

# Uji Eksperimental Pengaruh Konfigurasi Bilah Terhadap Performa Turbin Ventilator di Air

ELIA SUCIE, DWI ANUNG NINDITO\*, ALLAN RESTU JAYA

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Palangka Raya, Indonesia  
Email: [dwi\\_anungnindito@eng.upr.ac.id](mailto:dwi_anungnindito@eng.upr.ac.id)

## ABSTRAK

*Teknologi turbin angin ventilator memiliki prinsip kerja yang hampir sama dengan turbin hidrokinetik yang berpengerak aliran air. Density air yang lebih besar daripada angin menghasilkan power turbin yang lebih baik. Perbedaan density inilah yang menjadi alasan untuk mengembangkan turbin hidrokinetik dari turbin angin ventilator yang memiliki banyak bilah. Studi ini bertujuan untuk menguji performa turbin ventilator pada aliran air di saluran prismatic pada keadaan low head. Metode eksperimental digunakan untuk mengetahui performa turbin yang dihasilkan melalui perubahan distribusi kecepatan dan konfigurasi bilah. Hasil pengujian menghasilkan performa turbin ventilator yang beragam untuk masing-masing konfigurasi yang diamati. Penggunaan konfigurasi bilah secara penuh (lengkap) pada seluruh keliling turbin ventilator menghasilkan RPM dan torsi yang lebih tinggi daripada konfigurasi bilah 3/4 bagian maupun 1/2 bagian turbin ventilator. Gradien perubahan TSR terhadap  $C_p$  yang paling optimal dihasilkan oleh turbin ventilator bilah penuh.*

**Kata kunci:** *distribusi kecepatan aliran, konfigurasi bilah, turbin ventilator*

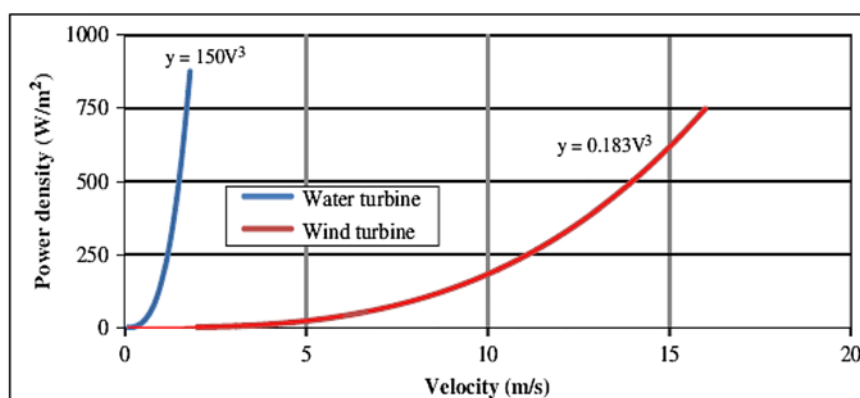
## ABSTRACT

*Technology of ventilator wind turbine has similar work principle to hydrokinetic turbine with water flow driven. Water density that is bigger than wind results better turbine power. This density difference becomes the reason to develop hydrokinetic turbine from ventilator wind turbine that has many blades. This study aimed to test the performance of ventilator turbine on water flow in prismatic channel during low head condition. Experimental method was used to find out turbine performance resulted through the change of flow velocity distribution and blade configuration. The testing result obtains various ventilator turbine performance for each observed configuration. The usage of full (complete) blade configuration in all surrounding of ventilator turbine produces higher RPM and torque compared to blade of 3/4 part or 1/2 part of ventilator turbine. Gradient of TSR change towards  $C_p$  the most optimal one is produced by full blade ventilator turbine.*

