



Pengujian dan Analisis Unjuk Kerja Runner Tipe Silindris pada Sistem Turbin Air Vortex

¹Made Suarda

¹Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Badung - Bali, Indonesia
made.suarda@unud.ac.id

²Made Sucipta, ³I Gusti Ayu Made Srinadi, ⁴Farrell Liam, ⁵Yossie Rico Rifki Pradana

²Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Badung - Bali, Indonesia
m.sucipta@unud.ac.id

³Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Badung - Bali, Indonesia
srinadi@unud.ac.id

⁴Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Badung - Bali, Indonesia
farrelliam1536@gmail.com

⁴Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Badung - Bali, Indonesia
yossie@gmail.com

Abstract— The vortex turbine system test model has been created in the Machine Performance Laboratory of the Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Udayana University. As a baseline, a cylindrical turbine runner with curved blades was first tested considering that this runner has a simpler design and is easier to manufacture and has been widely applied. This runner has an outer diameter of 240mm and an inner diameter (shaft bossing) of 42mm and a height of 180mm. The test was carried out with variations in the pump drive water flow rate of around 4 ~ 10 litres/second, and with variations in load or torque. The results show that the greater the load/torque given, the turbine rotation decreases and vice versa. In addition, the greater the flow rate of the turbine drive water produces higher turbine power and torque. However, the highest efficiency is achieved at a water flow rate of around 9 litres/second. The turbine rotation at the highest efficiency is around 120 rpm. So, from the results of the study, this turbine system is recommended to be operated at a flow rate of 8 ~ 9 litres/second.

Key words— conical basin, cylindrical runner, turbine performance, curved blades, vortex turbine.

I. PENDAHULUAN

Salah satu potensi sumber energi terbarukan yang tersedia dan menjanjikan untuk diterapkan adalah energi air terutama di daerah perbukitan/perdesaan yang tidak terjangkau listrik PLN. Namun ketersediaan sumber energi air yang besar sangat terbatas dan pembatasan akibat lokasi berada pada daerah cagar budaya dan obyek wisata [1], maka potensi aliran air pada sistem irigasi yang mempunyai debit dan head rendah yang tersedia banyak dapat dikembangkan menjadi pembangkit energi air skala sangat kecil atau pico hidro [2]. Pico hidro merupakan pembangkit energi yang mengkonversi potensial air dari suatu ketinggian [3], menjadi energi kinetik [4]. Teknologi ini relatif sederhana, lebih murah dan minim dampak lingkungan, meskipun efisiensinya rendah akibat head aliran airnya sangat rendah [5].

Potensi sumber energi air yang tersedia luas adalah pada saluran irigasi atau sungai yang mempunyai debit kecil dan head sangat rendah yaitu sekitar 0,7 s/d 3 meter. Turbin air yang sesuai untuk sumber air head sangat rendah

adalah turbin air vortex aliran gravitasi dibandingkan jenis lainnya [6]. Turbin ini merupakan invensi Austria Franz Zotloterer pada tahun 2006 dan diimplementasikan kali pertama di Sungai Obergrafendorf [7]. Selanjutnya, penelitian dan pengembangan turbin vortex ini menjadi topik yang menarik bagi para peneliti di seluruh dunia [8]. Mengingat head aliran air pada sistem turbin vortex sangat rendah, maka untuk meningkatkan kecepatan tangensialnya, aliran air tersebut dibuat menjadi aliran pusaran/vortex di dalam basin/casing selanjutnya memutar runner turbin [9; 10], dan poros turbin tersebut memutar generator listrik [5]. Basin dapat berbentuk silinder atau kerucut untuk menghasilkan aliran vortex [11]. Dalam membangkitkan daya, kecepatan tangensial aliran vortex tersebut menurun setelah menggerakkan sudu runner turbin namun kecepatan aksialnya meningkat. Keunggulan turbin vortex adalah konstruksi yang sederhana karena tidak memerlukan bendungan [12], mudah pengoperasiannya [13], ramah lingkungan terhadap mikroorganisme karena terjadi proses aerasi pada air. Namun, efisiensi turbin ini rendah karena rendahnya penurunan head tekanan yang terjadi [11]. Namun turbin vortex ini merupakan teknologi yang relatif baru [14].

