

## Pengujian Performansi Model Turbin Angin Aliran Silang pada Kecepatan Angin 5 - 7 m/s

Endang Achdi<sup>a,1</sup>, Hery Soenawan<sup>b</sup>, Yudi Setiadi<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pasundan, Bandung, 40153

<sup>b</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pasundan, Bandung, 40153

<sup>c</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pasundan, Bandung, 40153

<sup>1</sup>[e\\_achdi@yahoo.com](mailto:e_achdi@yahoo.com)

### ABSTRAK

Dua jenis turbin angin yang telah lama dikenal yaitu turbin angin poros horizontal dan poros vertikal. Kedua jenis turbin angin ini didesain untuk menyerap energi angin yang datang secara horizontal. Di daerah perkotaan, angin yang datang pada turbin angin berasal dari berbagai arah akibat tumbukan dengan dinding dan pelepasan panas dari dinding gedung. Turbin angin sumbu silang didesain untuk menyerap energi angin yang datang dari arah horizontal dan vertikal. Dalam penelitian ini dikembangkan model turbin angin sumbu silang yang memiliki 10 sudu horizontal dan 5 sudu vertikal. Fasilitas yang dipergunakan dalam pengujian ini terdiri dari model turbin angin aliran silang, dinamometer generator, terowongan angin, anemometer *pitot tube*, dan mikrokontroler. Selama pengujian, kecepatan angin dan sudut pitch sudu horizontal divariasikan. Kecepatan angin divariasikan pada rentang 5 - 7 m/s dan sudut pitch sudu horizontal pada rentang 20° - 30°. Performansi model turbin angin sumbu silang meliputi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai putaran konstan dan koefisien performansi. Waktu terpendek untuk mencapai putaran konstan sekitar 20 detik pada kecepatan angin 6,3 m/s dan sudut pitch 25°. Koefisien performansi maksimum sekitar 7,54% pada kecepatan angin 6,3 m/s, sudut pitch sudu 25°, dan tip speed ratio 1,08.

**Keywords:** Koefisien performansi, Sudut pitch sudu, *Tip speed ratio*

**Received** 2 September 2024; **Presented** 2 Oktober 2024; **Publication** 20 Januari 2025

DOI: 10.71452/590796

### PENDAHULUAN

Sebagian besar kebutuhan energi listrik masih bersumber dari bahan bakar fosil. Di sisi lain pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan seperti energi angin dalam pembangkitan listrik masih sangat rendah. Pemanfaatan energi angin dalam pembangkitan listrik menggunakan turbin angin. Dua jenis turbin angin yang telah lama dikenal yaitu turbin angin poros horizontal dan poros vertikal. Desain kedua jenis turbin angin ini dipergunakan di area lahan terbuka dengan kondisi angin bergerak secara horizontal [5, 6, 10]. Sekitar delapan tahun yang lalu telah dikembangkan turbin angin sumbu silang yang didesain untuk mengubah energi angin yang datang pada turbin angin dari arah horizontal dan arah vertikal. Kondisi angin seperti ini sering dijumpai di daerah perkotaan karena pembelokan arah angin oleh gedung - gedung tinggi [12]. Pengembangan turbin angin sumbu silang sudah pada tahap pengujian. Tahap pengujian ini penting dilakukan sebelum turbin angin sumbu silang diterapkan dalam pembangkitan listrik.

Karena pentingnya pengujian seperti dikemukakan di atas maka dalam penelitian ini dilakukan pengujian sebuah model turbin angin sumbu silang. Model turbin angin sumbu silang yang diuji memiliki kapasitas

ukuran skala lab. Pengujian ini untuk mendapatkan performansi model turbin angin sumbu silang yang telah tersedia hasil penelitian sebelumnya. Kecepatan angin yang dipilih dalam pengujian ini mempertimbangkan kondisi kecepatan angin yang tersedia di wilayah Indonesia. Dari data pengujian ini didapat karakteristik performansi model turbin angin sumbu silang pada rentang kecepatan angin yang ditentukan. Karakteristik performansi hasil pengujian ini menjadi dasar di dalam melakukan langkah pengembangan model turbin angin sumbu silang ini ke depan.

