

Studi Eksperimen Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja *Wind Turbine Crossflow*

Fahrudin*, Fitri Wahyuni, Dini Oktavitasari

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta
Jalan. RS Fatmawati Pondok Labu, Jakarta Selatan, 12450

*E-mail: fahrudin@upnvj.ac.id

Diterima: 31-03-2021; Direvisi: 02-08-2021; Dipublikasi: 27-08-2021

Abstrak

Angin merupakan salah satu energi alternatif bersifat ramah lingkungan dan berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan jenis turbin angin yang dapat menerima angin dari segala arah. Turbin angin sumbu vertikal jenis *crossflow* mempunyai koefisien torsi yang tinggi pada *tip speed ratio* yang rendah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja turbin angin *crossflow* jenis *vertikal axis*. Uji eksperimen dilakukan dengan variasi jumlah sudu. Konfigurasi dianalisa dengan menggunakan skema pengujian eksperimen *wind tunnel* yang telah di modifikasi dibagaima *section test*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah sudu 16 memiliki *Power coefficient* (C_{Pmax}) = 0,23 *tip speed ratio* (TSR) = 0,42 pada kecepatan angin 6 m/s.

Kata kunci: turbin angin *crossflow*; *Power coefficient*; *wind tunnel*

Abstract

Wind is an alternative energy that is environmentally friendly and sustainable. Therefore, we need a type of wind turbine that can receive wind from all directions. The *crossflow* type vertical axis wind turbine has a high torque coefficient at a low *tip speed ratio*. The purpose of this study was to determine the effect of the number of blades on the performance of the vertical axis *crossflow* wind turbine. The experimental test was carried out by varying the number of blades. The configuration is analyzed using the experimental *wind tunnel* test scheme which has been modified in the *section test* section. The results showed that the number of blades 16 has a *power coefficient* (C_{Pmax}) = 0.23 *tip speed ratio* (TSR) = 0.42 at a wind speed of 6 m/s.

Keywords: *Power coefficient*; *wind turbine crossflow*; *wind tunnel*

1. Pendahuluan

Angin merupakan salah satu sumber energi potensial yang kualitasnya cukup banyak untuk daerah-daerah di Indonesia dengan kecepatan angin rata-rata 3 m/s, tetapi belum banyak dimanfaatkan. Energi angin merupakan salah satu energi alternatif yang bersifat berkelanjutan sehingga mampu memenuhi kebutuhan energi jangka panjang, yaitu angin yang di ekstrak menggunakan turbin angin. Dengan karakteristik kecepatan angin tersebut, Indonesia dinilai cocok untuk menggunakan pembangkit daya turbin angin skala kecil sampai menengah [1].

Secara umum turbin angin dibagi menjadi dua jenis yaitu, turbin angin sumbu vertikal dan turbin angin sumbu horisontal [2]. Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin dengan jenis poros tegak, mampu menerima angin dari segala arah, mempunyai karakteristik *starting* yang cepat dan mempunyai konstruksi yang sederhana sehingga memudahkan dalam melakukan perawatan, namun disisilain energi yang dihasilkan hanya sekitar 50% dari efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin sumbu horisontal [3].

Turbin angin sumbu vertikal jenis *crossflow* mampu mengubah energi kinetik menjadi energi listrik dengan bantuan generator. Turbin *crossflow* mampu bekerja terhadap arah angin rendah sehingga menghasilkan koefisien torsi tinggi. Prinsip kerja turbin *crossflow* lebih banyak dimanfaatkan untuk turbin air dan termasuk jenis turbin aksi (*impulse*

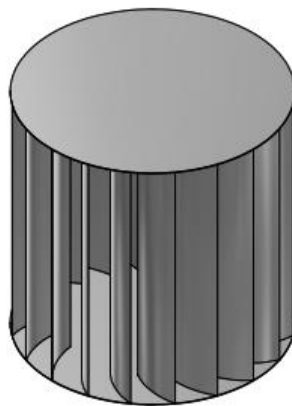
turbine). Proses pembuatan turbin angin *crossflow* juga lebih mudah jika dibandingkan dengan pembuatan turbin angin lainnya karena turbin *crossflow* memiliki desain yang sangat sederhana [4].