Turbin vortex adalah turbin yang memanfaatkan aliran vortex atau pusaran air (15). Dalam sistem turbin vortex, air dari kanal mengalir ke dalam basin berbentuk silinder atau kerucut mengakibatkan aliran melingkar secara tangensial dan membangkitkan aliran vortex atau pusaran bebas (11). Pusaran air tersebut menciptakan tenaga rotasi untuk menggerakkan runner atau rangkaian sudu turbin untuk menghasilkan energi mekanis berupa putaran poros (16) dan dimanfaatkan untuk memutar generator (5). Runner turbin bersumbu vertikal dipasang di pusat pusaran air di dalam basin turbin. Jadi, turbin vortex memanfaatkan energi pusaran air tersebut menjadi energi berguna (Regmi, et al., 2019). Energi kecepatan tangensial vortex tersebut ditransmisikan ke sudu runner turbin sehingga kecepatan tangensialnya menurun, sebaliknya kecepatan aksialnya meningkat (14).

Keunggulan turbin vortex adalah konstruksi yang sederhana karena tidak memerlukan bendungan, mudah pengoperasiannya, ramah lingkungan terhadap mikroorganisme karena terjadi proses aerasi pada air (14). Namun, efisiensi turbin ini rendah karena rendahnya penurunan head tekanan yang terjadi (11). Keunggulan utama turbin vortex adalah dapat beroperasi pada head sumber aliran air yang sangat rendah (17; 18). Berdasarkan studi literatur tentang turbin pusaran air tidak memadai dan dilaporkan memiliki efisiensi yang rendah. Kurangnya literatur mendorong lebih banyak penelitian dilakukan di bidang ini untuk meningkatkan kinerja pembangkit listrik pusaran air. Dibandingkan dengan teknologi pembangkit listrik tenaga air low-head yang ada, sistem GWVPP masih belum matang dan diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan instalasinya (19).

Sistem turbin vortex terdiri dari komponen utama saluran air masuk (kanal), basin, runner turbin dan saluran air keluar (outlet). Kanal sebagai saluran masuk tangensial air ke basin. Saluran masuk dengan sudut takik dikembangkan untuk meningkatkan kecepatan aliran air (20). Laju aliran masuk mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi. Karakteristik kanal ditentukan oleh sudut takik, panjang takik dan lebar saluran aliran masuk ke basin. Sudut takik 27° - 30° dapat meningkatkan kecepatan air yang signifikan sehingga menghasilkan keluaran daya yang lebih tinggi (11). Sedangkan menurut Mulligan (21) sudut takik memiliki rentang $0 \leq \alpha \leq 45^{\circ}$. Kecepatan putaran tertinggi tersedia pada sudut takik seminimal mungkin, yaitu ketika saluran aliran untuk mengalirkan air dari saluran masuk ke bak adalah minimum.

Secara umum, ada dua bentuk utama desain cekungan pusaran yaitu silinder dan kerucut. Geometri basin berbentuk kerucut dapat mengarahkan aliran pusaran simetris memutar runner turbin sehingga dapat menghasilkan performansi turbin vortex yang lebih optimal (7). Basin dengan sudut konis 60° dapat memberikan performance lebih baik dibandingkan dengan sudut konis 45° (22). Dalam hal ini, air mengalir sepanjang dinding cekungan dan profil pusaran yang lebih baik dengan vortisitas yang lebih tinggi tercapai (23). Dimana r_{in} adalah radius saluran masuk air. Power dan McNabola (24) menyatakan bahwa rasio optimum tinggi saluran masuk dan panjangnya adalah satu banding tiga. Basin berbentuk kerucut membentuk formasi pusaran air (dari simulasi) terbaik dibandingkan yang lain Ghani (2019). Stabilitas dan kekuatan pusaran bergantung pada pembentukan inti udara di tengah pusaran. Jari-jari inti udara berangsur-angsur mengecil dari permukaan bebas hingga ke dasar basin.

