



# Kajian Parameter Optimal Desain Turbin Vortex Pada Head Sangat Rendah

<sup>1</sup>Made Suarda

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

<sup>2</sup>Made Sucipta, <sup>3</sup>Ni Putu Rika Anindya Wahyuni, <sup>4</sup>Ni Ketut Restia Dewi

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

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Badung - Bali, Indonesia  
anindyarika22@gmail.com

<sup>4</sup>Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Badung - Bali, Indonesia  
restiadewi2@gmail.com

**Abstract**— The gravity water flow vortex turbine is a new type of turbine system for very low heads such as irrigation flows. The prototype was first installed on the Obergrafendorf river - Austria in 2006. This type of turbine consists of a channel to direct the water flow and a basin which functions to form a vortex flow where the rotating energy of the water rotates the turbine runner. Because this system is a new technology and there is limited literature available, starting that year many researchers around the world began to investigate and develop this system as an environmentally friendly renewable energy source. So, this turbine system requires further research to optimize its installation. Therefore, in this research, a literature review was carried out regarding the design parameters resulting from the development of the system. The optimum design parameters that have been achieved include: a rectangular flow channel with a notch angle of  $27^{\circ}$ - $30^{\circ}$ , a cone-shaped basin with an angle of  $65^{\circ}$  where the ratio of outlet to inlet diameter is 14%-18% and the ratio of height to inlet diameter is 1.5, while the ratio of the runner height to the basin height is 31% -32%, installed at a position 60% from the top end of the basin, and the runner blades are curved with an angle of  $50^{\circ}$ - $60^{\circ}$  and the cut ratio is no more than 15% with a number of blades of 5 blades. Next, a test model of the vortex turbine system was created and tested at a maximum water flow rate of 8.4 l/s and a maximum head of 0.755 meters. The maximum performance produced that: 30-watt output power, 180 rpm rotation, and 49% efficiency. This performance can be further improved by optimizing the runner blade design.

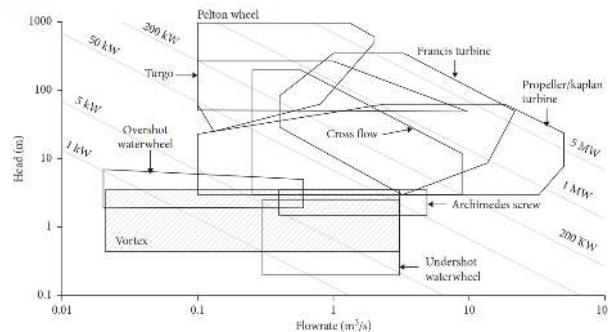
**Key words**— conical basin, design parameters, optimal performance, curved blades, vortex turbine.

## I. PENDAHULUAN

Kekawatiran akan krisis energi dan perubahan iklim serta usaha untuk mengurangi dampak lingkungan yang melanda dunia saat ini mengakibatkan energi baru dan terbarukan menjadi kebutuhan mendesak di masa depan. Salah satu potensi sumber energi terbarukan yang tersedia menjanjikan untuk diterapkan adalah energi air terutama di daerah perbukitan/perdesaan. Namun mengingat ketersediaan sumber yang terbatas baik lokasi maupun besarnya debit dan head, khususnya di Bali maka energi air yang harus dikembangkan adalah pembangkit energi air skala sangat kecil atau mikro hidro [1]. Disamping itu, dalam implementasinya terdapat beberapa kendala, antara lain pemanfaatan lokasi tersebut untuk kepentingan lain seperti obyek pariwisata dan cagar alam budaya serta kurangnya pemahaman masyarakat tentang pembangkit listrik tenaga mikro hidro, sehingga dibutuhkan sosialisasi kepada masyarakat [2]. Pembangkit listrik tenaga air merupakan pembangkit energi listrik yang berasal dari energi air yang

mengalir dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah [3], yaitu dengan memanfaatkan energi kinetik yang dilepaskan oleh air yang mengalir [4]. Teknologi ini lebih murah dan tidak terlalu berdampak terhadap lingkungan, meskipun kurang efisien dan sangat bergantung pada sumber daya lokal [5]. Pembangkit listrik tenaga air kecil dapat diandalkan menghasilkan listrik berbiaya rendah dan bersih [6].