Penelitian turbin angin *crossflow* sebagai turbin angin masih jarang ditemui karena terbatas pada pemanfaatan turbin *crossflow* sebagai turbin air. Parameter penting yang dapat memengaruhi efisiensi turbin antara lain adalah *radial rim width* (α), sudut sudu, diameter turbin, jumlah sudu dan kelengkungan sudu [5]. Pengujian performa turbin angin *crossflow* dengan metode simulasi menggunakan *software ANSYS-Fluent* telah dilakukan oleh Dragomirescu dengan analisis 2D dan diteliti pada kecepatan angin 2 m/s. Geometri turbin *crossflow* yang di rancang adalah diameter luar 1000 mm, diameter dalam 660 mm, radius kelengkungan sudu 146,8 mm dan jumlah sudu 20. Penelitian dilakukan pada *tip speed ratio* (*TSR*) 0 sampai 0,6 dengan interval 0,1. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa nilai *coefficient torque* (C_m) berbanding terbalik dengan *tip speed ratio*. Semakin besar nilai *tip speed ratio*, nilai *coefficient torque* akan semakin kecil. Nilai C_m tertinggi dicapai pada saat *TSR* 0, yaitu sebesar 3,6. Pada *TSR* 0,6, *coefficient torque* bernilai negatif. Hasil tersebut menunjukkan bahwa turbin angin tipe *crossflow* hanya dapat digunakan pada *TSR* kurang dari 0,6. *Coefficient performance* (C_p) tertinggi yaitu sebesar 0,45 dihasilkan pada *TSR* 0,3 [6]. Maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu dan kecepatan angin terhadap performa turbin sumbu vertikal *crossflow* pada kondisi nyata. Untuk memprediksi performa turbin angin pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen pada *wind tunnel* [7]. Eksperimen dilakukan dengan variasi jumlah sudu pada kecepatan angin tetap. Diharapkan setelah mendapatkan hasil eksperimen akan diketahui performa turbin sumbu vertikal *crossflow*.

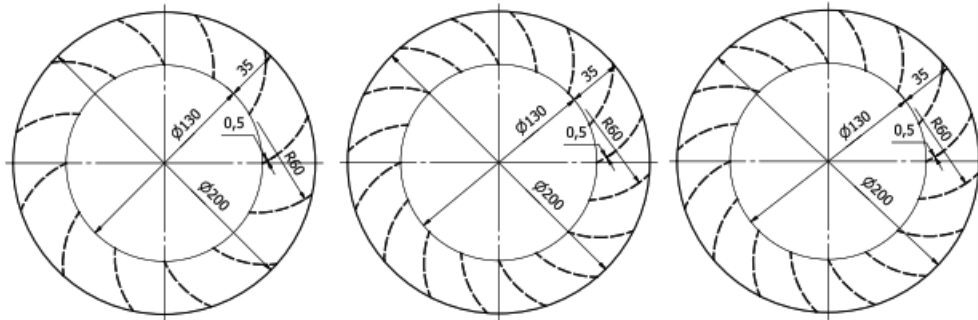
2. Material dan metodologi

2.1 Turbin angin *crossflow*

Pada penelitian ini untuk mendapatkan performa turbin angin *crossflow* yang optimal, maka dimensi model turbin dibuat dengan menyesuaikan luasan pada *test section*, turbin angin dibuat dengan tiga variasi jumlah sudu seperti pada Gambar 1. Geometri desain turbin *crossflow* pada penelitian ini adalah sebagai berikut; Diameter luar (D_1) = 200 mm; Diameter dalam (D_2)= 130 mm; Diameter poros (\emptyset) 12 mm; Lebar rim (α)= 35 mm; Radius sudu (R) = 60 mm; Sudut antar sudu (θ) = 23° ; Tinggi (H) = 200 mm; Tebal (T) = 0,5 mm; Jumlah sudu = 12, 16 dan 20. Material yang digunakan dalam proses pabrikan yaitu aluminium.