**Keywords:** *flow velocity distribution, blade configuration, ventilator turbine*

## 1. PENDAHULUAN

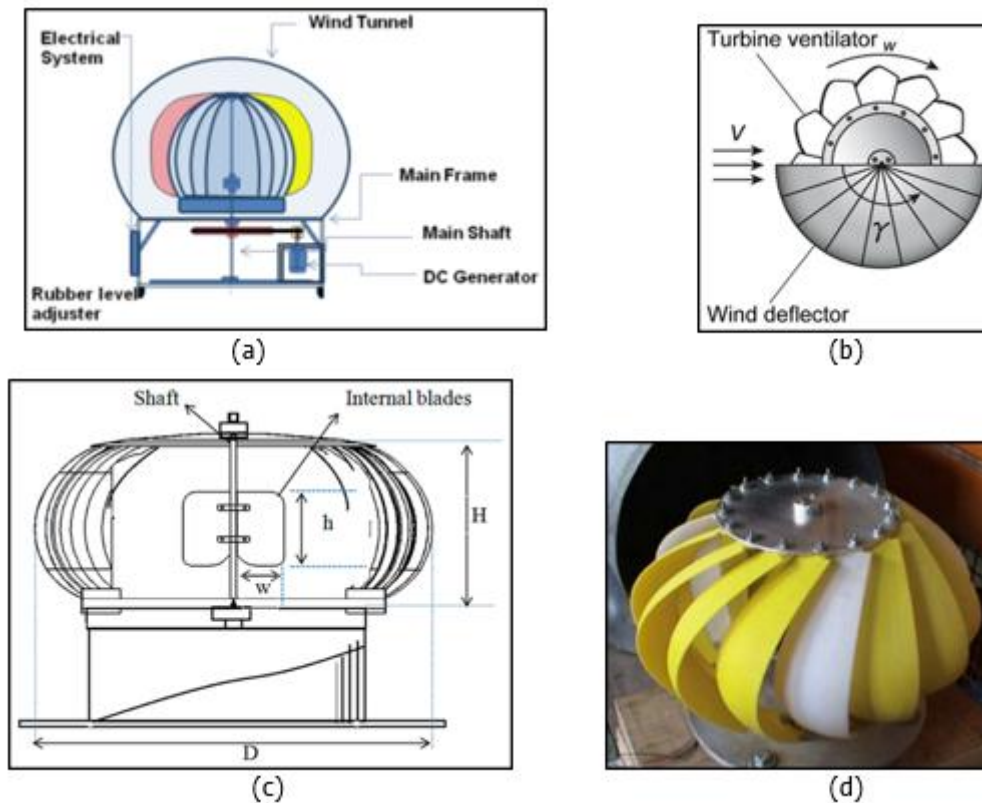
Sumber energi terbarukan sangat dibutuhkan sebagai sumber energi alternatif untuk mengurangi masalah ketergantungan terhadap energi yang tidak terbarukan [6]. Pengembangan energi terbarukan cukup layak diperoleh dari sumber energi pada aliran sungai (*river stream*), pasang surut (*tidal currents*) maupun saluran buatan [4]. Potensi pembangkit listrik skala mikro hidro untuk masyarakat yang tinggal di bantaran sungai dengan karakteristik topografi daerah yang memiliki *head* (tinggi jatuh) yang sangat rendah, dapat dilakukan dengan menggunakan turbin hidrokinetik berjenis *cross-flow*, turbin kincir air dan turbin *propeller underwater* [11]. Turbin hidrokinetik merupakan jenis turbin air aliran bebas yang digunakan pada *ultra low* atau *zero head* yang tidak memerlukan tinggi jatuh untuk berotasi. Prinsip kerjanya hampir sama dengan turbin angin, namun perbedaan *density* antara udara dan air mengakibatkan *power density* yang dihasilkan berbeda (**Gambar 1**). Pengujian di air menghasilkan *power density* lebih tinggi dibandingkan di udara untuk kondisi pengujian kecepatan yang sama [15]. Karakteristik profil aliran air menunjukkan bahwa semakin mendekati dinding batas saluran terbuka maka kecepatan aliran semakin kecil [10]. Kecepatan aliran akan semakin besar di bagian tengah  $y/B = 0,5$  dari saluran [9].



**Gambar 1. Perbandingan *power density* antara turbin hidrokinetik dengan turbin angin (Sumber: Saini & Saini, 2019)**

Klasifikasi sistem yang diterapkan pada penggunaan teknologi turbin hidrokinetik terdiri dari dua tipe yakni *Horizontal Axis Turbine* (HAT) dan *Vertical Axis Turbine* (VAT) [4]. Archimedes Spiral dengan ekor pengarah serta *truncated cone* merupakan jenis turbin hidrokinetik bertipe HAT [13]. Penerapan dengan menggunakan konsep turbin vertikal dan *axial* merupakan yang paling banyak diaplikasikan [4]. Contoh turbin tipe VAT adalah turbin Darrieus, Savonius, H-Darrieus dan turbin Tornado Savonius [19]. Inovasi baru turbin bertipe Darrieus dengan membuat inovasi turbin *Spinning Top* Darrieus [17], sedangkan Turbin DNA merupakan pengembangan inovasi turbin Gorlov [1]. Articulating H-rotor merupakan jenis turbin berbilah lurus (*straight blade*) yang dinovasikan dengan mengatur kemiringan bilah (*blade*) turbin H-Darrieus [14].

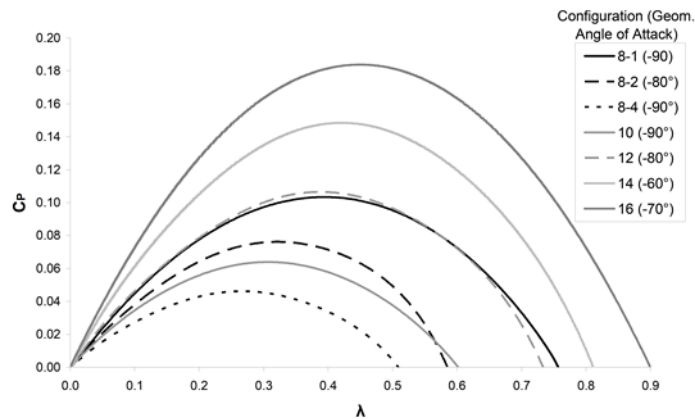
Turbin ventilator merupakan jenis turbin VAT (*Vertical Axis Turbine*) dengan tenaga angin skala kecil yang sering digunakan di rumah dan pabrik [5]. Fungsi utama pada turbin ventilator ialah menciptakan aliran masuk (*suction*) dan aliran keluar (*exhaust*) saat melewati badan turbin yang mengikuti arah putaran turbin. Perkembangan studi dan inovasi dari turbin ventilator yang telah dilakukan peneliti terdahulu seperti terlihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2. Perkembangan inovasi turbin ventilator: (a) penambahan bilah [8], (b) penambahan bilah *deflector* [18], (c) penambahan bilah internal [2] dan (d) variasi konfigurasi bilah dan sudut serang [7]**