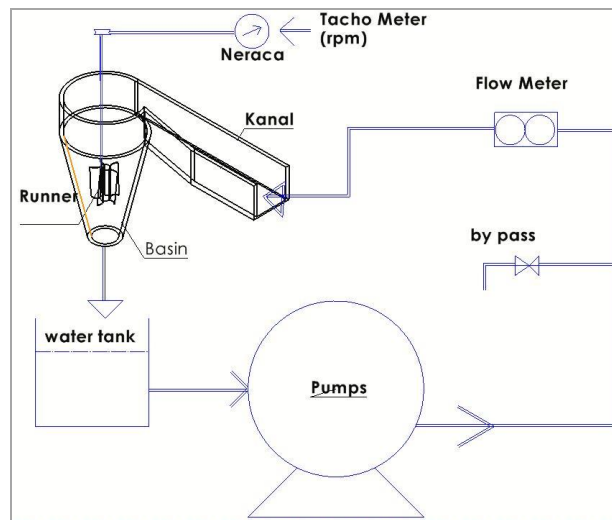
Mengingat desain turbin vortex ini merupakan jenis turbin air yang relative baru, maka referensi yang tersedia sangat minim sehingga saat ini pengembangan dan pengujian pembangkit listrik tenaga air skala sangat kecil dengan head sangat rendah sedang giat-giatnya dilakukan. Bahkan beberapa penelitian dimulai dari awal tanpa merujuk parameter desain terbaik yang telah dihasilkan. Oleh sebab itu dalam penelitian ini dilakukan pembuatan model uji turbin vortex berdasarkan parameter optimal yang telah dihasilkan dari hasil-hasil penelitian yang telah dipublikasi.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian turbin vortex dengan runner tipe silindris bersudu lengkung. Penelitian ini sangat penting dilakukan sebagai baseline pengujian performansi tipe runner model lainnya.

II. METODE DAN PROSEDUR

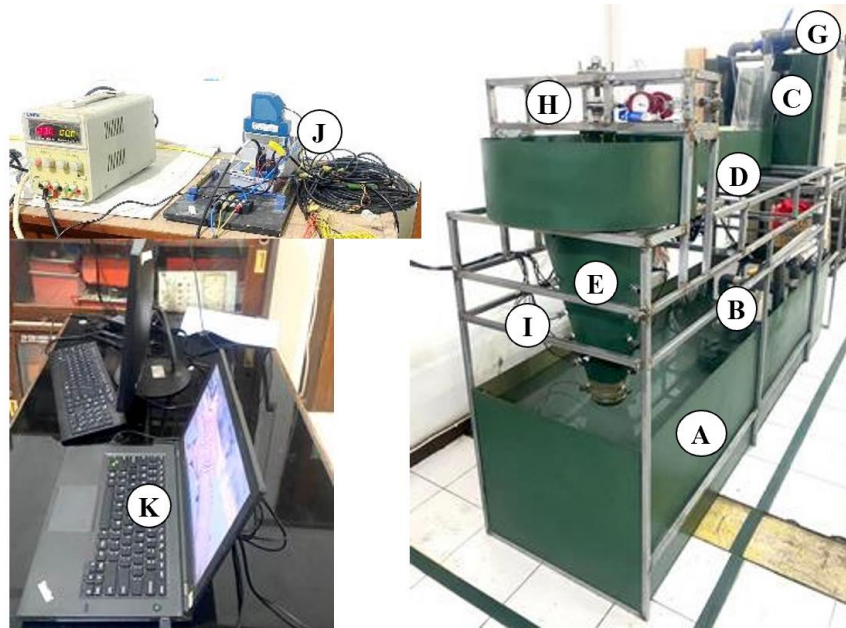
A. Rancangan Penelitian

Model turbin vortex dibuat yang meliputi saluran air masuk, *basin*, *runner* turbin dan saluran air keluar, seperti skema ruang pada Gambar 1. Suplai air penggerak turbin akan disirkulasikan menggunakan pompa submersible di dalam bak penampung air. Air mengalir melalui kanal pada saluran masuknya, kemudian air tersebut mengalami pusaran pada basinya. Pusaran air tersebut akan memutar runner turbin sehingga dibangkitkan putaran pada porosnya. Basin dibuat dengan diameter inlet 400 mm, diameter outlet 75 mm dan tinggi 600 mm, dengan sudut konis 23 derajat. Pada basin tersebut dibuat 20 lubang baut untuk memasang pressure transducer untuk mengukur distribusi tekanan yang terjadi. Namun pada penelitian ini baru terpasang 8 unit pressure transducer. Untuk mengukur torsi yang dihasilkan oleh turbin vortex maka pada poros turbin dilengkapi dengan sistem prony-brake yang terdiri dari pulley berdiameter luar 3 inch, tali pembebanan dan timbangan pegas. Putaran poros turbin (rpm) diukur dengan tachometer digital.

