

Pengaruh Geometri Basin Terhadap Aliran Vortex: Kajian pada Basin Conical, Conical Convex dan Silinder dengan CFD

Iwan Kurniawan^{1,*}, Heri Siswanto¹, Yohanes¹, Romy¹, Amir Hamzah²

¹Teknik Mesin, Universitas Riau

²Teknik Elektro, Universitas Riau

Kampus Bina Widya, Panam Universitas Riau

E-mail: iwan.kurniawan@lecturer.unri.ac.id*

Abstract

This study aims to evaluate the influence of basin geometry on the formation and characteristics of vortex flow using Computational Fluid Dynamics (CFD). Three types of basin geometries were investigated: cylindrical, conical, and conical convex. CFD simulations were conducted to observe the velocity distribution, and vortex flow patterns generated by each basin. The results indicate that the conical basin produces vortex flows with higher intensity compared to the cylindrical and conical convex basins. The conical basin demonstrated a more focused flow pattern and higher vortex concentration around the central axis, contributing to enhanced vortex formation efficiency. Although the cylindrical and conical convex basins also generated vortex flows, they exhibited a more dispersed velocity distribution and less stable vortices. These findings provide important insights for the design and optimization of vortex turbine systems, particularly in the context of renewable energy applications.

Keywords: conical basin, conical convex basin, cylindrical basin, vortex flow, CFD

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh geometri basin terhadap pembentukan dan karakteristik aliran vortex dengan menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD). Tiga jenis geometri basin yang diteliti adalah basin silinder, conical, dan conical convex. Simulasi CFD dilakukan untuk mengamati distribusi kecepatan dan pola aliran vortex yang dihasilkan oleh masing-masing basin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa basin conical menghasilkan aliran vortex dengan intensitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan basin silinder dan conical convex. Basin conical menunjukkan pola aliran yang lebih terfokus dan konsentrasi vortex yang lebih tinggi di sekitar sumbu pusat, yang berkontribusi pada peningkatan efisiensi pembentukan vortex. Basin silinder dan conical convex, meskipun juga menghasilkan aliran vortex, menunjukkan distribusi kecepatan yang lebih menyebar dan vortex yang kurang stabil. Temuan ini memberikan wawasan penting dalam desain dan optimasi sistem turbin vortex, khususnya dalam konteks aplikasi energi terbarukan.

Kata kunci: basin conical, basin conical convex, basin silinder, aliran vortex, CFD

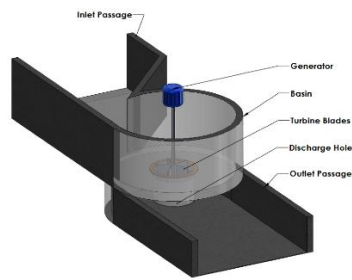
1. Pendahuluan

Energi adalah salah satu komponen terpenting dalam pengembangan suatu negara. Dalam beberapa tahun terakhir, kebutuhan akan energi telah meningkat secara signifikan, sehingga menjadi tantangan bagi pemerintah dan industri energi untuk meningkatkan produksi energi. Salah satu sumber energi yang potensial dan ramah lingkungan adalah energi air pico hydro. Kapasitas Energi Listrik yang dihasilkan untuk pico hydro dibawah 5 kW[1].

Pico hydro adalah teknologi pengembangan energi yang menggunakan energi air sebagai sumber daya. Teknologi ini memiliki potensi besar untuk menghasilkan energi listrik yang terbarukan dan berkelanjutan. Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi pico hydro telah berkembang pesat dan menjadi salah satu opsi yang populer untuk mengembangkan energi terbarukan di daerah-daerah pedesaan.

Energi air pico hydro memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan sumber energi tradisional. Pertama, itu adalah sumber energi yang dapat diperbarui dan tidak menghasilkan gas rumah kaca atau polutan lainnya, sehingga lebih bersih dan lebih ramah lingkungan. Kedua, sistem pico hydro dapat dirancang untuk beroperasi pada tekanan air yang rendah, sehingga cocok untuk aplikasi skala kecil di mana aliran air terbatas.

Gravitational Water Vortex Power Plant (GWVHP) merupakan salah satu pembangkit listrik tenaga air pico hydro. GWVHP terdiri dari saluran masuk air, basin yang berfungsi untuk mengkonversi energi potensial air menjadi energi kinetik dalam bentuk aliran vortex, turbin vortex yang berfungsi untuk mengkonversi energi kinetik air menjadi energi mekanik untuk menggerakkan generator dalam menghasilkan listrik dan saluran keluar yang diletak di tengah pusat basin bagian bawah.