Studi dengan menambahkan 8 bilah eksternal pada turbin ventilator [18]. Kecepatan yang digunakan sebesar 4,3 m/s mampu menghasilkan nilai  $C_p$  maksimum sebesar 46,5% (**Gambar 2a**). Penambahan bilah deflector untuk mengarahkan angin di salah satu sisi putar turbin sehingga menyebabkan meningkatnya ekstraksi udara sebanyak 11% dan kecepatan putar turbin sebanyak 33% [16] (**Gambar 2b**). Pengujian kinerja turbin ventilator yang dilakukan secara eksperimental dengan menambahkan internal blade, yang mempengaruhi performa turbin ventilator dalam meningkatkan rotasi untuk kecepatan angin yang berbeda [2]. Penambahan *internal blade* pada turbin ventilator mengakibatkan rotasi turbin yang dihasilkan meningkat 22% pada kecepatan angin rata-rata 3,5 – 7,5 m/s (**Gambar 2c**). Pengujian variasi konfigurasi bilah dan sudut serang di aliran angin. Nilai  $C_t$  (*Coefficient of Torque*) maksimum yang dihasilkan adalah 0,82 [7] (**Gambar 2d**).

Dari beberapa konfigurasi yang digunakan (**Gambar 3**), performa optimal diperoleh pada konfigurasi 16 bilah dengan sudut serang (*angle of attack*)  $-70^\circ$ . Berdasarkan perbandingan performa pada **Gambar 3**, diketahui bahwa nilai maksimum  $C_p$  yang dihasilkan adalah 0,18. Penambahan *solidity* dan jumlah bilah menunjukkan peningkatan pada  $C_p$  yang dihasilkan. Turbin ventilator memerlukan nilai *solidity* yang tinggi. Cara yang dilakukan adalah dengan memperbesar ukuran *chord* pada bilah serta posisi bilah turbin yang lebih teratur dengan tujuan mendapatkan performa yang lebih baik pada kondisi TSR (*Tip Speed Ratio*) yang rendah [7].



**Gambar 3. Perbandingan Performa Turbin Ventilator Terhadap Berbagai Konfigurasi Sudut Serang dan Bilah (Sumber: Murcia dan Pinilla, 2007)**

Studi tentang efek jumlah bilah dan kecepatan aliran pada turbin ventilator [8]. Turbin dengan menggunakan 36 bilah memiliki efisiensi yang baik dibandingkan turbin yang menggunakan 30 bilah, pada kecepatan aliran yang sama. Aliran turbulen angin cukup kuat yang menabrak bilah turbin mengakibatkan turbin berotasi, tetapi jarak antar bilah turbin dapat mempengaruhi performa turbin, karena semakin sempit dan semakin tebal bilah mempengaruhi aliran yang melewati celah bilah sehingga mengurangi rotasi dan efisiensi turbin. Performa turbin dapat diamati berdasarkan angka *Coefficient of Power* ( $C_p$ ) yang dihasilkan. Peningkatan  $C_p$  diikuti dengan daya yang dihasilkan.  $C_p$  menunjukkan jumlah daya mekanik yang dapat dikonversi dari turbin hidrokinetik [3] seperti ditunjukkan **Persamaan 1**.

$$C_p = \frac{\tau\omega}{0,5\rho AV^3} \quad \dots(1)$$

dengan:

- $\tau$  = torsi [Nm],
- $\rho$  = densitas air [ $\text{kg/m}^3$ ],
- $A$  = area bidang tangkap dari bilah turbin [ $\text{m}^2$ ],
- $V$  = kecepatan rerata aliran [m/s],
- $\omega$  = kecepatan sudut [rad/s].

*Tip Speed Ratio* (TSR) adalah perbandingan antara kecepatan tangensial dan kecepatan aliran, seperti ditunjukkan **Persamaan 2**. TSR yang disimbolkan dengan  $\lambda$  menyatakan sejauh mana kecepatan turbin berputar terhadap kecepatan arus [12].

$$\lambda = \frac{R\omega}{V} \quad \dots(2)$$

dengan:

- $R$  = jari-jari rotor [m].