### REVIEW LITERATUR

Model turbin angin ideal disimulasikan dengan sebuah propeler tanpa gesekan seperti diperlihatkan pada Gambar 1 [7, 14]. Performansi model turbin angin ideal ini telah diprediksi oleh A. Betz pada tahun 1920. Propeler tanpa gesekan ini dinyatakan dengan sebuah *actuator disk* yang membentuk bidang lintasan dengan luas penampang  $A$  dan kecepatan lokal  $V_1$ . Pada bidang lintasan ini tekanan angin tidak kontinyu, di dekat sebelum disk tekanan angin naik menjadi  $p_b$  dan di belakang disk turun menjadi  $p_a$ , kemudian kembali ke tekanan aliran bebas  $p_\infty$ .

Penerapan persamaan momentum dan persamaan Bernoulli dalam arah horizontal pada volume atur di

sisi 1 dan 2 didapat daya maksimum model turbin angin idea, yaitu :

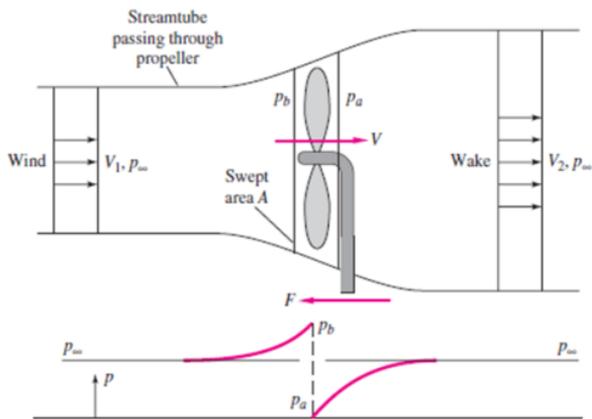
$$P_{maks} = \frac{8}{27} \rho AV_1^3 \quad (1)$$

Daya angin yang menembus turbin angin ideal merupakan total laju energi kinetik angin yang menembus luas penampang piringan, yaitu:

$$P_W = \frac{1}{2} \rho AV_1^3 \quad (2)$$

Koefisien performansi maksimum yang mungkin dicapai yaitu 0,593 yang dikenal sebagai limit Betz.

$$C_{Pmax} = \frac{P_{maks}}{P_W} = 0,593 \quad (3)$$



Gambar 1 Model turbin angin ideal [7, 14]

Sebuah desain konsep baru turbin angin telah dikembangkan dan dikenal sebagai turbin angin sumbu silang [8, 9]. Model baru turbin angin ini didesain untuk menyerap energi angin yang datang dari dua sumber, dari horizontal dan arah vertikal seperti kondisi angin di sekitar gedung - gedung tinggi. Penggunaan turbin angin poros silang ini didesain dengan menggunakan struktur penopang yang ringan dan sederhana Model turbin angin poros silang ini memiliki tiga sudu vertikal dan enam sudu horizontal yang terbagi dua konfigurasi yaitu tiga di atas dan tiga di bawah. Rotor sudu turbin angin ini memiliki diameter 350 mm dan tinggi 300 mm. Pengujian yang dilakukan dalam kondisi setup pengujian di laboratorium dengan kecepatan angin 4,5 m/s yang berasal dari susunan fan didapat koefisien maksimum maksimum sekitar 2 % [8 9, 11, 13]. Sedangkan hasil pengujian dengan setup yang terintegrasi dengan bangunan didapat koefisien performansi maksimum sebesar 26.6 % [7]

