaitu *pre-processing*, *numerical computation*, dan *post-processing*. Penelitian ini dilakukan di laboratorium komputasi Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta. Langkah pertama dari penelitian ini adalah pemodelan turbin angin savonius dengan perangkat lunak *Computational Aided Design* (CAD) Solidwork 2020. Pembentukan *mesh* menggunakan perangkat lunak Ansys Fluent Meshing 2022 R2. Tahap kedua adalah *numerical computation* dengan menggunakan Ansys Fluent Solver 2022 R2 dengan metode pendekatan volume hingga dan tahap terakhir adalah *post-processing* untuk melihat kontur kecepatan dari konfigurasi turbin angin savonius terbaik pada penelitian ini.

Parameter penting yang mewakili kinerja turbin angin adalah koefisien daya (C_p) dan koefisien torsi (C_t) terhadap rasio kecepatan tip (TSR). C_p mewakili persentase energi kinetik angin yang diubah menjadi energi mekanik. Koefisien daya (C_p) dan koefisien torsi (C_t) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$C_t = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho A v^2 R} \quad (1)$$

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho A v^3} \quad (2)$$

Turbin angin savonius yang digunakan sebagai acuan modifikasi adalah penelitian Y. Kurniawan, maka dari itu diperlukan validasi data terlebih dahulu. Spesifikasi turbin angin savonius ditampilkan pada Tabel 1 dan geometrinya

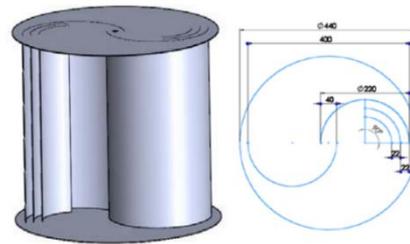
pada Turbin angin savonius bilah berlapis ini dibuat dengan material aluminium.

Gambar 2

Gambar 2

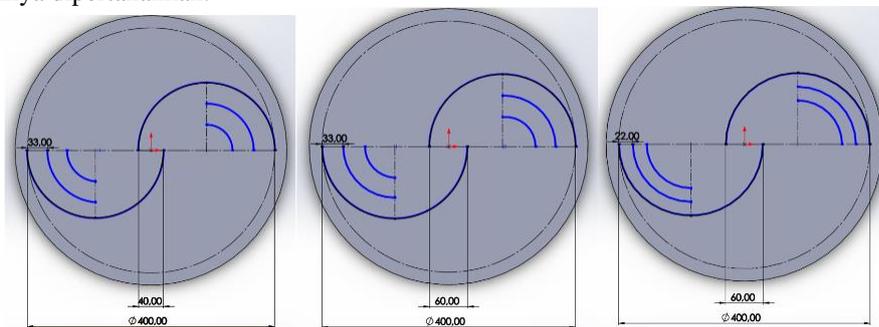
Tabel 1. Spesifikasi Turbin Angin Savonius

Parameter	Nilai
Diameter <i>endplate</i>	440 mm
Diameter rotor	400 mm
Tinggi	400 mm
<i>Aspect ratio</i>	1/1
Jarak bilah berlapis	22 mm
<i>Overlap ratio</i>	10%
Ketebalan Material	1.3 mm



Gambar 2. Turbin Angin Savonius Bilah Berlapis

Pada Gambar 3 menunjukkan 3 variasi geometri turbin angin savonius bilah berlapis dengan variasi *overlap ratio* 10% dan 15% dan jarak antar bilah berlapis sebesar 22 mm dan 33 mm. Dimensi dan material turbin angin savonius dari penelitian sebelumnya dipertahankan.



Gambar 3. Variasi Turbin Angin Savonius Bilah Berlapis

Pada model turbin angin savonius bilah berlapis terdiri dari 6639821 *elements* dan 2414891 *nodes*. Untuk melihat kualitas *mesh* menggunakan *orthogonal quality* dengan melihat acuan penelitian Fatchurrohman[11]. Kategori *mesh quality* dan nilainya dapat dilihat pada Tabel 2 dan untuk *mesh quality* dapat dilihat pada Gambar 4. Hasil rata-rata *mesh metric orthogonal quality* dalam penelitian ini sebesar 0.756 yang menandakan masuk dalam kategori *very good*.