Gambar 1. Sistem GWVHP [2]

Komponen penting dalam GWVHP ini salah satunya basin. Model basin sangat mempengaruhi pembentukan aliran vortex yang akan menggerakkan runner/sudu turbin. Semakin kuat aliran vortex yang dihasilkan semakin besar potensi energi Listrik yang dapat di ekstrak melalui sudu turbin. Menurut [3] ada korelasi antara diameter basin dengan diameter saluran keluar. Nilai 14% dan 18% merupakan nilai terbaik dalam menghasilkan aliran vortex, begitu juga dengan ukuran diameter basin dalam menghasilkan ketinggian vortex. Peneliti lain[4],[5] melakukan riset untuk dua jenis basin yaitu basin berbentuk silinder dan basin berbentuk *conical* hasil riset menunjukkan bahwa basin jenis *conical* menghasilkan daya keluaran turbin yang lebih besar dari jenis silinder. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dan CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Penelitian untuk *conical* basin jenis *concave* dan *convex* dilakukan oleh [6], hasil penelitian menunjukkan bahwa basin *conical concave* menghasilkan daya keluaran yang lebih besar 60% dari jenis basin *convex* secara eksperimental. Hal yang sama dilakukan oleh [7] untuk basin *conical concave* dan *convex* menggunakan CFD. Begitu juga untuk penelitian yang dilakukan oleh [8], menunjukkan bahwa jenis basin *conical* lebih baik dari basin silinder.

Dari hasil studi literatur yang dilakukan ada beberapa hal penting yang perlu digaris bawahi yaitu:

- Basin yang digunakan dalam GWVHT ada beberapa jenis yaitu jebis silinder, jenis *conical* baik *concave* maupun *convex*.
- Beberapa peneliti sebelumnya melakukan riset tentang jenis-jenis basin tersebut.
- Basin *conical* menunjukkan unjuk kerja yang lebih baik dari jenis silinder.
- Penelitian dilakukan secara eksperimental dan CFD.
- Penelitian tentang jenis basin telah diuraikan secara detail oleh[2].

Dari keterangan tersebut masih ada celah yang perlu di teliti lebih jauh yaitu pengaruh aliran vortex terhadap jenis basin dengan membandingkan jenis basin silinder, *conical* dan *conical convex* untuk parameter basin yang sama menggunakan CFD dengan metode Volume of Fluid (*multiphase*). Konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi basin yang telah di optimasi oleh [9] untuk jenis basin silinder, *conical* dan variasi jenis *conical convex*.

2. Metodologi

CFD merupakan cabang mekanika fluida yang menggunakan analisis numerik dan algoritma untuk

menyelesaikan dan menganalisis masalah yang melibatkan aliran fluida. Simulasi CFD memberikan wawasan tentang perilaku fluida di bawah berbagai kondisi dan banyak digunakan dalam penelitian teknik dan ilmiah.

CFD didasarkan pada persamaan dasar dinamika fluida, yaitu persamaan Navier-Stokes untuk fluida Newtonian. Persamaan ini menjelaskan bagaimana medan kecepatan fluida berkembang seiring waktu dan ruang.

Persamaan utama dalam CFD dalam penelitian ini adalah:

- Persamaan Kontinuitas (Konservasi Massa):

$$\nabla \cdot U = 0 \quad (1)$$

U adalah vektor kecepatan.

- Persamaan Momentum (Persamaan Navier-Stokes):

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \nabla \cdot (UU) = -\nabla p + \nabla \cdot (\nu_{eff} \nabla U) + g \quad (2)$$

P adalah tekanan dinamik, ν_{eff} adalah viskositas kinematic efektif dan g adalah vektor percepatan gravitasi.

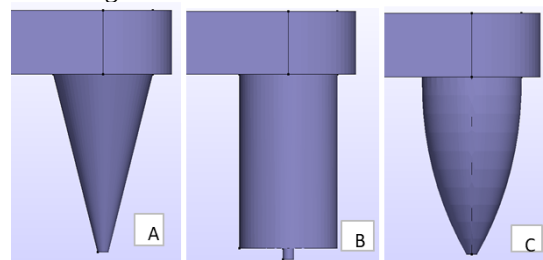
- Persamaan Fraksi Volume:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha U) + \nabla \cdot [\alpha(1-\alpha)U_r] = 0 \quad (3)$$

α adalah fraksi volume nilainya 0-1.