a. Model turbin *crossflow*



b. Geometri *crossflow* sudu 12 c. Geometri *crossflow* sudu 18 d. Geometri *Crossflow* sudu 20

Gambar 1. (a) Model turbin *crossflow* (b) Geometri *crossflow* sudu 12 (c) Geometri *crossflow* sudu 18 (d) Geometri *Crossflow* sudu 20

2.2 Wind Tunnel

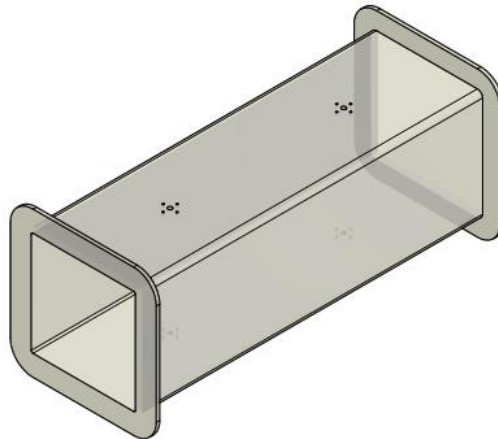
Pada Gambar 2 menunjukkan skema pengujian eksperimen dengan menggunakan *wind tunnel* [7]. Perlengkapan eksperimen terdiri dari dua bagian, yaitu *contraction section* dan *test section*. *Contraction section* terdiri dari *setting chamber*, *diffuser* dan *fan*. Dua bagian *setting chamber* dan *diffuser*, aliran udara akan diserap masuk melalui bagian *intake* dan *fan* yang digerakan oleh motor. Model diterapkan pada bagian *test section* dan udara yang masuk kedalam terowongan angin akan dikeluarkan melalui *diffuser* [8].



No	Keterangan
1	Wind direction
2	Diffuser
3	Anemometer
4	Test section
5	Turbin <i>crossflow</i>
6	Diffuser
7	Fan
8	Digital scale
9	Prony break

Gambar 2. *Wind Tunnel*

Bagian kedua dari dari skema pengujian adalah *test section* seperti pada Gambar 3 terdiri dari *anemometer* dan turbin angin [9]. Jarak poros turbin angin terhadap *inlet* 35 cm pada bagian *downstream*, luas penampang 30 cm². Putaran dari poros turbin direduksi dengan *prony breake* dan diukur dengan menggunakan *tachometer digital*. Pengukuran kecepatan angin dilakukan dengan menggunakan *anemometer digital*. Untuk menghitung beban yang terpasang pada poros menggunakan *digital scale* [10].



Gambar 3. *Test Section*

2.3 Pengolahan data

Untuk mendapatkan kurva C_p vs λ semua konfigurasi di uji pada kecepatan angin dan kecepatan sudut rotor yang bervariasi. Kecepatan angin dapat di rubah dengan menyesuaikan kecepatan aliran masuk pada wind tunnel. *Torque* dan *Power Coefficient* C_T dan C_P serta λ *tip speed ratio*, diperoleh dengan mengukur torsi T dan kecepatan sudut ω pada saat yang sama [11], persamaannya menjadi.