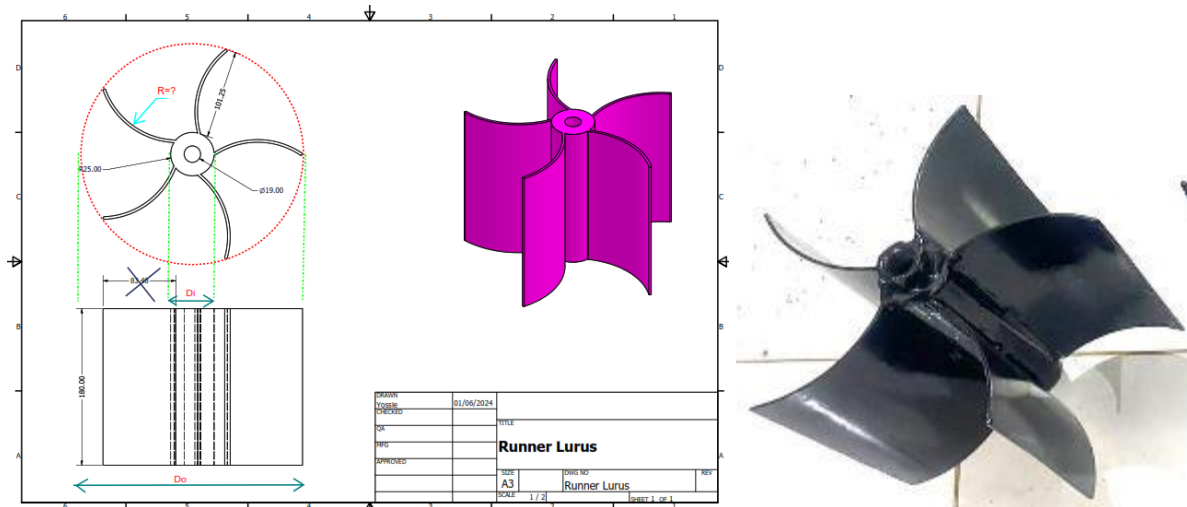


GAMBAR 1. SKEMA MODEL UJI SISTEM TURBIN VORTEX

Model sistem turbin vortex yang dibuat berdasarkan kajian hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Adapun desainnya adalah seperti pada Gambar 2. Air dari bak air (A) dialirkan oleh 5 unit pompa submersible (B) menuju drop chamber (C). Debit aliran air tersebut diukur melalui *water meter* (G). Selanjutnya, air melimpah melalui *V-notch weir* ke dalam kanal (D) yang mempunyai sudut takik 11° untuk mempercepat aliran air untuk membentuk aliran vortex di dalam basin (E) dimana *runner* turbin (F) terpasang. Pada penelitian ini runner yang diuji adalah tipe silindris dengan sudu lengkung, seperti pada Gambar 3. Poros runner dihubungkan dengan *prony brake* (H) untuk mengukur beban/torsi dan putaran poros yang diukur dengan tachometer. Distribusi tekanan statis air di dalam basin diukur dengan serangkaian perangkat elektronik: pressure transducer (I), cDAQ National Instrumen (J) dan komputer (K) yang telah terinstall Lab-View.