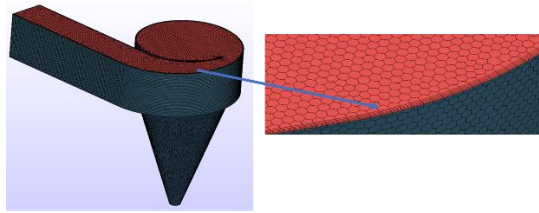
2.1. Domain komputasi dan Meshing

Komputasi numerik ini menggunakan software OpenFOAM versi 2312 dan Ennova untuk pembuatan meshing, sedangkan pembuatan model basin menggunakan Autodesk fusion. Solver yang digunakan adalah interFoam. InterFoam adalah salah satu solver di OpenFOAM yang digunakan untuk memodelkan aliran dua fase yang tidak dapat bercampur, seperti air dan udara. Solver ini khusus dirancang untuk simulasi aliran dua fase dengan menggunakan metode Volume of Fluid (VOF) untuk melacak antarmuka antara dua fluida. Pada gambar 2, terlihat model basin yang di simulasikan dan dibandingkan.

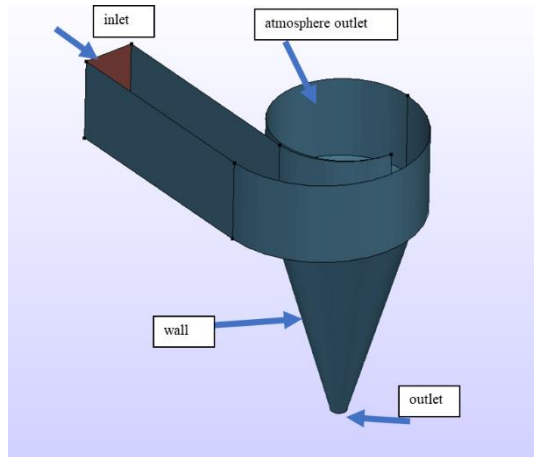


Gambar 2. Jenis basin A) Conical, B) Silinder, C) Conical Convex.

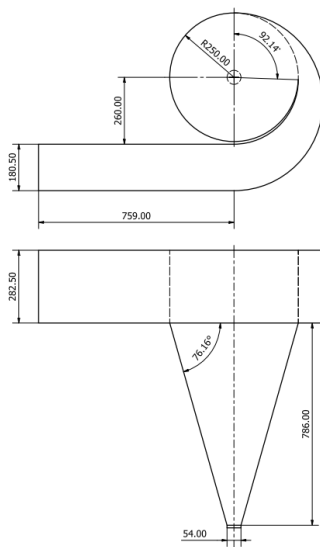
Pada gambar 3, model basin yang telah dilakukan meshing. Jenis mesh/grid yang digunakan adalah polyhedral. Pada Gambar 5 merupakan kondisi batas domain yang akan di simulasi.



Gambar 3. Mesh polyhedral



Gambar 4. Kondisi batas pada domain simulasi



Gambar 5. Dimensi basin [9]

Pada gambar 5, dimensi basin menurut hasil optimasi dari [9] digunakan untuk penelitian ini.

2.2. Grid independent Test dan validasi

Untuk menegaskan bahwa hasil simulasi tidak dipengaruhi oleh jumlah mes/grid maka perlu dilakukan proses grid independent tes sebagaimana yang ditampilkan pada table 1.

Tabel.1.

Grid Independent Test

No	Jumlah elemen mesh	Umax (m/s)	error
1	157.453	2.0255	0
2	392.730	2.1093	0.0414
3	430.082	2.0258	0.00015

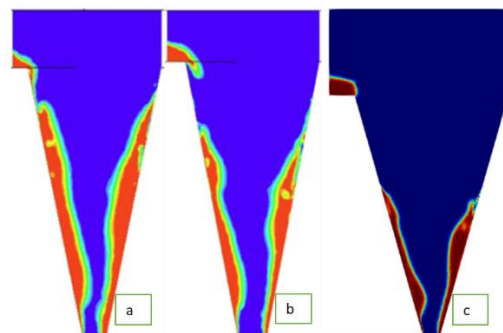
No	Jumlah elemen mesh	Umax (m/s)	error
4	518.543	2.0833	0.02857