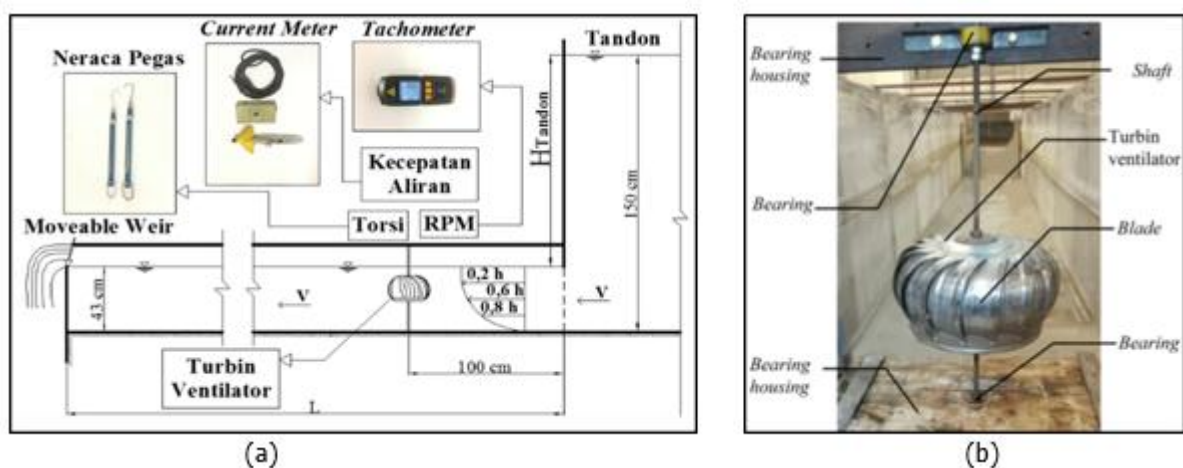
Kecepatan sudut dikonversi berdasarkan nilai RPM (Rotasi Per Menit) yang dihasilkan turbin [20] seperti ditunjukkan **Persamaan 3**.

$$\omega = \frac{2.\pi.RPM}{60} \quad \dots(3)$$

Tujuan dari studi ini adalah menguji performa turbin ventilator jika diujikan di aliran air yang memiliki *density* lebih tinggi daripada aliran udara. Parameter pengujian berupa konfigurasi bilah menjadi pembeda dengan beberapa studi terdahulu.

## 2. METODE PENGUJIAN

Metode penelitian yang diterapkan pada studi ini adalah uji eksperimental pada saluran prismatik buatan (*flume*). Berdasarkan skema pengujian (**Gambar 4**), air dipompa secara kontinyu menuju tandon. Perbedaan tekanan air di tandon ( $H_{Tandon}$ ) menyebabkan air mengalir di *flume* dalam kondisi *low head* menuju ke arah *moveable weir*, sehingga elevasi muka air di saluran dapat dipertahankan tetap konstan. Alat universal *current meter* bertipe Seba Hydrometrie F1 digunakan untuk mengukur distribusi kecepatan aliran air ( $V$ ) pada tiap kedalaman saluran, di mana posisi *current meter* pada saat pengambilan data diletakkan di bagian tengah *flume*. Rotasi Per Menit (RPM) diukur menggunakan alat Tachometer GM8905. Torsi diukur dengan menggunakan neraca pegas dengan skala 10N yang akan menghasilkan nilai gaya ( $F$ ) yang dikalikan dengan panjang lengan gaya ( $L$ ). Posisi turbin ventilator diletakkan di bagian tengah saluran, dengan jarak sejauh 100 cm dari hulu saluran prismatik.

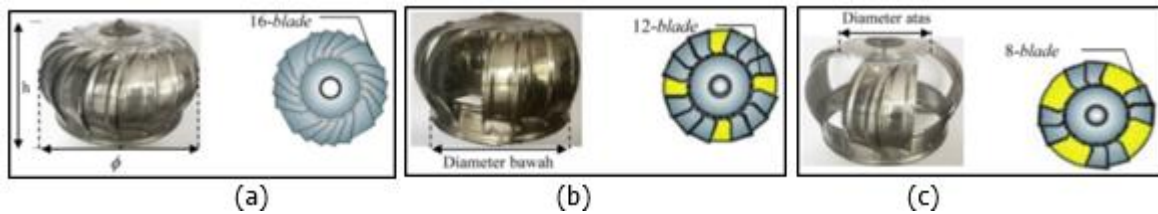


**Gambar 4. Metode uji eksperimental: (a) skema pengujian; (b) perletakan turbin ventilator di saluran prismatik (*flume*)**

Perilaku turbin ventilator di air diamati terhadap perubahan kecepatan aliran air ( $V$ ) dan perbedaan konfigurasi bilah (*blade*) yang digunakan. Desain turbin ventilator pada pengujian ini didasarkan pada model Freebang-POA1866507 dengan dimensi turbin seperti ditunjukkan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1. Dimensi Turbin Ventilator**

Parameter	Dimensi	Satuan
Diameter turbin ( $\phi$ )	30	cm
Diameter atas turbin	15	cm
Diameter bawah turbin	22	cm
Tinggi turbin ( $h$ )	15	cm
Luas bidang tangkap turbin ( $A$ )	0,12	m <sup>2</sup>
Lebar bilah ( <i>blade</i> )	5	cm
Jumlah bilah ventilator turbin:		
- kode percobaan VT1	16	buah
- kode percobaan VT3/4	12	buah
- kode percobaan VT1/2	8	buah