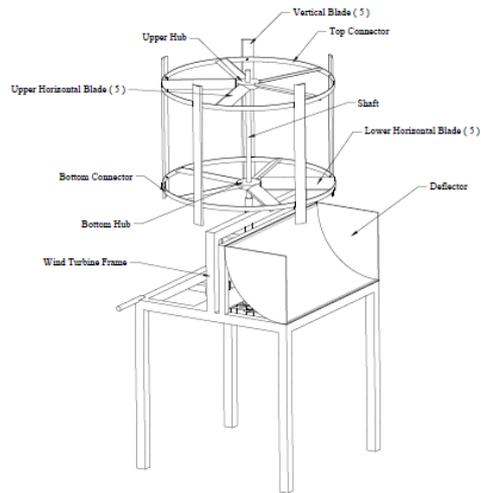
Dalam penelitian ini dilakukan suatu upaya peningkatan performansi model turbin angin poros silang dengan memodifikasi pada bagian sudu, ukuran rotor, dan pembelok. Pada bagian sudu dilakukan penambahan jumlah sudu dan perubahan jenis airfoil

sudu. Pada bagian rotor dilakukan penambahan diameter dan tinggi, dan pada bagian pembelok dengan menggunakan bentuk lengkungan pelat. Pengujian performansi turbin angin dilakukan pada set up pengujian di laboratorium pendidikan. Angin yang datang pada turbin angin berasal dari sebuah terowongan angin. Tujuan utama pengembangan model turbin angin sumbu silang ini yaitu untuk meningkatkan performansi. Performansi model turbin sumbu silang didapat melalui pengujian.

## METODOLOGI

### 1. Model Turbin Angin Sumbu Silang

Model turbin yang diuji diperlihatkan pada Gambar 2. Turbin angin ini terdiri dari rotor, pembelok, dan rangka penopang. Rotor memiliki lima sudu horizontal dan sepuluh sudu vertikal. Konfigurasi sudu vertikal yaitu dibagi dua susunan, lima di atas dan lima lagi di bagian bawah rotor.

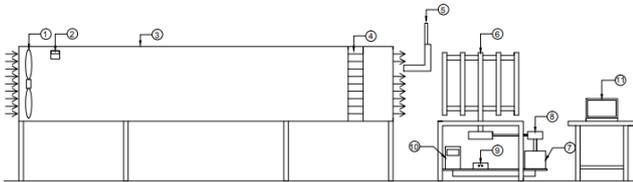


Gambar 2 Model turbin angin sumbu silang [1, 2, 3, 4]

### 2. Fasilitas Pengujian

Fasilitas laboratorium yang dipergunakan dalam pengujian model turbin angin ini diperlihatkan pada Gambar 3. Fasilitas pengujian terdiri dari blower (1), inverter (2) terowongan angin (3), flow straightener (4), pitot tube (5), model turbin angin (6), generator dc (7), transmisi daya (8), resistor (9), arduino (10), dan komputer (11). Laju aliran udara dari blower di dalam terowongan angin diatur dengan menggunakan inverter. Flow straightener dipergunakan untuk mengurangi turbulensi angin di dalam terowongan sehingga distribusi kecepatan angin yang datang pada model turbin angin menjadi lebih seragam. Kecepatan angin yang datang masuk pada turbin angin ini diukur dengan menggunakan pitot tube meter yang telah

dikalibrasi. Daya poros turbin angin ditransmisikan ke generator listrik dengan menggunakan rantai sproket. Transmisi rantai sprocket ini memiliki perbandingan kecepatan putar sekitar sepuluh sehingga kecepatan putar generator mencapai sekitar sepuluh kali kecepatan putar turbin angin. Kecepatan putar turbin angin dan turbin angin diverifikasi dengan tachometer jenis kontak dan photo..