Pada tabel tersebut terlihat bahwa pemilihan mesh yang digunakan adalah pada nomor 3. Salah satu pertimbangannya adalah mesh no.3 memiliki nilai *skewmesh* dan *orthogonal mesh* yang lebih sedikit dibanding mesh no. 1. Sebagaimana telah diketahui kedua nilai tersebut akan mempengaruhi hasil simulasi dan kestabilan iterasi yang dilakukan. Sehingga memerlukan waktu iterasi yang lebih sedikit. Nilai Umax yang dihasilkan didapatkan dari posisi bidang xz pada ketinggian y = 0.4 m dari saluran keluar basin.

Proses Validasi hasil Simulasi

- Validasi adalah proses membandingkan hasil simulasi CFD dengan data eksperimental yang telah diketahui atau data teoritis yang diperoleh dari literatur ilmiah yang dipercaya. Langkah ini bertujuan untuk memastikan bahwa model CFD yang digunakan mampu mereproduksi fenomena aliran fluida yang benar di lingkungan realistik.
- Validasi mencakup perbandingan antara hasil simulasi CFD dengan data eksperimental seperti pola aliran, distribusi tekanan, kecepatan aliran, dan lainnya. Hasil validasi yang baik akan menunjukkan kesesuaian yang tinggi antara hasil simulasi dan data eksperimental.

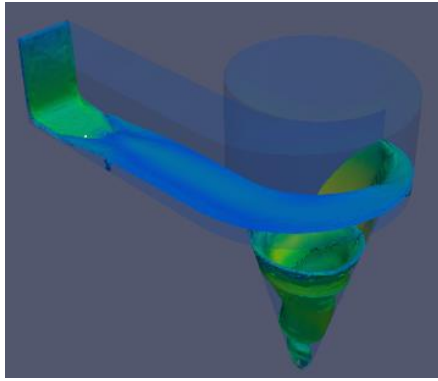
Karena validasi simulasi basin untuk konfigurasi dari [9], tidak tersedia dalam bentuk eksperimental untuk konfigurasi basin tanpa turbin maka dalam penelitian ini, validasi dilakukan dengan membandingkan hasil fraksi volume air[9] dari data proses optimasi dengan fraksi air dari penelitian ini.



Gambar 6. Validasi volume fraksi hasil simulasi (c) dengan hasil optimasi dari [9] (a,b)

Dari gambar 5 terlihat bahwa pola fraksi volume air menunjukkan hasil yang identik sama. Meskipun jumlah fraksi volume air untuk a dan b menunjukkan nilai yang lebih besar dari c, hal ini dipengaruhi oleh debit air dan ketinggian saluran masuk. Dari gambar 6 terlihat bahwa debit air yaitu sebesar 0.00305 m³/s kecil (kondisi awal simulasi untuk saluran masuk/inlet) dan saluran air masuk yang tinggi atau luas permukaan yang masuk sebesar 0.051 m² maka kecepatan masuk air hanya sebesar 0.0598 m/s,

mengakibatkan air mengalir dengan kecepatan yang rendah.



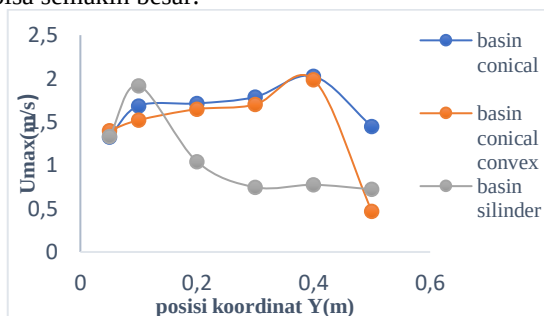
Gambar 7. Contour kecepatan air

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Variasi kecepatan maksimum pada basin

Variasi kecepatan maksimum yang dihasilkan oleh masing-masing basin dibandingkan. Dari gambar 7, terlihat bahwa basin jenis *conical* dan *conical convex* memperlihatkan pola aliran yang sama dimana variasi kecepatan maksimumnya secara linear naik terhadap posisi y dalam bidang xz basin. Nilai kecepatan maksimumnya mulai turun Ketika mencapai posisi $y = 0,4$ m hingga posisi $y = 0,5$ m. Sementara basin silinder memperlihatkan pola kecepatan maksimum yang berbeda dari kedua basin sebelumnya, dimana kecepatan maksimum yang tertinggi terjadi pada posisi $y = 0.1$ m. Kemudian kecepatan maksimum tersebut akan mulai turun hingga posisi $y = 0,3$ m, dari posisi $0,3$ m hingga $0,5$ nilai kecepatan maksimum cenderung konstan.