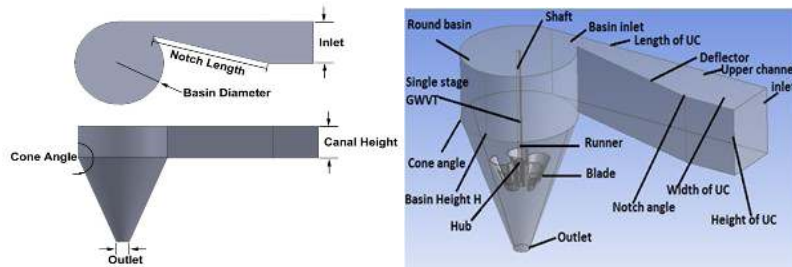
Mengingat potensi sumber energi air yang tersedia adalah aliran dengan debit kecil dan head sangat rendah (0,7 – 3 meter), seperti ditunjukkan pada Gambar 1, maka jenis turbin air yang sesuai adalah turbin vortex air aliran gravitasi. Turbin vortex ini merupakan sistem pembangkit tenaga air head sangat rendah sehingga mendapat perhatian khusus dari para peneliti di seluruh dunia [7]. Turbin vortex bebas air lebih cocok sebagai pembangkit listrik tenaga air kecil dibandingkan kincir air kecil *undershoot* dengan ketinggian muka air kurang dari satu meter [8]. Prototipe turbin ini pertama kali dibuat dan dipasang pada tahun 2006 di Sungai Obergrafendorf oleh penemu Austria Franz Zofloterer [9]. Pada turbin vortex, air dimasukkan ke dalam basin melingkar secara tangensial sehingga menciptakan pusaran bebas dan energi diambil dari pusaran bebas tersebut dengan menggunakan turbin [10, 11]. Turbin berputar dengan aliran yang berputar-putar dan menjalankan generator [6]. Turbin vortex tidak bekerja berdasarkan perbedaan tekanan melainkan berdasarkan gaya dinamis pusarannya. Energi mekanik air yang mengalir di permukaan bebas diubah menjadi energi kinetik dengan mengalirkan air secara tangensial ke basin, yang membentuk pusaran air. Basin tersebut merupakan rumah runner turbin berbentuk bulat/kerucut dimana aliran vortex terbentuk [10]. Sudu turbin mendistorsi komponen kecepatan tangensial pusaran dengan memperoleh daya sekaligus menurunkan kecepatan tangensial dan meningkatkan kecepatan aksial [12]. Hal ini memungkinkan konstruksi yang sederhana, tidak memerlukan bendungan dan kemudahan dalam pengoperasiannya [10, 13]. Namun, tidak adanya *head drop* yang tinggi menyebabkan efisiensi sistem menjadi rendah dibandingkan sistem turbin lainnya [14]. Keunggulan utama pembangkit daya jenis ini adalah pembangkitan daya dari tekanan hidrolik yang sangat rendah dan juga ramah lingkungan. Selain itu, pusaran air permukaan bebas mempunyai fungsi aerasi dengan mencampurkan udara dan meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut. Oleh karena itu pembangkit listrik pusaran mendukung pemurnian air secara mandiri dengan mikroorganisme. Sedangkan kelemahannya adalah kondisi geografis yang diperlukan mungkin tidak selalu tersedia. Namun pembangkit listrik tenaga pusaran air merupakan teknologi yang relatif baru dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga mikrohidro lainnya [12].