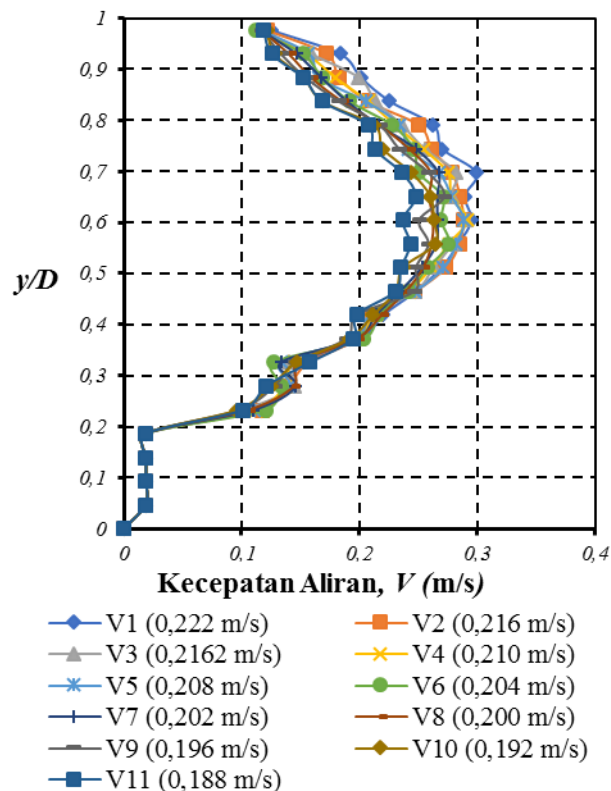


**Gambar 5. Konfigurasi Bilah (Blade) Turbin Ventilator: (a) Konfigurasi Penuh Bilah (VT1); (b) Konfigurasi Bilah (VT3/4); dan (c) Konfigurasi Bilah (VT1/2)**

**Gambar 5** menunjukkan konfigurasi bilah yang digunakan, yaitu merupakan perbandingan banyaknya bilah yang terpasang terhadap total bilah penuh turbin ventilator. Kode percobaan VT1 merupakan konfigurasi turbin ventilator dengan *curved* bilah digunakan secara keseluruhan (penuh) di seluruh keliling turbin ventilator, yaitu 16 bilah. Kode percobaan VT3/4 menggunakan konfigurasi jumlah bilah adalah 3/4 bagian (12 bilah), sedangkan kode percobaan VT1/2 menggunakan konfigurasi jumlah bilah adalah 1/2 bagian dari total keseluruhan bilah, yaitu 8 bilah. Parameter pengujian yang diamati adalah nilai torsi dan RPM terhadap perubahan variasi kecepatan aliran dan variasi konfigurasi bilah yang digunakan. Performa turbin ventilator yang dibahas adalah berdasarkan nilai  $C_p$  dan TSR.

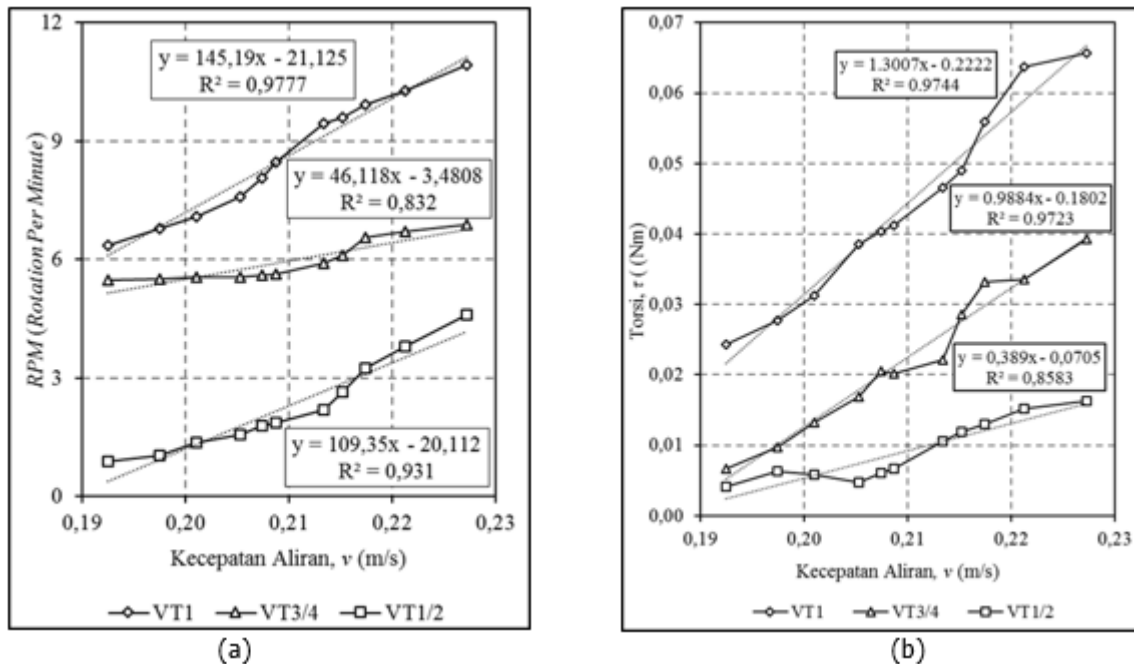
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran distribusi kecepatan fluida air yang digunakan pada masing-masing konfigurasi turbin ventilator ditampilkan pada **Gambar 6**. Berdasarkan pola grafik **Gambar 6** tersebut, diketahui bahwa bentuk distribusi kecepatan yang diamati sesuai dengan hasil studi [10].



