

## ANALISIS KINERJA TURBIN AIR VERTIKAL TIPE *S-SHAPE* PADA SALURAN MELENGKUNG MENGGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD)

Dimas Pandhu Asadellah<sup>1</sup>, Fitriah Qalbina<sup>2</sup>, Yolli Fernanda<sup>3</sup>, Randi Purnama Putra<sup>4</sup>  
Universitas Negeri Padang, Padang

e-mail: <sup>1</sup>pandhudimas@gmail.com, <sup>2</sup>fitriah.qalbina@ft.unp.ac.id, <sup>3</sup>yolliper@ft.unp.ac.id, <sup>4</sup>randipurnama@ft.unp.ac.id

**Abstract:** *The s-shaped turbine is a hydrokinetic turbine that has the potential to be applied to open channel flows due to its ability to operate at low flow velocities and its simple construction. However, the performance of this turbine is greatly influenced by the surrounding hydrodynamic conditions, including the geometry of the flow domain. This study aims to analyze the effect of variations in the open channel domain angle on the flow characteristics and performance of the s-shaped Savonius turbine using a Computational Fluid Dynamics (CFD) approach. Simulations were carried out at three variations of domain angles, namely 20°, 30°, and 40°, with an inlet flow velocity of 0.5 m/s, a turbine diameter of 76 mm, and a turbine height of 76 mm. The performance parameters analyzed included torque, power coefficient (C<sub>p</sub>), and torque coefficient (C<sub>t</sub>), as well as flow characteristics in the form of velocity contours, pressure contours, and streamlines. The simulation results show that variations in the domain angle have a significant effect on the flow distribution, pressure pattern, and torque stability produced by the turbine. The domain with an angle of 20° produces the highest C<sub>p</sub> and C<sub>t</sub> values, while the 30° domain shows a significant decrease in performance due to the increase in the recirculation zone and pressure imbalance around the rotor.*

**Keyword:** *S-Shape Turbine; Hydrokinetics; Open Channel; CFD; Domain Angle*

**Abstrak:** Turbin tipe *s-shape* merupakan salah satu turbin hidrokinetik yang potensial untuk diaplikasikan pada aliran saluran terbuka karena kemampuannya beroperasi pada kecepatan aliran rendah dan konstruksinya yang sederhana. Namun, kinerja turbin ini sangat dipengaruhi oleh kondisi hidrodinamika di sekitarnya, termasuk geometri domain aliran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi sudut domain saluran terbuka terhadap karakteristik aliran dan performa turbin *s-shape* menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Simulasi dilakukan pada tiga variasi sudut domain, yaitu 20°, 30°, dan 40°, dengan kecepatan aliran masuk 0,5 m/s, diameter turbin 76 mm, dan tinggi turbin 76 mm. Parameter kinerja yang dianalisis meliputi torsi, koefisien daya (C<sub>p</sub>), dan koefisien torsi (C<sub>t</sub>), serta karakteristik aliran berupa kontur kecepatan, kontur tekanan, dan streamline. Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi sudut domain memberikan pengaruh signifikan terhadap distribusi aliran, pola tekanan, dan stabilitas torsi yang dihasilkan turbin. Domain dengan sudut 20° menghasilkan nilai C<sub>p</sub> dan C<sub>t</sub> tertinggi, sedangkan domain 30° menunjukkan penurunan kinerja yang cukup signifikan akibat meningkatnya zona resirkulasi dan ketidakseimbangan tekanan di sekitar rotor.

**Kata kunci:** Turbin *S-Shape*; Hidrokinetik; Saluran Terbuka; CFD; Sudut Domain

### PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi air berkecepatan rendah pada saluran terbuka

menjadi salah satu alternatif pengembangan energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Turbin *s-shape* sebagai turbin tipe drag

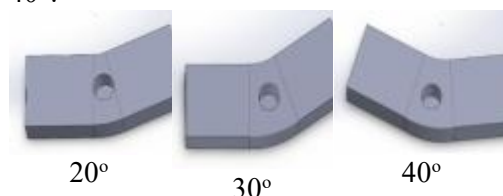
memiliki keunggulan dalam hal kemampuan *self-starting*, konstruksi sederhana, serta kinerja yang relative stabil pada kecepatan aliran rendah. Meskipun demikian, performa turbin *s-shape* sangat sensitif terhadap kondisi aliran di sekitarnya, termasuk konfigurasi saluran dan geometri domain.

Penelitian numerik terhadap turbin *s-shape* menunjukkan bahwa distribusi aliran di belakang rotor sangat kompleks karena pembentukan *wake* yang signifikan, terutama pada kondisi aliran lambat (*slow-moving flow*). Analisis *wake* menunjukkan bahwa turbin *s-shape* mengalami deselerasi kecepatan di hilir rotor yang lebih besar dibandingkan representasi silinder ideal, akibat karakteristik turbulen dan pemisahan aliran di belakang baling-balik rotor. Fenomena ini mendasari kerumitan hubungan antara aliran masuk dengan parameter performa seperti koefisien daya ( $C_p$ ) dan koefisien torsi ( $C_t$ ) dalam simulasi numerik. (Abdul dkk., 2022).