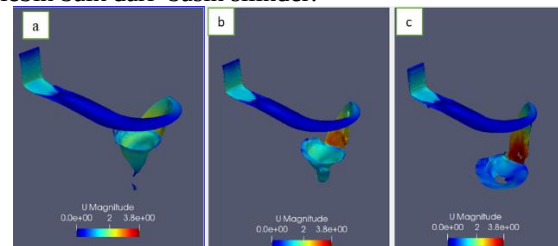
Pola kecepatan maksimum yang terjadi pada basin silinder yang berbeda disebabkan karena debit aliran yang disimulasikan, sebesar $0.00305 \text{ m}^3/\text{s}$ tidak bisa mengisi luas area yang ada pada sisi keluaran basin (*outlet*), sehingga ketinggian air hanya mencapai 0.1 m dari sisi *outlet* basin. Oleh karena itu untuk basin silinder diperlukan nilai debit yang lebih besar untuk mendapatkan variasi kecepatan maksimum yang terjadi didalam basin terhadap psosis koordinat y . Semakin tinggi variasi kecepatan maksimum terhadap koordinat y basin semakin besar turbin yang bisa di pasang. Akhirnya daya yang bisa diserap atau di ekstrak dari potensi air oleh turbin didalam basin bisa semakin besar.



Gambar 8. Variasi kecepatan maksimum dari basin untuk posisi koordinat terhadap bidang xz

3.2. Contour kecepatan pada basin

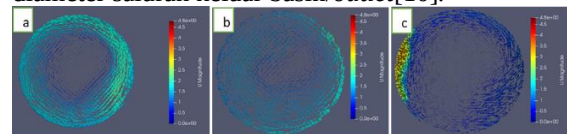
Pada gambar 7, perbandingan *contour* kecepatan fluida untuk masing-masing basin ditampilkan. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa *contour* kecepatan pada basin jenis *conical* memiliki kecepatan terbesar didalam basin dibandingkan dengan kedua basin lainnya (gambar a). Pembentukan aliran vortex dan ketinggian aliran vortex untuk basin *conical* lebih besar dibandingkan basin lainnya. Sebagaimana penjelasan sebelumnya bahwa semakin tinggi aliran vortex pada basin semakin besar potensi energi kinetik yang bisa di ekstrak oleh turbin ketika dipasang didalam basin. Hal ini juga di terangkan oleh [3], ada korelasi ukuran basin dan ketinggian vortex yang terbentuk. Hal ini juga dipertegas oleh [4]. Pembentukan aliran vortex didalam basin *conical* lebih baik dari basin silinder.



Gambar 9. Contour kecepatan fluida didalam basin

3.3. Aliran Vortex pada basin

Aliran vortex yang dihasilkan oleh basin tergantung pada beberapa variabel, seperti dimensi dan bentuk saluran masuk fluida, jenis basin, dan diameter saluran keluar basin/*outlet*[10].



Gambar 10. Aliran vortex dalam basin a) basin *conical*, b) basin *conical convex*, c) basin silinder

Pada gambar 9, aliran vortex yang dihasilkan oleh basin *conical* lebih besar dibandingkan dengan dua basin lainnya. *Vortex*/aliran vortex merupakan aliran fluida dimana garis-garis alirannya berputar mengelilingi sumbu tertentu, untuk penelitian ini sumbu y merupakan sumbu putarnya. *Vortex* menghasilkan sirkulasi. Besarnya sirkulasi dapat digunakan untuk mengukur kekuatan suatu vortex. *Vortex* dengan sirkulasi yang tinggi berarti aliran fluida memiliki putaran yang kuat disekitar sumbu vortex. Korelasi ini dapat diliat dari persamaan 4[2].

$$\Gamma = 2\pi r v_{\theta} \quad (4)$$

Dimana r adalah posisi radial dari pusat rotasi dan v_{θ} adalah kecepatan tangensial dari *free surface vortex*.