**Gambar 6. Profil distribusi kecepatan pada pengujian turbin ventilator**

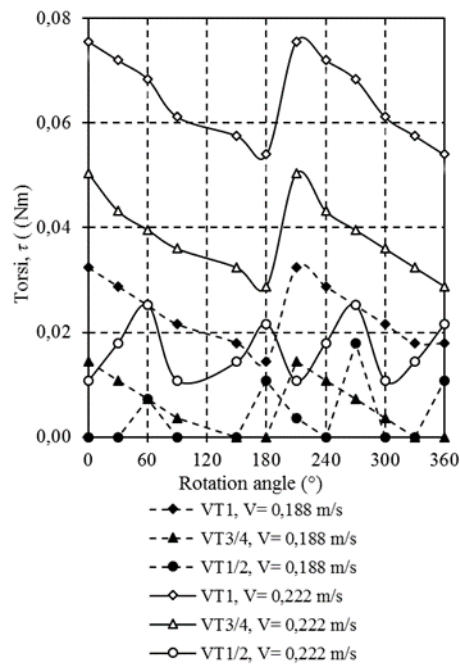
Distribusi kecepatan yang diamati menunjukkan bahwa kecepatan aliran saat mendekati area penampang saluran (dasar) menghasilkan kecepatan yang semakin mengecil. Pengujian terhadap masing-masing konfigurasi bilah turbin ventilator dilakukan dengan variasi kecepatan rerata aliran air dari  $V = 0,188$  m/s hingga  $V = 0,222$  m/s (**Gambar 6**).



**Gambar 7. Hubungan kecepatan aliran dengan: (a) rotasi per menit (b) torsi**

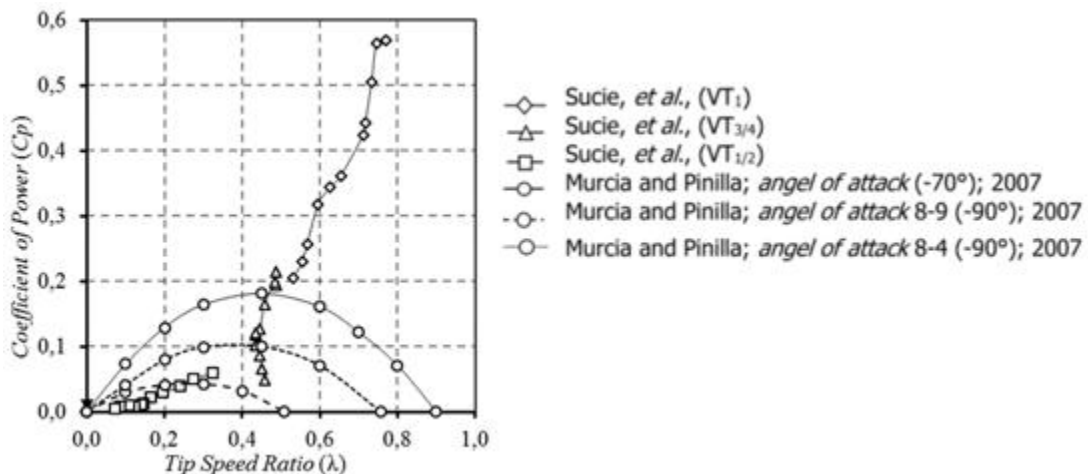
Berdasarkan grafik hubungan antara kecepatan rerata aliran dan RPM yang ditunjukkan pada **Gambar 7a**, kemampuan laju putaran turbin yang lebih tinggi dihasilkan pada turbin ventilator dengan konfigurasi 16 bilah (VT1), dengan kondisi bilah lengkung (*curved blade*) yang digunakan meliputi seluruh keliling turbin. Gradien peningkatan kecepatan aliran ( $V$ ) terhadap meningkatnya RPM menunjukkan bahwa pengujian turbin ventilator dengan kecenderungan peningkatan tertinggi dihasilkan dari konfigurasi VT1 kemudian diikuti oleh konfigurasi VT1/2 dan VT3/4. Konfigurasi bilah VT1 dan VT1/2 memiliki gradien peningkatan yang hampir sama. Konfigurasi bilah VT1 menghasilkan pola grafik (**Gambar 7a**) dengan peningkatan RPM yang cukup stabil pada setiap penambahan kecepatan aliran ( $V$ ), sedangkan konfigurasi bilah VT1/2 memiliki pola yang cenderung terus bertambah tinggi pada setiap RPM yang dihasilkan dari peningkatan kecepatan aliran. Konfigurasi bilah VT3/4 menunjukkan gradien peningkatan yang lebih rendah dibandingkan konfigurasi lainnya, di mana peningkatan RPM yang terjadi lebih rendah dibandingkan konfigurasi lainnya pada kecepatan aliran yang sama.

Grafik kenaikan torsi terhadap penambahan kecepatan aliran air ( $V$ ) sebagaimana dilihat pada **Gambar 7b**, menunjukkan bahwa penambahan kecepatan aliran ( $V$ ) menyebabkan peningkatan pada torsi yang dihasilkan. Penggunaan bilah lengkung penuh konfigurasi 16 bilah (VT1) pada sekeliling turbin ventilator terbukti dapat meningkatkan torsi yang dihasilkan pada kecepatan aliran yang sama. Pada kecepatan aliran awal, konfigurasi VT3/4 dan VT1/2 menghasilkan torsi yang hampir sama, sedangkan pada konfigurasi VT1 telah menghasilkan torsi yang lebih tinggi. Berdasarkan pengamatan masing-masing konfigurasi bilah turbin ventilator, penambahan area bidang tangkap ( $A$ ) menyebabkan peningkatan pola grafik torsi yang dihasilkan. Konfigurasi VT1 menghasilkan peningkatan torsi yang lebih tinggi, kemudian diikuti oleh konfigurasi VT3/4 dan VT1/2 pada kecepatan aliran air yang sama.