GAMBAR 1. WILAYAH OPERASIONAL TURBIN VORTEX [9]

Sistem turbin vortex terdiri dari komponen utama saluran air masuk (kanal), *basin*, *runner* turbin dan saluran air keluar (*outlet*), seperti skema ruang pada Gambar 2. Kanal sebagai saluran masuk air tangensial ke basin. Karakteristik kanal ditentukan oleh sudut takik, panjang takik dan lebar umpan dari saluran terpandu ke basin. Laju aliran masuk mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi [15]. Sudut takik (*notch-angle*) memiliki rentang  $0 \leq \alpha \leq 45^\circ$  [16]. Geometri debit air merupakan parameter penting yang sangat mempengaruhi pembentukan pusaran air pada turbin vortex. Secara umum, ada dua bentuk utama desain cekungan pusaran: silinder dan kerucut. Sudut kerucut disarankan berkisar antara  $60^\circ$  hingga  $70^\circ$ , dan yang terbaik adalah  $64,64^\circ$  untuk basin kerucut untuk pusaran yang lebih baik dan transfer momentum ke sudu turbin untuk menghasilkan keluaran yang lebih baik [17]. Perbandingan tinggi dan diameter basin adalah  $H/D = 17/12$  [18]. Torsi maksimum diperoleh pada sudut serang inlet  $\alpha 18^\circ$  [19]. Penambahan tabung draft kecil di cekungan pusaran meningkatkan efisiensi hingga 60%, karena mampu memulihkan tekanan secara bertahap saat pelepasan [20]. Turbin adalah perangkat yang mengekstraksi energi dari fluida yang mengalir. Oleh karena itu, desain runner yang tepat sangat penting untuk menghasilkan daya maksimum dari kondisi aliran yang tersedia [21]. Pada basin silinder, penempatan turbin pada

65–75% dari total ketinggian basin (dari aliran air permukaan bebas) untuk kinerja yang lebih baik, sedangkan posisi paling bawah disarankan untuk basin berbentuk kerucut [10]. Desain sudu runner turbin memiliki pengaruh besar terhadap performansi dan perilaku ekologis sistem turbin vortex, khususnya celah antara cincin pelepasan dan ujung sudu [22]. Turbin bersudu melengkung menghasilkan putaran dan efisiensi maksimum yang lebih tinggi dibandingkan turbin bersudu datar [17]. *Twisted blade* dapat meningkatkan efisiensi turbin lebih dari 2% [23]. Runner turbin dengan lima sudu menghasilkan torsi tertinggi karena menerima dampak aliran air [24].



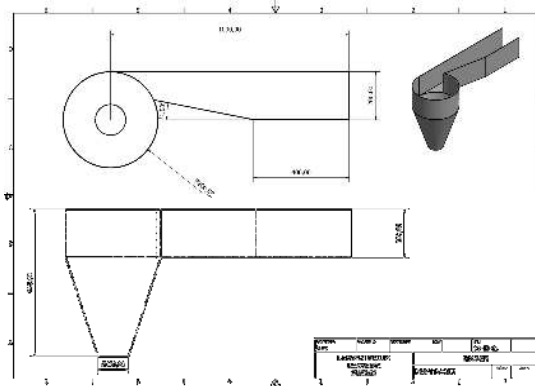
GAMBAR 2. KOMPONEN SISTEM TURBIN VORTEX [25]

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 turbin vortex masih belum matang dan diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengoptimalkan instalasinya [26]. Oleh sebab itu pada penelitian ini dibuat sistem turbin vortex air aliran gravitasi berdasarkan parameter desain optimal yang telah dihasilkan oleh peneliti-peneliti sebelumnya, kemudian dilakukan pengujian performansinya pada variasi pembebanan/torsi dan debit air penggerakannya. Manfaat kegiatan ini mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan terutama “Energi yang terjangkau dan bersih” (SDG-7), “Konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab” (SDG-12), “Aksi iklim” (SDG-13), SDGs ini sangat penting untuk masa depan yang berkelanjutan.