Dengan semakin besarnya sirkulasi yang didapatkan pada basin *conical* maka potensi energi kinetik pada aliran fluida semakin besar, jika digunakan untuk menggerakkan turbin akan menghasilkan torsi yang besar dibandingkan dengan basin *conical convex* dan

basin silinder. Oleh karena itu daya dan efisiensi yang didapatkan oleh beberapa peneliti sebelumnya ketika menggunakan basin *conical* lebih besar dari jenis lainnya.

4. Simpulan

Penelitian ini menyelidiki pengaruh geometri basin terhadap aliran vortex menggunakan simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD). Tiga geometri basin yang berbeda - silinder, *conical*, dan *conical convex* - dianalisis untuk memahami distribusi kecepatan, dan pola aliran vortex yang dihasilkan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa basin *conical* menghasilkan aliran vortex dengan intensitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan basin silinder dan *conical convex*. Basin *conical* menunjukkan pola aliran yang lebih terfokus dan konsentrasi vortex yang lebih tinggi di sekitar sumbu pusat, yang berkontribusi pada peningkatan efisiensi pembentukan vortex. Sebaliknya, basin silinder dan *conical convex* menghasilkan aliran vortex dengan distribusi kecepatan yang lebih menyebar dan stabilitas vortex yang lebih rendah.

Penemuan ini menyoroti pentingnya pemilihan geometri basin dalam desain dan optimasi sistem turbin vortex, khususnya untuk aplikasi energi terbarukan. Basin *conical* terbukti lebih efektif dalam membentuk aliran vortex yang kuat dan stabil, menjadikannya pilihan yang lebih baik untuk meningkatkan kinerja turbin vortex. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk mengkaji lebih dalam efek parameter desain lainnya dan optimasi lebih lanjut dalam konteks aplikasi prakti

Daftar Pustaka

- [1] Nugraha, Ihfaz Nurdin Eka, Waluyo, Sahrial "Penerapan dan Analisa Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro dengan Turbin Propeller OpenFlume TC 60 dan Generator Sinkron Satu Fasa 100 VA di UPI Bandung,"Jurnal Reka Elkomika, Vol 1, No.4, pp.328-338, 2013.
- [2] M. Nosare, W. Lin, M.Khatamifar, A Review of Gravitational Water Vortex Hydro Turbine System for Hydropower Generation, " Energies 2023, 16, 5394. pp. 2-39.
- [3] Mulligan, S.; Hull, P. "Design and Optimisation of a Water Vortex Hydropower Plant," Bachelor's Thesis, Institute of Technology, Sligo, Ireland, 2010.
- [4] Dhakal, S.; Timilsina, A.B.; Dhakal, R.; Fuyal, D.; Bajracharya, T.R.; Pandit, H.P.; Amatya, N.; Nakarmi, A.M, "Comparison of cylindrical and conical basins with optimum position of runner: Gravitational water vortex power plant". *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015, 48, pp. 662–669.
- [5] Dhakal, S.; Nakarmi, S.; Pun, P.; Thapa, A.B.; Bajracharya, T.R, "Development and testing of runner and conical basin for gravitational water vortex power plant," *J. Inst. Eng.* 2014, 10, 140–148.
- [6] Ruiz Sánchez, A.; Sierra Del Rio, J.A.; Guevara Munoz, A.J.; Posada Montoya, J.A. "Numerical and experimental evaluation of concave and convex designs for gravitational water vortex turbine," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.* 2019, 64, 160–172.
- [7] Ruiz Sánchez, A.; Sierra Del Rio, J.A.; Guevara Munoz, A.J.; Posada Montoya, J.A. Numerical and experimental evaluation of concave and convex designs for gravitational water vortex turbine. *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.* 2019, 64, 160–172.
- [8] Jiang, Y.; Raji, A.O.; Raja, V.; Wang, F.; Albonsrulah, H.A.Z.; Murugesan, R.; Ranganathan, S. Multi-disciplinary optimizations of small-scale gravitational vortex hydropower (SGVHP) system through computational hydrodynamic and hydro-structural analyses. *Sustainability* 2022.
- [9] Velásquez, L.; Posada, A.; Chica, E. Surrogate modeling method for multi-objective optimization of the inlet channel and the basin of a gravitational water vortex hydraulic turbine. *Appl. Energy* 2023.
- [10] Velásquez, L.; Posada, A.; Chica, E. Optimization of the basin and inlet channel of a gravitational water vortex hydraulic turbine using the response surface methodology. *Renew. Energy* 2022, 187, 508–521.