**Gambar 8. Hubungan torsi dengan sudut pengukuran torsi pada setiap konfigurasi bilah turbin ventilator**

**Gambar 8** menunjukkan hubungan torsi pada setiap sudut pengukuran torsi ( $\theta$ ) untuk masing-masing konfigurasi turbin ventilator. Pengamatan dilakukan pada variasi kecepatan rerata aliran  $V = 0,188$  m/s dan  $V = 0,222$  m/s. Berdasarkan **Gambar 8**, turbin ventilator pada konfigurasi jumlah VT1 (16 bilah) dan konfigurasi jumlah VT3/4 (12 bilah) memiliki karakteristik yang hampir sama. Kecenderungan pola grafik yang dihasilkan menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai torsi pada setiap penambahan variasi sudut ( $\theta$  pengukuran torsi), namun pada variasi sudut pengukuran torsi  $180^\circ < \theta < 240^\circ$  terjadi kenaikan nilai torsi. Setelah terjadinya kenaikan nilai torsi, maka pada variasi sudut  $240^\circ < \theta < 360^\circ$  nilai torsi akan mengalami resesi kembali. Sedangkan pada konfigurasi VT1/2 (8 bilah), nilai torsi yang dihasilkan cenderung stabil pada setiap *rotation angle* ( $\theta$ ) yang diambil.



**Gambar 9. Hasil pengujian  $C_p$  dan TSR pada turbin ventilator di aliran air dengan berbagai konfigurasi jumlah bilah dibandingkan penelitian terdahulu (Sumber: Data Primer yang Diolah dibandingkan dengan Murcia dan Pinilla, 2007)**



Berdasarkan **Gambar 9**, pola grafik performa turbin yang dihasilkan studi ini menunjukkan bahwa terjadi kenaikan nilai  $C_p$  pada setiap penambahan nilai TSR. Gradien perubahan nilai TSR terhadap  $C_p$  yang paling optimal berada pada konfigurasi jumlah bilah 16 (VT1) dibandingkan konfigurasi jumlah bilah 12 (VT3/4) dan bilah 8 (VT1/2). Gaya *drag* bekerja paling dominan pada pengujian semua turbin ventilator. Nilai TSR yang dihasilkan pada setiap konfigurasi jumlah bilah, baik 16, 12 dan 8 dari turbin ventilator adalah  $< 1$ . Rentang  $C_p$  (*Coefficient of Power*) turbin ventilator dengan konfigurasi 16 bilah (VT1) sebesar 0,21 – 0,57 dengan nilai TSR sebesar 0,53 – 0,77. Pada turbin ventilator 12 bilah (VT3/4), nilai  $C_p$  mengalami penurunan sebesar 62,25% dan penurunan nilai TSR sebesar 37% dibandingkan dengan turbin ventilator 16 bilah (VT1). Sedangkan pada turbin ventilator 8 bilah (VT1/2), nilai  $C_p$  mengalami penurunan sebesar 89,51% dan penurunan nilai TSR sebesar 57,88%.

**Gambar 9** menunjukkan bahwa nilai TSR dari inovasi konfigurasi jumlah bilah pada turbin ventilator (di aliran air) masuk dalam rentang nilai TSR penelitian terdahulu (di aliran angin), sehingga turbin ventilator merupakan turbin yang bekerja paling dominan dengan gaya *drag* (seret). Namun nilai  $C_p$  yang dihasilkan dari konfigurasi jumlah bilah 16 (VT1) dan bilah 12 (VT3/4) diamati lebih tinggi dari nilai  $C_p$  penelitian terdahulu (di angin) direntang nilai TSR yang sama. Nilai  $C_p$  yang lebih optimal pada turbin ventilator di air dikarenakan turbin ventilator menyerap secara penuh energi kinetik dari profil distribusi kecepatan aliran di air.

#### 4. KESIMPULAN

Studi ini melakukan inovasi terhadap konfigurasi jumlah bilah yang dipasang pada turbin ventilator yang diujicobakan di air. Konfigurasi jumlah bilah dibagi menjadi tiga yaitu bilah penuh (16 bilah), bilah 3/4 bagian (12 bilah) dan bilah 1/2 bagian turbin ventilator (8 bilah). Pada rentang nilai kecepatan rerata aliran sebesar 0,188 – 0,222 m/s dihasilkan nilai RPM yang optimal sebesar 6,36 – 10,92 rotasi per menit dan nilai torsi sebesar 0,024 – 0,066 Nm. Performa optimal dari turbin ventilator berdasarkan gradien perubahan TSR terhadap  $C_p$  ditunjukkan pada turbin ventilator bilah penuh (16 bilah) dengan nilai  $C_p$  sebesar 0,21 – 0,57 dan TSR sebesar 0,53 – 0,77. Gaya yang bekerja paling dominan pada bilah turbin ventilator adalah gaya *drag*, karena nilai TSR yang dihasilkan  $< 1$ . Turbin ventilator bekerja paling optimal pada konfigurasi jumlah bilah yang memiliki luas bidang tangkap ( $A$ ) yang paling besar. Turbin ventilator bilah penuh memiliki performa yang paling optimal dibandingkan dengan turbin ventilator bilah 3/4 bagian dan 1/2 bagian dari total bilah turbin ventilator. Performa turbin ventilator yang dihasilkan pada studi pengujian di aliran air lebih tinggi dibandingkan performa yang dihasilkan pada pengujian di angin.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Antomo, T., Kamiana, I. M., & Nindito, D. A. (2020). Analisis pengembangan hidrokinetik turbin gorlov akibat penambahan luas bidang tangkap. *Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 16(2), hal. 159.
- [2] Ghanegaonkar, P. M., Jadhav, G. K., & Garg, S. (2018). Performance improvement of turbo ventilators with internal blades. *Advances in Building Energy Research*, 12(2), 164–177.
- [3] Ichsan, N., Nindito, D. A., & Saputra, R. H. (2021). Uji Eksperimental Pengaruh Dimensi Lebar Rectifier Guide Vanes terhadap Kinerja Turbin Hidrokinetik Savonius. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 7(2), 108.
- [4] Khan, M. J., Bhuyan, G., Iqbal, M. T., & Quaicoe, J. E. (2009). Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review. *Applied Energy*, 86(10), 1823–1835.