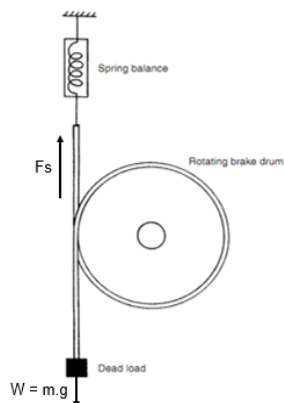
$$C_T = \frac{T}{0,5 \rho A R v^2} \quad \lambda = \frac{2 \pi R \omega}{60 v} \quad (1)$$

$$C_P = \frac{P}{0,5 \rho A v^3} = \lambda C_T \quad (2)$$

Pada kecepatan angin normal *tip speed ratio* akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor. Turbin angin tipe *lift* akan memiliki *tip speed ratio* yang relatif lebih besar dibandingkan dengan turbin angin tipe *drag*. Laju aliran udara memiliki kecepatan v yang dapat memutar rotor dalam satuan putaran per menit N . Sehingga tip speed ratio dapat di hitung dengan perbandingan antara kecepatan keliling rotor dan kecepatan angin [12].

$$\lambda = \frac{\pi D N}{60 v} \quad (3)$$

Pengukuran torsi dapat dilakukan dengan mengukur daya yang ditransmisikan oleh poros yang berputar. Metode yang digunakan dalam mengukur torsi poros berputar adalah dengan menggunakan prony break. Prinsip kerja dari prony break dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Prony break

Prony break terdiri dari sebuah buah tali yang terikat pada poros yang berputar. Salah satu ujung tali digantungkan pada sebuah pegas gaya dan ujung yang satu membawa beban dengan massa tertentu, m . Jika gaya yang terukur pada pegas adalah F_s , maka gaya efektif F_e pada tali dapat dirumuskan [10].

$$F_e = mg - F_s$$

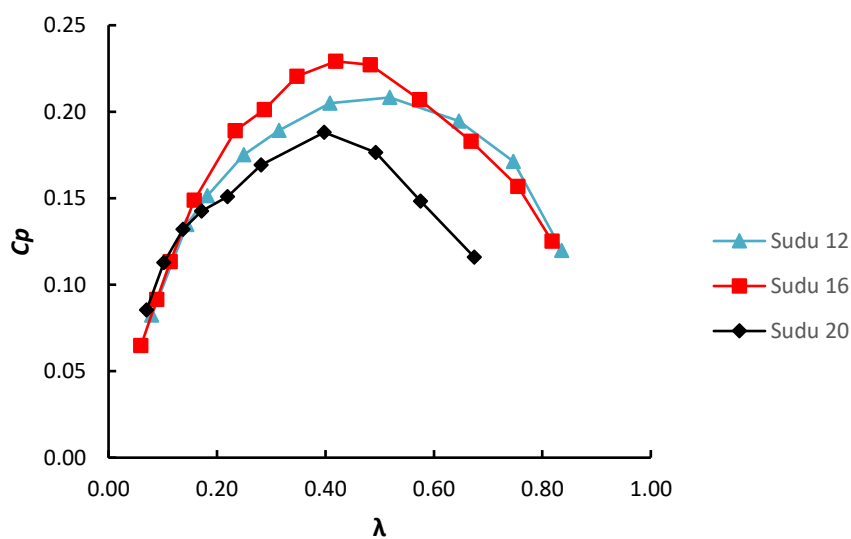
Kemudaian torsi, T dapat di hitung

$$T = F_e \times R_e$$

Pengambilan data eksperimen turbin angin dilakukan pada laboratorium mekanika fluida, jurusan teknik mesin universitas sebelas maret. Pada bagian *test section* turbin angin diterapkan, dimana variasi jumlah sudu 12, 16 dan 20 digunakan pada kecepatan angin konstan 6 m/s. Untuk mengetahui kecepatan aliran masuk yang seragam digunakan pitot tube anemometer.