GAMBAR 2. MODEL UJI SISTEM TURBIN VORTEX



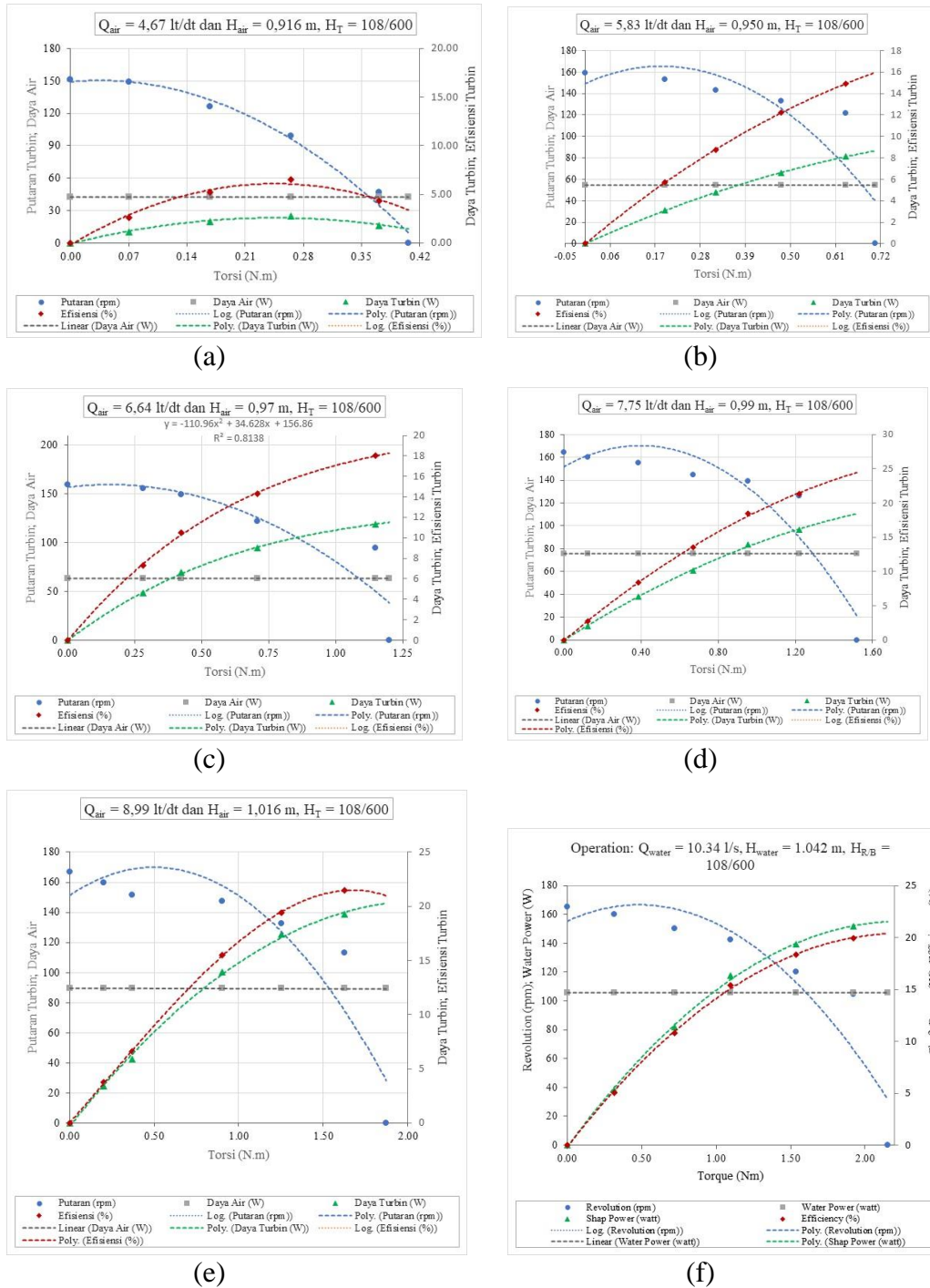
GAMBAR 3. RUNNER TIPE SILINDRIS TURBIN VORTEX

B. Prosedur penelitian

Runner turbin dipasang pada porosnya pada posisi ujung atas runner berjarak 108mm dari bibir atas basin konis sehingga gap/clearance antara ujung bawah runner dengan dinding basin 5mm. Pengujian dilakukan pada lima sampai tujuh variasi beban/torsi dan enam variasi debit air. Parameter keluaran seperti torsi, kecepatan putaran, daya keluaran, dan efisiensi sistem turbin vortex. Debit aliran air diukur dengan flow-meter. Pada poros turbin dilengkapi dengan pulley untuk mengukur torsi yang dibangkitkan melalui alat ukur neraca pegas. Putaran poros diukur dengan tachometer. Hasil perkalian antara gaya dan lengan pulley merupakan torsi yang terjadi. Selanjutnya torsi dikalikan dengan putaran sudutnya didapat daya luaran turbin. Sedangkan daya air penggerak turbin merupakan hasil perkalian antara debit air dan head air di bak kanal. Akhirnya, efisiensi sistem turbin vortex merupakan perbandingan antara daya luaran turbin dan daya air penggerakannya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan pada variasi debit aliran air dengan mengatur jumlah pompa dari lima pompa yang dioperasikan serta mengatur katup by-pass pada pipa outlet salah satu pompa. Disamping itu, pengujian dilakukan pada variasi beban/torsi pada poros runner turbin.