Gambar 3 Fasilitas pengujian [1, 2, 3, 4]



(a) (b)

Gambar 4 Model turbin yang diuji (a) dan display data pengamatan (b) [1, 2, 3, 4]

### 3. Pengujian

Pengujian model turbin angin tipe poros silang ini dilakukan di laboratorium. Set up peralatan pengujian yang diperlihatkan pada Gambar 3. Pengujian performansi model turbin angin tipe poros silang ini dilakukan pada kecepatan angin, sudut pitch sudu, dan beban yang divariasikan. Kecepatan angin pada terowongan ini diubah dengan mengatur kecepatan putar motor penggerak aksial fan menggunakan inverter frekuensi. Sudut pitch sudu horizontal diubah dengan cara memutar terhadap garis sumbu putarnya. Kecepatan angin diukur dengan menggunakan Pitot tube meter dan sudu pitch sudu diukur dengan menggunakan alat busur derajat.

Pembebanan pada dinamometer generator menggunakan resistor listrik. Beban resistor listrik ini dapat diubah hingga sebelas variasi besar beban. Pada kondisi tanpa beban dilakukan pengamatan terhadap perubahan kecepatan putar poros turbin angin dari keadaan tidak berputar hingga mencapai kecepatan putar konstan. Pengamatan tanpa beban dan dengan beban dilakukan pada kecepatan angin antara 5 m/s dan 7 m/s dengan sudut pitch sudu horizontal divariasikan antara 20° dan 30°. Pada pengujian dengan beban resistor listrik, pada kecepatan angin konstan

dan sudut pitch sudu tertentu, beban divariasikan mulai dari beban kecil ke beban besar. Dengan bertambahnya beban, kecepatan putar turbin angin berkurang. Perekaman dan penyimpanan semua data pengujian dilakukan setiap empat detik sekali menggunakan perangkat mikrokontroler arduino.

### 4. Pengolahan Data

Data pengujian yaitu meliputi sudut pitch, kecepatan angin, kecepatan putar, daya angin, tegangan listrik, arus listrik, dan daya listrik. Dan kemudian data pengujian ini diolah untuk mendapatkan performansi model turbin angin sumbu silang. Dalam penelitian ini performansi model turbin angin ini meliputi durasi waktu yang dibutuhkan dari keadaan tidak berputar hingga mencapai kecepatan putar konstan, tip speed ratio, dan koefisien performansi.

Persamaan - persamaan yang dibutuhkan untuk menentukan parameter performansi model turbin angin sumbu silang dinyatakan seperti di bawah ini.

Kecepatan putar turbin angin adalah,

$$n = i n_G \quad (4)$$

$i$  adalah speed ratio rantai sprocket dan  $n_G$  adalah kecepatan putar generator dengan satuan rpm.

Kecepatan sudut poros turbin adalah sebagai berikut:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (5)$$

$\omega$  memiliki satuan rad/s dan  $n$  adalah kecepatan putar turbin angin dengan satuan rpm.

Tip speed ratio adalah sebagai berikut:

$$TSR = \frac{\omega R}{U} \quad (6)$$

$R$  adalah jari - jari rotor turbin angin dan  $U$  adalah kecepatan angin.

Daya listrik yang keluar dari generator arus searah adalah sebagai berikut:

$$P = VI \quad (7)$$

$V$  adalah tegangan listrik dengan satuan volt dan  $I$  adalah arus listrik dengan satuan ampere.

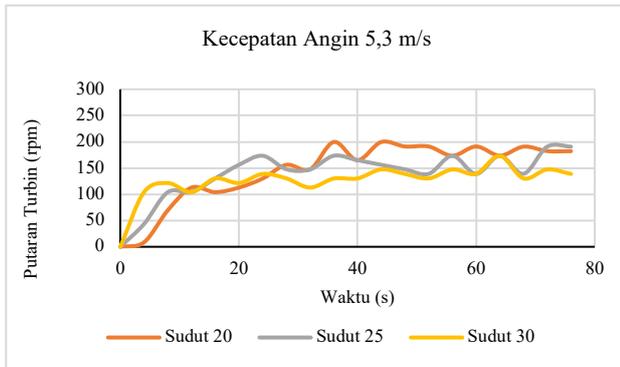
Daya angin yang datang masuk pada turbin angin adalah sebagai berikut :