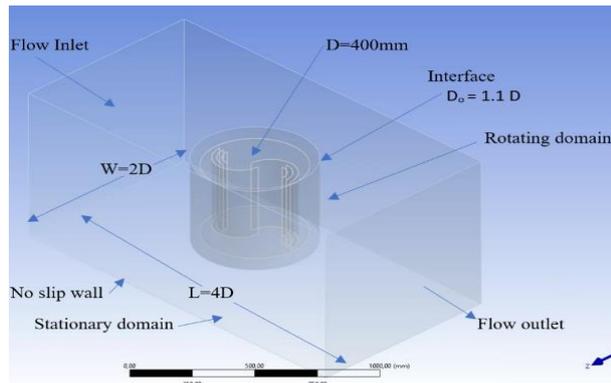
Tabel 2. Kategori Orthogonal Quality

Kategori	Nilai
<i>Unacceptable</i>	0 - 0.001
<i>Bad</i>	0.001 - 0.14
<i>Acceptable</i>	0.15 - 0.20
<i>Good</i>	0.20 - 0.69
<i>Very good</i>	0.70 - 0.95
<i>Excellent</i>	0.95 - 1.00

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	0,5
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Orthogonal Quality
<input type="checkbox"/> Min	1,7189e-002
<input type="checkbox"/> Max	0,99875
<input type="checkbox"/> Average	0,75666
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,14305

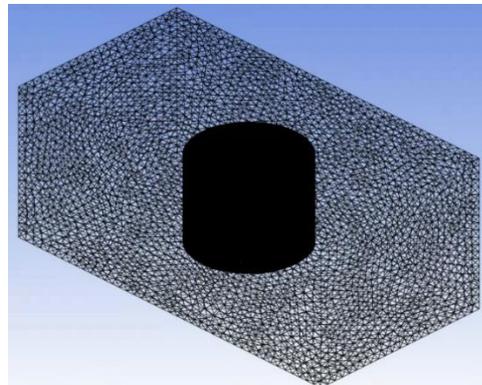
Gambar 4. Kualitas *mesh* pada penelitian

Dikarenakan pada penelitian sebelumnya dilakukan uji eksperimental maka dibutuhkan desain domain. Desain domain yang dipakai berdasarkan acuan penelitian turbin angin savonius yang dilakukan oleh Kumail [11]. Pada Gambar 5. Domain Komputasi Gambar 5. Domain Komputasi menunjukkan desain domain komputasi yang dipakai pada penelitian ini.



Gambar 5. Domain Komputasi

Proses selanjutnya adalah proses pembuatan mesh pada domain yang sudah dibuat. Ansys Fluent Meshing 2022 R2 digunakan pada tahap ini. Pada turbin angin savonius menggunakan ukuran 3 mm dan *interface* 10 mm. Sedangkan *inflation number* 10 dan *grow rate* 1.1. Pada Gambar 6 menunjukkan hasil *meshing* pada penelitian ini. Dan menunjukkan batasan kondisi yang digunakan pada simulasi.



Gambar 6. Hasil Pembentukan Mesh

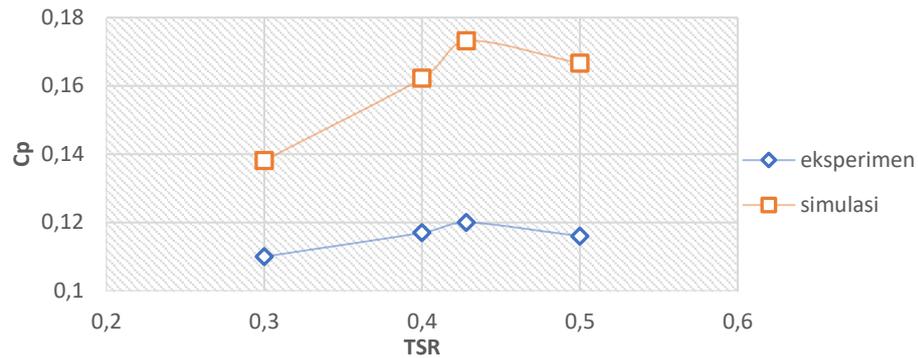
Dikarenakan pada penelitian sebelumnya dilakukan uji eksperimental maka dibutuhkan batasan kondisi pada penelitian ini. Pada Tabel 3 menunjukkan batasan kondisi yang dipakai pada penelitian ini. Dan simulasi dijalankan dalam keadaan transien karena dapat menangkap perubahan dinamis aliran tak tunak serta interaksi gaya kompleks pada bilah selama rotasi, yang tidak bisa direpresentasikan secara tepat oleh simulasi *steady-state*.