## II. METODE DAN PROSEDUR

### A. Parameter Desain

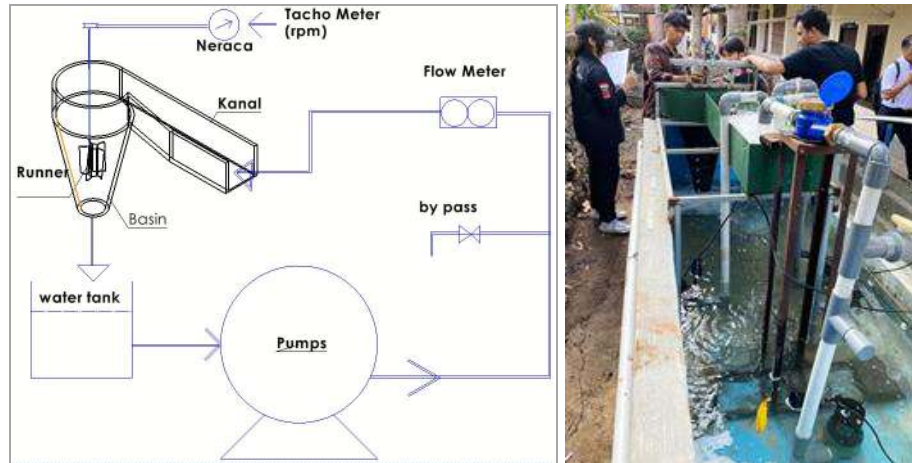
Pada penelitian ini dibuat model sistem turbin vortex air aliran gravitasi berdasarkan parameter desain optimal hasil penelitian-penelitian sebelumnya, seperti pada Gambar 3, selanjutnya dilakukan pengujian performansi sistem turbin tersebut. Kanal berbentuk persegi dengan ukuran 200 mm x 200 mm dengan panjang 1000 mm, panjang takik saluran 480 mm dan sudut takik 11°, serta lebar saluran keluar kanal 57 mm. Basin berbentuk kerucut dengan diameter atas dan bawah basin adalah 600 mm dan 130 mm, tinggi basin 600 mm, sudut kerucut 23°. Runner turbin vortex diatur pada posisi 12/60 dari bagian atas basin.



GAMBAR 3. SKEMA MODEL UJI SISTEM TURBIN VORTEX

## B. Rancangan Penelitian

Model turbin vortex dibuat yang meliputi saluran air masuk, *basin*, *runner* turbin dan saluran air keluar, seperti skema ruang pada Gambar 4. 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.



GAMBAR 4. SKEMA DAN MODEL UJI SISTEM TURBIN VORTEX

## C. Prosedur penelitian

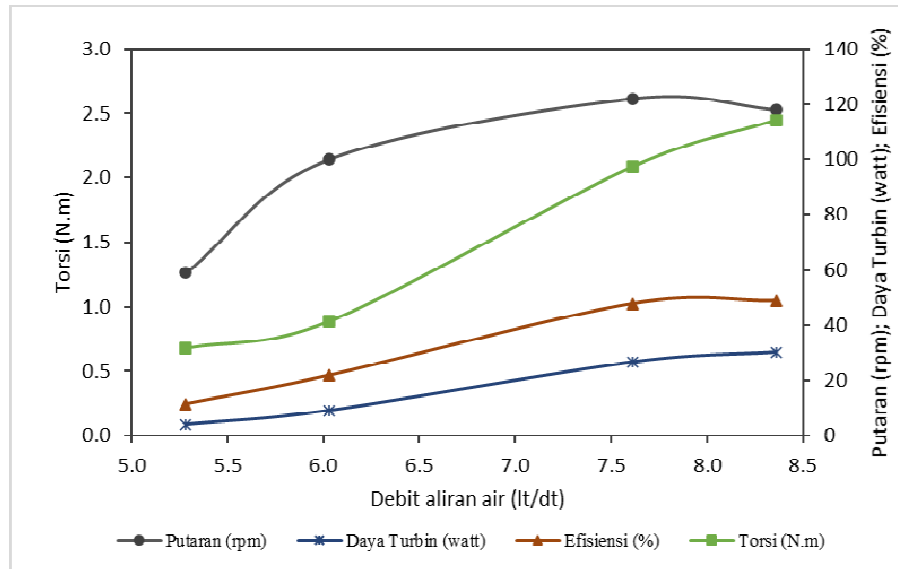
Pengujian dilakukan pada lima variasi beban/torsi dan empat variasi debit air. Parameter keluaran seperti torsi, kecepatan putaran, daya keluaran, dan efisiensi sistem turbin vortex. Debit aliran air diukur dengan flow-meter. Pada poros turbin dilengkapi dengan pulley untuk mengukur torsi yang dibangkitkan melalui alat ukur *force gauge*. 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 penggeraknya.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian telah dilakukan pada model sistem turbin vortex air aliran gravitasi. Pengujian dilakukan pada variasi debit dan pembebanan/torsi. Putaran tertinggi tanpa beban mencapai 180 rpm pada debit aliran air 8,36 lt/dt, sedangkan torsi terbesar yang dicapai adalah 2,72 N.m. Adapun data dan hasil pengolahannya seperti pada Tabel 1 dan ditampilkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 5. Hasil yang ditampilkan pada tersebut adalah hanya pada efisiensi tertingginya pada masing-masing variasi debit aliran airnya.