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A U^3 \quad (8)$$

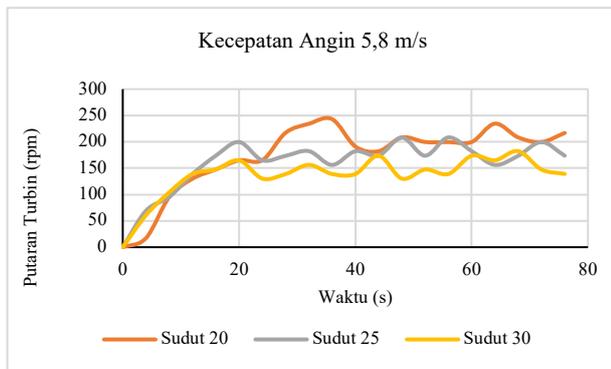
Koefisien performansi turbin angin adalah sebagai berikut:

$$C_p = \frac{P}{P_w} \quad (9)$$

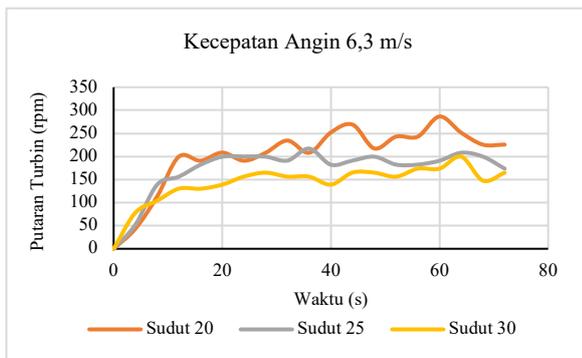
Parameter performansi yang didapat dari pengujian dan pengolahan data ini dinyatakan dalam bentuk grafik. Grafik performansi ini terdiri dari perubahan putaran poros dan koefisien performansi model turbin angin sumbu silang. Perubahan putaran dan koefisien performansi pada beberapa kecepatan angin dengan sudut pitch sudu yang divariasikan diperlihatkan pada gambar di bawah ini



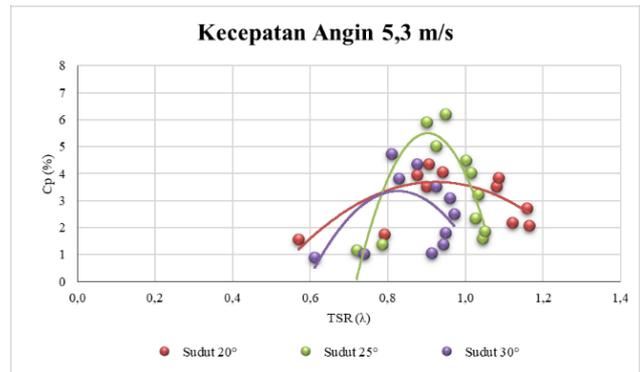
Gambar 5 Perubahan putaran turbin angin pada kecepatan angin 5,3 m/s



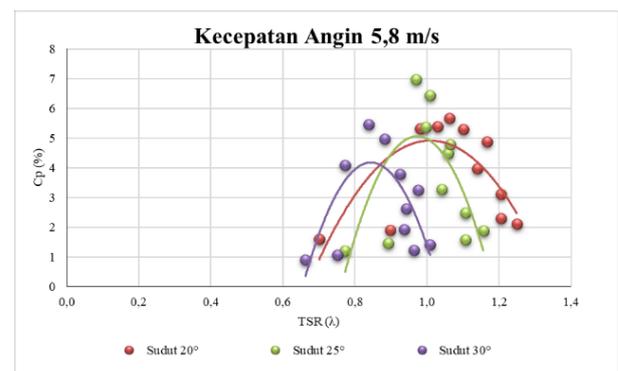
Gambar 6 Perubahan putaran turbin angin pada kecepatan angin 5,8 m/s