Tabel 3. Batasan Kondisi

Batasan Kondisi	Keterangan
Inlet	Type : Velocity inlet Velocity magnitude : 6.46 m/s
Outlet	Type : Pressure Outlet Gauge Pressure : 0 Pa
Turbine	Wall Motion : Moving Wall Motion : Rotational Shear Condition : No Slip
Wall	Wall Motion : Stationary Wall Shear Condition : No Slip

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

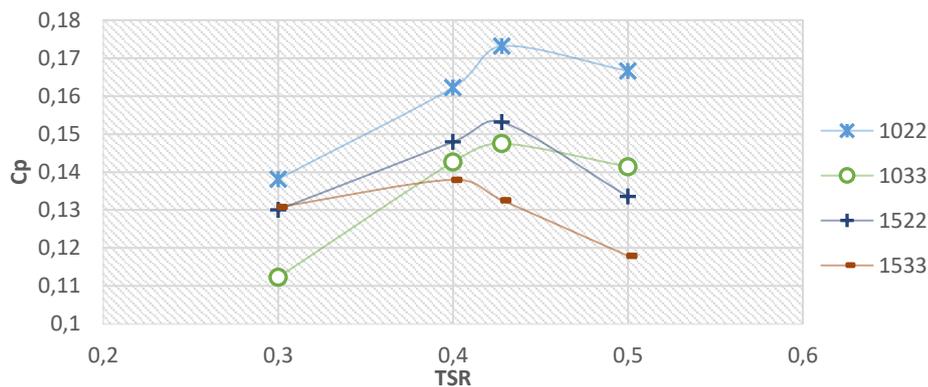
Koefisien daya (C_p) dan koefisien torsi (C_t) dari turbin angin savonius bilah berlapis dianalisis secara detail disini. Analisis turbin angin savonius dilakukan pada *tip speed ratio* (TSR) 0.3, 0.4, 0.428, dan 0.5. Turbin angin savonius bilah berlapis yang akan dianalisis yaitu variasi overlap ratio 10% dan 15% dengan jarak kerapatan antar bilah 22 mm dan 33 mm. Semua variasi turbin angin savonius bilah berlapis akan dilakukan dengan kondisi batas yang sama. Simulasi yang dilakukan sebelumnya divalidasi dari penelitian secara eksperimental oleh Y Kurniawan, gambar 6 menunjukkan validasi dari penelitian ini. Grafik menunjukkan bentuk serupa yang menandakan kondisi simulasi dan eksperimen sesuai. Perbedaan nilai koefisien daya (C_p) disebabkan hasil dari simulasi lebih besar karena dilakukan dengan asumsi kondisi ideal atau stabil sedangkan pada eksperimen bisa terjadi perubahan.