GAMBAR 4. PERFORMANSI TURBIN VORTEX TIPE SILINDER PADA VARIASI BEBAN ATAU TORSI

Berdasarkan hasil pengujian unjuk kerja turbin didapatkan data dan selanjutnya, dilakukan proses pengolahan data untuk mendapatkan unjuk kerja turbin vortex tersebut. Berdasarkan data dan hasil pengolahan data pengujian

performansi turbin vortex tipe silinder yang dipasang di dalam basin berbentuk konis dapat ditampilkan seperti pada Gambar 4. Semakin besar beban/torsi yang diberikan putaran turbin menurun dan sebaliknya.

Selanjutnya dilakukan analisis terkait unjuk kerja turbin vortex dengan runner tipe silindris pada kondisi efisiensi maksimumnya, seperti ditampilkan pada Tabel 1 dan Gambar 5, dan unjuk kerja maksimumnya seperti pada Tabel 2 dan Gambar 6. Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin besar laju aliran air penggerak turbin menghasilkan daya dan torsi turbin semakin tinggi. Namun, dari Gambar 6 terlihat bahwa efisiensi tertinggi dicapai pada laju aliran air sekitar 9 liter/detik.

TABEL 1. UNJUK KERJA TURBIN VORTEX DENGAN RUNNER SILINDRIS PADA EFISIENSI MAKSIMUMNYA

Debit (lt/dt)	Putaran (rpm)	Daya air (watt)	Torsi (N.m)	Daya turbin (watt)	Efisiensi (%)
4.673	99.30	42.25	0.265	2.753	6.52
5.834	121.90	54.35	0.636	8.111	14.92
6.637	94.40	63.00	1.148	11.341	18.00
7.753	126.00	75.41	1.218	16.068	21.31
8.989	113.20	89.61	1.625	19.248	21.48
10.343	104.70	105.68	1.925	21.092	19.96

TABEL 2. UNJUK KERJA MAKSIMUM TURBIN VORTEX DENGAN RUNNER SILINDRIS

Debit (lt/dt)	Putaran Max. (rpm)	Torsi Max. (N.m)	Daya Turbin Max (Watt)	Efisiensi Max. (%)
4.673	151.00	0.41	2.753	6.52
5.834	159.00	0.71	8.111	14.92
6.637	159.70	1.20	11.341	18.00
7.753	164.30	1.52	16.068	21.31
8.989	166.80	1.87	19.248	21.48
10.343	165.40	2.15	21.092	19.96

IV. KESIMPULAN

Pengujian unjuk kerja runner silindris turbin vortex dengan sudu lengkung pada model uji turbin vortex yang mempunyai spesifikasi antara lain: kanal berukuran 200x200 mm dengan notch-angle 11 derajat; basin berbentuk konis berdiameter inlet 400 mm, diameter outlet 75 mm dengan sudut konis 23 derajat; runner dengan sudu lengkung berdiameter luar 250 mm dan diameter dalam 42 mm. Semakin besar beban/torsi yang diberikan putaran turbin menurun dan sebaliknya. Semakin besar laju aliran air penggerak turbin menghasilkan daya dan torsi turbin semakin tinggi. Namun, efisiensi tertinggi dicapai pada laju aliran air sekitar 9 liter/detik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Udayana atas dukungan pendanaan yang diberikan melalui Hibah PNBPN Universitas Udayana Tahun 2024 dengan skim Penelitian Unggulan Udayana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Suarda. 2009. Kajian Teknis dan Ekonomis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro-Hidro di Bali. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM*, Vol. 3, No.2, pp. 184 - 193.
- [2] M. Suarda. 2008. Kajian Potensi Sumber Energi Terbarukan Di Bali. *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin VII*, November 2008, pp. I30,1-8.
- [3] A. Kumar *et al.* 2011. *Hydropower*. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge University Press, Cambridge.
- [4] D. Egge & J.C. Milewski. 2002. The diversity of hydropower projects. *Energy Policy*, vol. 30 (2002), pp. 1225–1230.