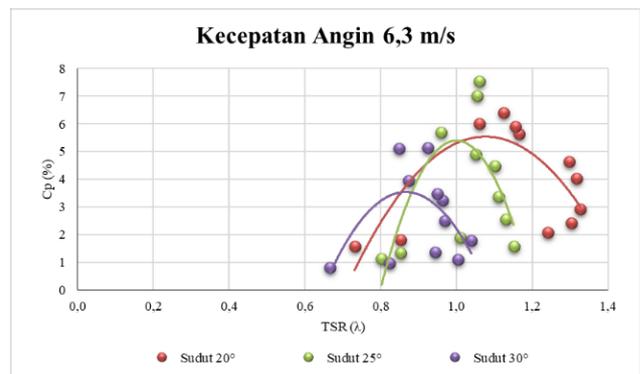
Gambar 7 Perubahan putaran turbin angin pada kecepatan angin 6,3 m/s



Gambar 8 Koefisien performansi pada kecepatan angin 5,3 m/s



Gambar 9 Koefisien performansi pada kecepatan angin 5,8 m/s



Gambar 10 Koefisien performansi pada kecepatan angin 6,3 m/s

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Lama waktu yang dibutuhkan dari kondisi diam hingga mencapai putaran konstan model turbin angin pada kecepatan angin 5,3, 5,8, dan 6,3 m/s tanpa dikenakan beban berubah terhadap sudut pitch sudu 20, 25, dan 30°. Pada kecepatan angin 5,3 m/s, waktu terpendek sekitar 30 s yang dicapai pada sudut pitch sudu 25°. Pada kecepatan angin 5,8 m/s, waktu terpendek sekitar 25 s yang dicapai pada sudut pitch sudu 25°. pada kecepatan angin 6,3 m/s, waktu terpendek sekitar 20 s yang dicapai pada sudut pitch sudu 25°.

Koefisien performansi model turbin angin terhadap *tip speed ratio* pada kecepatan angin konstan 5,3, 5,8, dan 6,3 m/s berubah terhadap perubahan sudut pitch sudu 20, 25, dan 30°. Pada kecepatan angin 5,3 m/s, koefisien performansi tertinggi sekitar 6,22 % yang dicapai pada sudut pitch sudu 25°. Pada kecepatan angin 5,8 m/s, koefisien performansi tertinggi sekitar 7,0 % yang dicapai pada sudut pitch sudu 25°. Pada kecepatan angin 6,3 m/s, koefisien performansi tertinggi sekitar 7,54 % yang dicapai pada sudut pitch sudu 25°.

Lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai putaran konstan dan koefisien performansi turbin angin dipengaruhi oleh gaya lift dan gaya drag yang bekerja pada sudu turbin angin. Gaya lift dan gaya drag pada sudu ini bergantung pada kecepatan angin dan sudut pitch sudu. Kedua gaya aerodinamik ini memberikan gaya resultan pada sudu. Gaya resultan pada sudu ini memiliki komponen tangensial dan radial. Komponen gaya tangensial menimbulkan torsi pada poros sehingga turbin angin berputar. Pada ketiga kecepatan angin yang dijaga konstan dengan sudut pitch sudu divariasikan. Performansi konversi energi angin menjadi energi poros turbin angin yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik mencapai maksimum pada kondisi torsi poros maksimum. Pada penelitian ini performansi maksimum dicapai pada kecepatan angin sekitar 6,3 m/s dengan sudut pitch sudu sekitar 25°.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis performansi model turbin angin sumbu silang pada kecepatan angin antara 5 - 7 m/s dan sudut pitch sudu horizontal antara 20 – 30° dapat ditarik kesimpulan. Performansi model turbin sumbu silang dipengaruhi oleh kecepatan angin dan sudut pitch sudu. Performansi model turbin angin mencapai kondisi maksimum pada kecepatan angin 6,3 m/s dan sudut pitch sudu 25°. Lama waktu terpendek untuk mencapai putaran konstan adalah sekitar 15 detik. Koefisien performansi maksimum adalah sekitar 7,54 %. Daya listrik maksimum keluaran generator DC adalah sekitar 4,55 W.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan penelitian ini dapat terlaksana berkat kerja sama yang baik dengan laboratorium Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945. Oleh karena itu pada kesempatan yang baik ini kami mengucapkan terima kasih banyak kepada Koordinator Laboratorium dan Ketua Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945.