TABEL 1. DATA PENGUJIAN DAN HASIL PERHITUNGANNYA

Debit (lt/dt)	Ha (m)	Beban (kg)	Lengan (m)	Putaran (rpm)	Daya air (watt)	Torsi (N.m)	Daya turbin (watt)	Efisiensi (%)
5,283	0,705	1,175	0,059	59	36,535	0,680	4,200	11,49
6,029	0,715	1,531	0,059	100	42,287	0,886	9,238	21,85
7,614	0,745	3,600	0,059	122	55,644	2,084	26,607	47,82
8.360	0,755	4,225	0,059	118	61,918	2,445	30,202	48,78



GAMBAR 5. SKEMA DAN MODEL UJI SISTEM TURBIN VORTEX

Semakin besar debit aliran air penggerak turbin semakin tinggi performansinya [17], meliputi: putaran, torsi, daya luaran dan efisiensi turbin yang dihasilkan. Jika diperhatikan trennya, debit air penggerak turbin tersebut sudah mendekati debit maksimumnya. Hal ini terlihat juga pada pengamatan tinggi aliran air pada kanal telah mencapai 155 mm dari tinggi maksimum kanal yaitu 200 mm. Efisiensi maksimum turbin ini lebih tinggi dari efisiensi maksimum yang telah dicapai oleh peneliti-peneliti sebelumnya yang mencapai sekitar 30% dan telah mendekati efisiensi maksimum dari protipe komersial yang mengklaim mencapai 50% [18]. Selanjutnya, pada putaran rendah, daya dan efisiensinya turun karena air meninggalkan sudu runner terlalu cepat sebelum energinya ditransfer ke sudu. Sedangkan pada putaran tinggi, air cenderung terdorong keluar. Efisiensi dapat ditingkatkan lagi dengan memperbaiki profil sudu runner [27].

Jika dibandingkan dengan hasil pengujian dengan setup pengujian dengan parameter desain yang serupa oleh Gracia (2022), seperti debit air dan posisi runner yang serupa/mendekati sama, desain runner yang digunakan pada penelitian ini adalah sudu berbentuk *semi-twisted curved*, dengan posisi runner sedalam 10 cm dari lantai atas basin, hasil dicapai performansinya lebih baik. Dengan laju aliran massa 8.36 kg/s dan daya air maksimal yaitu 61,918 watt. Pada kecepatan angular 118 rpm didapati efisiensi tertinggi dengan nilai daya turbin sebesar 30.202 watt dengan efisiensi yang didapatkan sebesar 48.78%. Efisiensi optimum turbin akan diperoleh bila beban operasinya setengah dari torsi maksimum poros. Efisiensi bervariasi pada beban dan putaran yang berbeda.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan parameter desain optimal dari hasil-hasil penelitian terkait turbin vortex maka performansi model uji turbin vortex air aliran gravitasi yang dihasilkan pada penelitian ini lebih tinggi dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, khususnya efisiensi maksimum mencapai 48,78% lebih tinggi dari penelitian-penelitian sebelumnya yang berkisar antara 15% sampai 35%. Semakin besar debit air penggerak turbin semakin tinggi performansi yang dihasilkan. Kedepannya dapat dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai sudut kemiringan sudu dan penambahan pelat pada sisi atas dan bawah sudu turbin untuk meningkatkan daya dorong aliran airnya sehingga daya turbin dapat meningkat. Selain itu, mengingat basin berbentuk kerucut membatasi posisi terbawah runner turbin maka perlu diteliti turbin vortex dengan multi-runner dalam memaksimalkan ekstraksi energi kinetik aliran airnya.