3. Hasil dan pembahasan

Penelitian terhadap turbin angin dilakukan untuk mengetahui performa terbaik dari turbin angin *crossflow*, variasi dengan mengunkan jumlah sudu pada kecepatan angin konstan. Hasil dari pengujian akan dapat simpulkan apakah pengaruh jumlah sudu mempengaruhi performa turbin angin. Data yang diperoleh adalah kecepatan angin pada turbin (m/s), putaran poros turbin (RPM), beban (gram). Data tersebut digunakan pada perhitungan untuk memperoleh daya angin (Watt), daya pada poros yang dihasilkan oleh turbin (Watt), *tip speed ratio* (TSR) dan *power coefficient* (C_p) dari turbin angin.



Gambar 5. Grafik C_p terhadap λ

Pengujian turbin angin *crossflow* pada variasi jumlah sudu 12, 16 dan 20 dengan kecepatan angin 6 m/s. Grafik hasil pengujian menunjukkan kurva parabolik antara C_p terhadap TSR seperti pada Gambar 5. Dimana hasil pengujian pada turbin angin dengan variasi jumlah sudu 12 $C_{Pmax} = 0,21$ pada *tip speed ratio* $\lambda = 0,52$. Pada pengujian variasi jumlah sudu 16 $C_{Pmax} = 0,23$ pada *tip speed ratio* $\lambda = 0,42$. Sedangkan pengujian pada variasi jumlah sudu 20 $C_{Pmax} = 0,19$ pada *tip speed ratio* $\lambda = 0,40$. Melihat dari tren grafik yang terjadi dari tiga variasi jumlah sudu, seiring dengan bertambahnya nilai TSR nilai C_p akan meningkat hingga mencapai titik maksimum dan akan kembali turun setelah

melewati titik maksimum, kecenderungan grafik tersebut sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Eric Hau [13]. Pengujian performa turbin angin dengan jumlah bilah 20 memiliki efisiensi yang rendah dikarenakan profil luasannya yang sangat rapat antar bilahnya sehingga aliran yang mengenai bilah pada langkah kerja pertama akan menyebabkan turunya kecepatan dan daya pada aliran angin, akibat lainnya terjadi torsi negatif berakibat menguarangi energi mekanik yang dihasilkan dari transfer energi kinetik angin. Jika mengacu pada penelitin sebelumnya yang dilakukan oleh Dragomirescu dimana performa turbin angin *crossflow* dengan jumlah bilah 20 pada kecepatan angin 2 m/s menggunakan metode simulai numerik hasilnya menunjukkan bahwa profil aliran dalam luasan area turbin *crossflow* terdapat aliran *vortex* diimana aliran tersebut mengakibatkan tidak maksimalnya turbin mengekstrak aliran angin yang masuk ke dalam turbin. Aliran *vortex* mengakibatkan terjadinya torsi negatif, terlihat pada konfigurasi dari nilai C_t berbanding terbalik dengan C_p [6]. Pada pengujian turbin angin dengan jumlah bilah 12 memiliki efisiensi rendah diakibatkan jumlah bilah yang sedikit, sehingga menghasilkan rugi-rugi terjadi. Fenomena tersebut juga merupakan pembuktian dari perubahan energi kinetik menjadi energi mekanik kurang sempurna. Laju aliran masa udara tidak menabrak luasan rotor dengan sempurna karena gaya momentum angin yang menabrak sudu hanya sedikit. Hal tersebut menyebabkan kemampuan angin untuk memutar turbin akan berkurang, sehingga performa turbin pun akan menurun [14]. Kenaikan koefisien daya pada turbin *crossflow* dengan jumlah bilah 16 lebih baik karena aliran udara yang mengenai sudu *inlet* langsung diteruskan kebagian bilah bagian *outlet* sehingga energi kinetik pada angin terkonversi menjadi energi mekanik lebih tinggi. Luas area dan jumlah sudu yang sesuai memberikan kinerja yang baik pada turbin angin *crossflow* [15].