## DAFTAR PUSTAKA

1. E. Achdi, B. Fajar, S.H. Winoto, M. Facta, Improving Cross Axis Wind Turbine : A Lab Scale Investigation of Rotor Size and Blades Number, Mechanical Engineering for Society and Industry, Vol. 4 No. 1 (2024)
2. E. Achdi, B. Fajar, S. H. Winoto, I. Lufti, "Preliminary Test on Cross Axis Type Wind Turbine," *Adv Sci Lett*, vol. 24, no. 12, hlm. 9620–9622, Nov 2018, doi: 10.1166/asl.2018.13093.
3. E. Achdi, T. Supriyono, E. Purwanto, Analisis distribusi kecepatan angin sebelum dan sesudah melalui flow straightener di dalam terowongan angin, *Prosiding SNTTM XXI 2023 Volume 21 (2023)*
4. B. Fajar, S. H. Winoto, T. Permana, Distribution of Wind Speed Before and After Through Vane Tube Type Flow Straightener. *The 9th Asia Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics (APSAEM 2018)*.
5. M. M Almotairi, F. Mustapha, M. K. A. Mohd Ariffin., R. Zahari, Synergy of Savonius and Darrieus Types for Vertical Axis Wind Turbine, *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 3(10) 2016
6. A. E. Andrew, P. Carthick, A. A. Jeraled, K. Anurrop, G. Chidanand, Experimental and Numerical Study on Modified Vertical Axis Wind Turbine, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2019
7. T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins, E. Bossanyi, *Wind Energy Handbook*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, England, 2011.
8. W. T. Chong, S. C. Poh, A. Fazlizan, K. C. Fan, Vertical Axis Wind Turbine with Multi Directional Guide Vane for Urban High Rise Application, *Journal of Central South University of Technology*, 2010.
9. W.T. Chong, M. Gwani, C. J. Tan, W. K. Muzamil, S. C. Poh, K. H. Wong, "Design and testing of a novel building integrated cross axis wind turbine," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 7, no. 3, 2017, doi: 10.3390/app7030251
10. M. K. Johari, M. A. A. Jalil, M. F. M. Shariff, "Comparison of Horizontal Axis Wind Turbine and Vertical Axis Wind Turbine," *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*, vol. 7, no. 4, hlm. 74–80, 2018, doi: 10.14419/ijet.v7i4.13.21333.
11. M. Jureczko, M. Mrówka, "Multi Objective Optimization of Composite Wind Turbine Blade," *Materials*, vol. 15, no. 13, Jul 2022, doi: 10.3390/ma15134649
12. L. E. M. Lignarolo, D. Ragni, C. Krishnaswami, Q. Chen, C. J. Simão Ferreira, G. J. W. van



- Bussel, "Experimental Analysis of the Wake of a Horizontal Axis Wind Turbine Model," *Renew Energy*, vol. 70, hlm.31–46, 2014, doi:10.1016/j.
13. W. K. Muzammil, "Design and Early Development of a Novel Cross Axis Wind Turbine," dalam *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, 2017, hlm. 668–674. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.373.
  14. F. M. White, *Fluid Mechanics - Seventh Edition*, 2011.