#### 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 2023 dengan skim Penelitian Unggulan Udayana.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Suarda. 2008. Kajian Potensi Sumber Energi Terbarukan Di Bali. *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin VII*, November 2008, pp. I30,1-8.
- [2] 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.
- [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. Egre & J.C. Milewski. 2002. The diversity of hydropower projects. *Energy Policy*, vol. 30 (2002), pp. 1225–1230.
- [5] UCTAD. 2010. *Renewable Energy Technologies for Rural Development*. United Nation, New York and Geneva.
- [6] 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.
- [7] T.R.Bajracharya, R.M. Ghimire & A.B. Timilsina. 2018. Design and Performance Analysis of Water Vortex Powerplant in Context of Nepal. *20<sup>th</sup> International Seminar on Hydropower Plants*, 14-16 November 2018, Vienna, Austria, pp. 1-20.
- [8] P. Sritram & R. Suntivarakorn. 2017. Comparative Study of Small Hydropower Turbine Efficiency at Low Head Water. *Energy Procedia*, vol. 138 (2017), pp. 646–650.
- [9] 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>.
- [10] R. Dhakal *et al.* 2017. Computational and Experimental Investigation of Runner for Gravitational Water Vortex Power Plant. *6<sup>th</sup> International Conference on Renewable Energy Research and Applications*, Sandiego, 5-8 November 2017, pp. 365-373.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [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] 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.
- [15] M.M. Rahman *et al.* A Review on the Development of Gravitational Water Vortex Power Plant as Alternative Renewable Energy Resources. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, vol. 217 (2017), pp. 1-9.
- [16] 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.
- [17] M. Ali *et al.* 2021. Parametric Optimization of Gravitational Vortex Turbine in the context of Upper Punjab of Pakistan. *Pakistan Journal of Engineering and Technology*, Vol. 4, No. 4, pp. 65- 72.
- [18] Nikam *et al.* 2020. Performance Analysis of Gravitational Vortex Hydro-Turbine. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 7, no. 8, pp. 571-577.
- [19] S. Acharya, S.K. Ghimire & H.B. Dura. 2019. Design Study of Runner for Gravitational Water Vortex Power Plant with Conical Basin. *Proceedings of IOE Graduate Conference*, vol. 6, pp. 13-19.
- [20] M.S. Kim. 2021. Effects of blade number and draft tube in gravitational water vortex power plant determined using computational fluid dynamics simulations. *Journal of Advanced Marine Engineering and Technology*, Vol. 45, No. 5, pp. 252~262.
- [21] T.R. Bajracharya *et al.* 2020. Effects of Geometrical Parameters in Gravitational Water Vortex Turbines with Conical Basin. *Journal of Renewable Energy*, vol. 2020, pp. 1-16.
- [22] 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.
- [23] P. Singh & F. Nestmann. 2012. Influence of the Blade Hub Geometry on the Performance of Low-Head Axial Flow Turbines. *Journal of Energy Engineering*, Vol. 138, No. 3, September 1, 2012, pp. 109-118.
- [24] P. Sritram & R. Suntivarakorn. 2016. The effects of blade number and turbine baffle plates on the efficiency of free-vortex water turbines. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, vol. 257 (2019), pp. 1-8.
- [25] R. Muhammad, A. Sharif & M.R. Siddiqi. 2022. Performance Investigation of a Single-Stage Gravitational Water Vortex Turbine Accounting for Water Vortex Configuration and Rotational Speed. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 41, pp. 44-55.
- [26] 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.
- [27] Haryadi, A.M. Subarjah & Sugianto. 2020. Experimental study on 3D vortex gravitational turbine runner. *AIP Conference Proceedings*, vol. 2296 (2020), pp. 1-6.
- [28] A.F. Gracia, M. Suarda & M. Sucipta. 2022. Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Angular Fluida Kerja pada Performa Turbin Vortex. *Prosiding Konferensi Nasional Engineering Perhotelan XII – 2022*, pp. 46-51.