4. Kesimpulan

Melihat hasil eksperimen, berdasar analisa data dan pembahasan pengaruh jumlah sudu terhadap performa turbin angin jenis *crossflow* dapat diambil keimpulan. Konfigurasi terbaik turbin angin *crossflow* adalah turbin angin dengan jumlah sudu 16 dengan nilai koefisien daya 0,23. Berdasar Gambar 5 dapat dilihat bahwa jumlah sudu dan luasan turbin mempengaruhi besarnya koefisien daya. Dapat diartikan bahwa jumlah sudu tidak berbanding lurus dan tidak berbanding berbalik dengan daya turbin. Jumlah sudu yang terlalu banyak akan membuat celah antara sudu yang semakin rapat. Sebaliknya jumlah sudu yang sedikit mengakibatkan adanya rugi sehingga laju aliran masa yang terkonversi mengakibatkan penurunan pada efisiensi daya.

Ucapan terima kasih

Ucapan Terima Kasih kepada LPPM UPN Veteran Jakarta atas pendanaan yang diberikan melalui proram RDP.

Daftar Pustaka

- [1] A. Wahid and D. Supramono, *Indonesia Energy Outlook and Statistics 2006*, no. December. 2006.
- [2] I. Ross and A. Altman, "Journal of Wind Engineering Wind tunnel blockage corrections : Review and application to Savonius vertical-axis wind turbines," *Jnl. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 99, no. 5, pp. 523–538, 2011.
- [3] J. Vicente, H. Antonio, and A. Prisco, "A review on the performance of Savonius wind turbines," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 5, pp. 3054–3064, 2012.
- [4] T. Kawamura, "Numerical simulation," *Renew. Energy*, vol. 1288, pp. 44–51, 2002.
- [5] I. C. Mandis and D. Robescu Niculae, "Capitalization Of Wind Potential Using A Modified Banki Turbine," vol. 70, no. May, 2008.

- [6] A. Dragomirescu, "Performance assessment of a small wind turbine with cross flow runner by numerical simulations," vol. 36, pp. 957–965, 2011.
- [7] L. Angelo, O. Eboibi, and R. Howell, "An experimental investigation into the influence of unsteady wind on the performance of a vertical axis wind turbine," *Appl. Energy*, vol. 107, no. Applied Energy journal, pp. 403–411, 2013.
- [8] Fahrudin, D. Danardono, D. Prija, and B. Santoso, "Experimental study of separator effect and shift angle on crossflow wind turbine performance Experimental Study of Separator Effect and Shift Angle on Crossflow Wind Turbine Performance," vol. 030044, no. February, 2018.
- [9] J. Kumbernuss, J. Chen, H. X. Yang, and L. Lu, "Investigation into the relationship of the overlap ratio and shift angle of double stage three bladed vertical axis wind turbine (VAWT)," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 107–108, pp. 57–75, 2012.
- [10] R. Howell, N. Qin, J. Edwards, and N. Durrani, "Wind tunnel and numerical study of a small vertical axis wind turbine," *Renew. Energy*, vol. 35, no. 2, pp. 412–422, 2010.
- [11] R. Ricci, R. Romagnoli, S. Montelpare, and D. Vitali, "Experimental study on a Savonius wind rotor for street lighting systems q," *Appl. Energy*, vol. 161, pp. 143–152, 2016.
- [12] M. A. Khattak, N. S. M. Ali, N. H. Z. Abidin, N. S. Azhar, and M. H. Omar, "Akademia Baru Common Type of Turbines in Power Plant : A Review Akademia Baru," vol. 3, no. 1, pp. 77–100, 2016.
- [13] E. Hau, *Wind Turbines*. Munich: Springer, 2005.
- [14] S. Mathew, *Sathyajith Mathew Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics*. .
- [15] J. Fukutomi, T. Shigemitsu, and H. Daito, "Study on Performance and Flow Condition of a Cross-Flow Wind Turbine With a Symmetrical Casing," *Renew. Energy*, vol. 133, no. May 2011, pp. 1–9, 2016.