- [5] T. Khan *et al.* 2021. Design and Development of a Vortex Turbine for the Hilly Regions of Bangladesh. *Advances in Engineering Research*, vol. 207, pp. 290-297.
- [6] P. Sriitram & R. Suntivarakorn. 2017. Comparative Study of Small Hydropower Turbine Efficiency at Low Head Water. *Energy Procedia*, vol. 138 (2017), pp. 646–650.
- [7] A.B. Timilsina, S. Mulligan & T.R. Bajracharya. 2018. Water vortex hydropower technology: a state-of-the-art review of developmental trends. *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 20, pp. 1737–1760. <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1589-0>.
- [8] T.R.Bajracharya, R.M. Ghimire & A.B. Timilsina. 2018. Design and Performance Analysis of Water Vortex Powerplant in Context of Nepal. *20th International Seminar on Hydropower Plants*, 14-16 November 2018, Vienna, Austria, pp. 1-20.
- [9] R. Dhakal *et al.* 2017. Computational and Experimental Investigation of Runner for Gravitational Water Vortex Power Plant. *6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications*, Sandiego, 5-8 November 2017, pp. 365-373.
- [10] O.O. Micheal *et al.* 2019. *Design and Fabrications of A Gravitational Vortex Hydraulic Turbine*. Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering University of Benin, Benin-City, pp. 1-70.
- [11] Dahal, *et al.* 2019. Performance Analysis of Booster based Gravitational Water Vortex Power Plant. *Journal of the Institute of Engineering*, vol.15, No.3, 90-96.
- [12] S. Dhakal *et al.* 2015. Comparison of cylindrical and conical basins with optimum position of runner: Gravitational water vortex power plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 48 (2015), pp. 662–669.
- [13] T.C. Kueh *et al.* 2017. Experimental study to the influences of rotational speed and blade shape on water vortex turbine performance. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series*, vol. 822 (2017), pp. 1-7.
- [14] D.S. Edirisinghe, *et al.* 2023. Numerical and experimental investigation on water vortex power plant to recover the energy from industrial wastewater. *Renewable Energy*, vol. 204, March 2023, pp. 617-634.
- [15] Kouris, P.S. 2000. *Hydraulic Turbine Assembly*. US Patent, Number: 6,114,773.
- [16] Domfeh, M.K., *et al.* 2020. Numerical simulation of an air-core vortex at a hydraulic intake using OpenFOAM. *Elsevier: Scientific African*, vol. 8, pp. 2468-2276.
- [17] E. Quaranta *et al.* 2022. The Very Low Head Turbine for hydropower generation in existing hydraulic infrastructures: State of the art and future challenges. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 51 (2022), pp. 1-13.
- [18] Herbhakti, F.A. 2020. *Perancangan dan Eksperimen Model Turbin Gravitasi Vortex Skala Laboratorium* (Tesis). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [19] A. Sedai *et al.* 2020. Performance analysis of Gravitational water vortex power plant using scale-down model. *Proceedings of Current Research in Hydropower Technologies, CRHT X*, pp. 1-10.
- [20] Edirisinghe, D.S., *et al.* 2023. Numerical and experimental investigation on water vortex power plant to recover the energy from industrial wastewater. *Renewable Energy*, Vol. 204, pp. 617-634. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.01.007>
- [21] S. Mulligan, J. Casserly & R. Sherlock. 2016. Effects of Geometry on Strong Free-Surface Vortices in Subcritical Approach Flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 04016051, pp. 1-12.
- [22] Warjito *et al.* 2020. The effect of basin geometry on gravitational vortex hydropower. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 788, pp. 1-10. doi:10.1088/1757-899X/788/1/012081
- [23] A.S. Saleem *et al.* 2018. Experimental Investigation of Various Blade Configurations of Gravitational Water Vortex Turbine (GWVT). *Proc. of the 4th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies (PGSRET)*, 10-12 September 2018, Islamabad, Pakistan, pp. 1-5.
- [24] Power *et al.* 2016. A Parametric Experimental Investigation of the Operating Conditions of Gravitational Vortex Hydropower (GVHP). *Journal of Clean Energy Technologies*, Vol. 4, No. 2, pp. 112-119.
- [25] R. Ghani *et al.* 2019. Experimental investigation of a water vortex power plant – performance and degree of efficiency. <https://www.researchgate.net/publication/333516760>, pp. 1-5.