Gambar 7. Grafik Koefisien Daya (C_p) Eksperimen dan Simulasi

3.1 Analisis Koefisien daya (C_p)

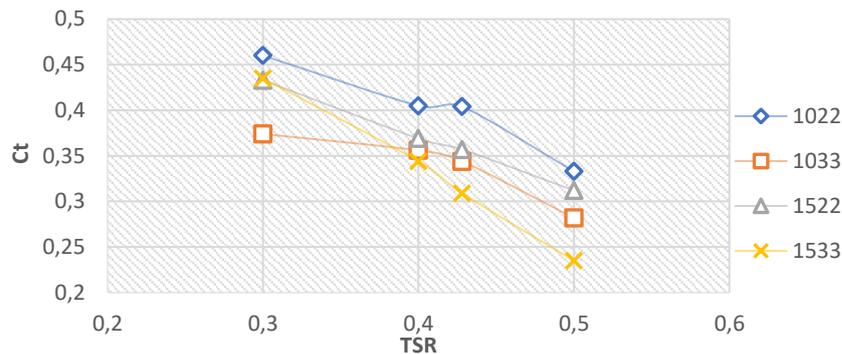
Grafik menunjukkan nilai koefisien daya (C_p) untuk semua variasi pada penelitian ini. Pada Gambar 8 ditampilkan bahwa nilai koefisien daya (C_p) akan naik hingga mencapai sebuah titik puncak *tip speed ratio* (TSR) yang mana setelah itu akan menurun. Grafik menunjukkan nilai koefisien daya (C_p) terbesar pada turbin angin savonius *overlap ratio* 10% dengan kerapatan antar bilah 22 mm sebesar 0.173. Turbin savonius dengan variasi *overlap ratio* 15% dengan kerapatan antar bilah 33 mm memiliki nilai koefisien daya (C_p) terbesar kedua dengan nilai 0.153. Berdasarkan grafik dapat disimpulkan penggunaan jarak antar bilah 22 mm memiliki nilai koefisien daya (C_p) yang lebih besar dikarenakan aliran udara yang melewati bilah berlapis lebih terfokus masuk kedalam *overlap ratio* yang membuat turbulensi berkurang dan meningkatkan efisiensi konversi energi angin menjadi energi mekanik. Pada konfigurasi turbin dengan jarak bilah berlapis sebesar 33 mm aliran yang masuk tidak terfokus karena memiliki celah cukup yang besar yang membuat sebagian energi terbuang dalam bentuk turbulensi.



Gambar 8. Grafik Koefisien Daya (C_p) dengan *tip speed ratio* (TSR)

3.2 Analisis Koefisien Torsi (C_t)

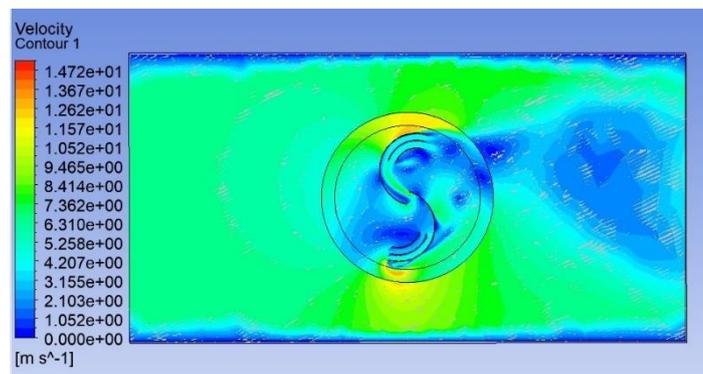
Grafik yang ditampilkan pada Gambar 9 menunjukkan nilai koefisien torsi untuk semua variasi pada penelitian ini. Pada grafik ditampilkan bahwa nilai dari koefisien torsi (C_t) pada turbin angin savonius cenderung berkurang seiring bertambahnya *tip speed ratio* (TSR). Grafik menunjukkan nilai koefisien torsi (C_t) terbesar pada turbin angin savonius *overlap ratio* 10% dengan kerapatan antar bilah 22 mm sebesar 0.46. Turbin savonius dengan variasi *overlap ratio* 15% dengan kerapatan antar bilah 33 mm memiliki nilai koefisien torsi (C_t) terbesar kedua dengan nilai 0.435. Berdasarkan grafik dapat disimpulkan penggunaan jarak antar bilah 22 mm memiliki nilai koefisien torsi (C_t) yang lebih besar. Pada variasi *overlap ratio* 15% dan jarak antar bilah 33 mm menunjukkan bentuk grafik yang sedikit berbeda dengan variasi lain karena mengalami penurunan nilai koefisien torsi (C_t) yang drastis dibandingkan variasi lain. Penggunaan *overlap ratio* dapat meningkatkan gaya hambat yang berguna untuk memutar bilah turbin savonius namun jika terlalu besar mengakibatkan aliran udara terhambat dan mengurangi efisiensi turbin dalam menghasilkan torsi. Nilai *overlap ratio* dan jarak antar bilah juga harus sesuai untuk menjaga stabilitas torsi yang dihasilkan selama putaran turbin.