- [5] Khan, N., Su, Y., Riffat, S. B., & Biggs, C. (2008). Performance testing and comparison of turbine ventilators. *Renewable Energy*, 33(11), 2441–2447.
- [6] Kholiq, I. (2015). Pemanfaatan Energi Alternatif sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Substitusi BBM. *Jurnal IPTEK*, 19(No 2), 75–91.
- [7] Murcia, J. P., & Pinilla, Á. (2007). Design and laboratory experimental tests of a turbine ventilator. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE)*, 7, 661–665.
- [8] Naufal, A., Wulandari, R., Permanasari, A. A., & Santoso, R. E. (2020). Investigation on the effect of blades number and wind velocity on the ventilator wind turbine. *AIP Conference Proceedings*, 2255.
- [9] Nindito, D. A., Istiarto, & Kironoto, B. A. (2008). Simulasi Numeris Tiga Dimensi Kantong Lumpur Bendung Sapon. *Civil and Environment Engineering Departemen Faculty of Engineering Gadjah Mada University*, XVIII, 712–724.
- [10] Nindito, D. A. (2009). Pengaruh Profil Distribusi Kecepatan Terhadap Hasil Perhitungan Kecepatan Gesek pada Aliran Bersedimen di Lokasi Pengukuran Arah Transversal Saluran Tampang Segiempat. *Jurnal PROTEKSI (Program Studi Teknik Sipil)*, 8-15.
- [11] Nindito, D. A., & Kamiana, I. M. (2010). Perencanaan Model PLTA Skala Kecil Berbasis Teknologi Lokal Di Daerah Pemukiman Tepi Sungai. *PROTEKSI (Program Studi Teknik Sipil): Vol. II* (Issue 02, pp. 1–7).
- [12] Octauria, E. P., Nindito, D. A., & Saputra, R. H. (2021). Uji Eksperimental Pengaruh Sudut Omni Directional Guide Vanes Terhadap Performa Turbin Hidrokinetik Darrieus. *Eksergi: Jurnal Teknik Energi*, 17(1), 15–24.
- [13] Pratama, A., Nindito, D. A., & Saputra, R. H. (2021). Studi Eksperimental Sistem Pengarah Aliran Pada Turbin Hidrokinetik Archimedes Spiral. *Jurnal Teknik*, 19(1), hal. 1–11.
- [14] Rianti, D., Nindito, D. A., & Saputra, R. H. (2021). Pengaruh Kemiringan Straight Bilah Terhadap Peningkatan Kemampuan Self-Starting Turbin Hidrokinetik Articulating H-Rotor. *Teknika*, 16(2), 78-88.
- [15] Saini, G., & Saini, R. P. (2019). A review on technology, configurations, and performance of cross-flow hydrokinetic turbines. In *International Journal of Energy Research* (Vol. 43, Issue 13, pp. 6639–6679).
- [16] Schmid, G., Chen, C. H., Ma, W. C., Yang, T. H., & Chen, S. L. (2016). Performance enhancement of rooftop turbine ventilators using wind deflectors. *Journal of the Chinese Institute of Engineers, Transactions of the Chinese Institute of Engineers, Series A*, 39(4), 461–467.
- [17] Wardani, C. S., Nindito, D. A., & Jaya, A. R. (2020). Inovasi Dan Desain Turbin Hidrokinetik Darrieus Berdasarkan Bentuk Distribusi Kecepatan Aliran. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 9(1), 32–43.
- [18] Wibawa, U., Permadi, A. F., & Hasanah, R. N. (2018). A micro-scale cyclone-wind turbine for rooftop ventilator. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 11(2), 614–621.
- [19] Yudistira, R., Nindito, D. A., & Saputra, R. H. (2021a). Kinerja Turbin Hidrokinetik Tornado Savonius. *Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Keteknikan*, 4(2), 181–186.
- [20] Yudistira, R., Nindito, D. A., & Saputra, R. H. (2021b). Uji Eksperimental Pengembangan Turbin Hidrokinetik Savonius Berdasarkan Bentuk Profil Distribusi Kecepatan Aliran. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), 1–11.