Gambar 9. Grafik Koefisien Torsi (C_t) dengan *tip speed ratio* (TSR)

3.3 Analisis Kontour Kecepatan

Pada menunjukkan kontour kecepatan dari turbin angin savonius dengan performa terbaik yaitu pada *tip speed ratio* (TSR) 10% dengan jarak bilah berlapis 22 mm. Kecepatan angin masuk dari kiri (inlet) ke arah kanan (outlet) dan dianalisis setelah turbin angin sudah berputar. Angin yang melewati turbin memiliki kecepatan yang tinggi dengan kontour berwarna hijau. Angin yang memasuki turbin memiliki warna biru tua dan biru muda menandakan kecepatan angin sedang. Sedangkan warna oranye dan kuning memiliki kecepatan yang rendah dikarenakan penyempitan bilah dengan *endplate*. Kontour menunjukkan aliran udara yang melewati turbin lebih terfokuskan, turbulensi yang dihasilkan rendah, dan kestabilan aliran yang berkontribusi pada peningkatan torsi dan pengurangan gaya hambat yang berlebih.



Gambar 10. Kontour Kecepatan

4. Kesimpulan

Hasil simulasi menunjukkan bahwa turbin angin savonius bilah berlapis penelitian terdahulu oleh Y. Kurniawan dengan *overlap ratio* 10% dan kerapatan antar bilah 22 mm merupakan yang terbaik dengan C_p 0,17 dan C_t pada tsr 0.428. Aliran udara lebih terkontrol, turbulensi yang dihasilkan lebih rendah, dan meningkatkan efisiensi konversi energi angin menjadi mekanik. Melakukan variasi dengan meningkatkan nilai *overlap ratio* dan jarak bilah berlapis pada penelitian ini tidak menghasilkan kinerja yang lebih baik. Meningkatkan nilai *overlap ratio* yang bisa meningkatkan gaya hambat namun pada penelitian ini nilai variasi *overlap ratio* terlalu besar dan menyebabkan penurunan kinerja dari turbin angin. Memperbesar jarak bilah berlapis agar semakin banyak aliran udara yang dapat masuk ke *overlap ratio* juga tidak efektif karena membuat aliran udara yang masuk tidak terfokuskan dengan benar. Perlu dilakukan penyesuaian dan kestabilan yang sesuai pada variasi *overlap ratio* dan jarak bilah berlapis untuk meningkatkan efisiensi turbin angin bilah berlapis.

Daftar Pustaka

- [1] Siagian P, Suleman N, Asrim JSP, Tambi, Prihatini SEWWOZ, Budirohmi A, et al. Energi Baru Terbarukan Sebagai Energi Alternatif [Internet]. Yayasan Kita Menulis. 2023. 1–152 p. Available from: <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- [2] Jurnal EEICT. 2018;1(2):59–71.
- [3] Neha, Rambeer J. Renewable Energy Sources: A Review. J Phys Conf Ser. 2021;1979(1).
- [4] Wang Y, Sun X, Dong X, Zhu B, Huang D, Zheng Z. Numerical investigation on aerodynamic performance of a novel vertical axis wind turbine with adaptive blades. Energy Convers Manag [Internet]. 2016;108:275–86. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2015.11.003>
- [5] Schubel PJ, Crossley RJ. Wind turbine blade design. Energies. 2012;5(9):3425–49.

- [6] Th D. Optimal design of a Savonius turbine. 2018;(October).
- [7] Sharma S, Sharma RK. Performance improvement of Savonius rotor using multiple quarter blades – A CFD investigation. *Energy Convers Manag* [Internet]. 2016;127:43–54. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.087>
- [8] Jeon KS, Jeong JI, Pan JK, Ryu KW. Effects of end plates with various shapes and sizes on helical Savonius wind turbines. *Renew Energy* [Internet]. 2015;79(1):167–76. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.035>
- [9] Ricci R, Romagnoli R, Montelpare S, Vitali D. Experimental study on a Savonius wind rotor for street lighting systems. *Appl Energy* [Internet]. 2016;161:143–52. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.012>
- [10] Kurniawan Y, Tjahjana DDDP, Santoso B. Experimental Studies of Performance Savonius Wind Turbine with Variation Layered Multiple Blade. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 2020;541(1).
- [11] Fatchurrohman N, Chia ST. Performance of hybrid nano-micro reinforced mg metal matrix composites brake calliper: Simulation approach. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*. 2017;257(1):0–7.
- [12] Al-Gburi KAH, Al-quraishi BAJ, Ismail Alnaimi FB, Tan ES, Al-Safi AHS. Experimental and Simulation Investigation of Performance of Scaled Model for a Rotor of a Savonius Wind Turbine. *Energies*. 2022;15(23).