Selain itu, kajian tinjauan terbaru mengindikasikan bahwa performa turbin hidrokinetik tipe sumbu vertikal termasuk *s-shape* dipengaruhi oleh kombinasi geometri rotor, kondisi aliran bebas, dan struktur *wake* yang kompleks, yang secara teoritis dapat menghasilkan hubungan *output* performa yang bersifat non-linier terhadap parameter desain. (Jaramillo-pizarro, 2025)

## METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi numerik berbasis CFD dengan perangkat lunak ANSYS *Fluent*. Model tiga dimensi turbin *s-shape* ditempatkan di dalam domain saluran terbuka dengan variasi sudut 20°, 30°, dan 40°.



Gambar 1 Variasi Domain

Kondisi batas yang diterapkan meliputi kecepatan masuk (*velocity inlet*) sebesar 0,5 m/s, dinding saluran sebagai *wall* tanpa slip, dan *outlet* bertipe *pressure outlet*. Zona rotasi turbin dimodelkan menggunakan pendekatan *frame motion* dalam simulasi *steady*. Model turbulensi yang digunakan adalah  $k-\omega$  SST karena kemampuannya dalam memprediksi aliran dekat dinding dan daerah separasi dengan lebih akurat.

Konvergensi solusi ditentukan berdasarkan residual sebesar  $10^{-3}$  serta kestabilan nilai torsi terhadap iterasi. Parameter keluaran utama berupa torsi, koefisien daya ( $C_p$ ), dan koefisien torsi ( $C_t$ ) dihitung dari hasil simulasi setelah kondisi aliran mencapai keadaan stabil

Tabel 1 Parameter Penelitian

Parameter	Dimensi (mm)
Diameter	76 mm
Tinggi	76 mm
Sudut aliran	20°, 30°, 40°

Pada *Boundary Condition* atau kondisi batas ada beberapa pengaturan yang perlu dilakukan dalam kelancaran simulasi yang dilakukan, begitu juga pada *Reference Values* seperti yang tertera pada tabel dibawah ini.

Tabel 2 Parameter *Boundary Condition*

No	Nama	Tipe <i>Boundary</i>	Keterangan
1	<i>Inlet</i>	<i>Velocity Inlet</i>	<i>Velocity Magnitude: 0,5 m/s</i>
2	<i>Outlet</i>	<i>Pressure Outlet</i>	<i>Gauge pressure: 0 Pa</i>
3	<i>Body</i>	<i>Wall</i>	<i>Shear condition: no slip</i>
4	<i>Top</i>	<i>Wall</i>	<i>Shear condition: symmetry</i>
5	<i>Bottom</i>	<i>Wall</i>	<i>Shear condition: no slip</i>
6	<i>Left</i>	<i>Wall</i>	<i>Shear condition: no</i>

			<i>slip</i>
7	<i>Right</i>	<i>Wall</i>	<i>Shear condition: no slip</i>

**Tabel 3 Parameter Reference Values**

No	Input	Nilai
1	Area	0,005776 m <sup>2</sup>
2	Density	998,2 Kg / m <sup>3</sup>
3	Temperature	293,2 K
4	Velocity	0,5 m/s
5	Viscosity	1,003 x 10 <sup>-3</sup> kg/ms

Setelah simulasi selesai dijalankan, tahap *post-processing* dilakukan untuk menganalisis dan memvisualisasikan hasil yang diperoleh. Pada tahap ini, data hasil simulasi dapat ditampilkan dalam berbagai bentuk, seperti plot, grafik, diagram kontur, dan animasi, sehingga memudahkan pemahaman pola aliran atau distribusi parameter tertentu.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi numerik turbin *s-shape* pada aliran saluran terbuka telah dilakukan untuk tiga variasi sudut domain, yaitu 20°, 30°, dan 40°, dengan kondisi operasi yang sama berupa kecepatan aliran masuk 0,5 m/s, diameter turbin 76 mm, tinggi turbin 76 mm, dan kecepatan putar 88 rpm. Kriteria konvergensi ditetapkan berdasarkan residual sebesar 10<sup>-3</sup> dan kestabilan nilai torsi terhadap iterasi.



**Gambar 2 Desain Turbin S-Shape**

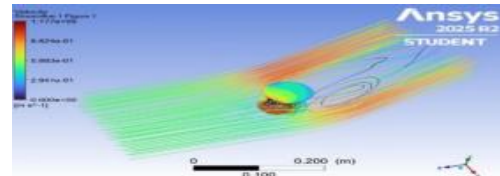
Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi sudut domain memberikan perbedaan yang signifikan terhadap nilai torsi, koefisien daya (C<sub>p</sub>), dan koefisien torsi (C<sub>t</sub>). Pada domain 20°, seperti yang

telah tersedia pada tabel berikut :

**Tabel 4 Hasil Simulasi**

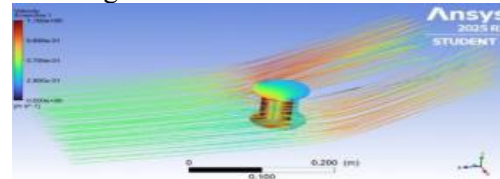
N o	Sudut Aliran	Torsi	Koefisien Daya (C <sub>p</sub> )	TSR	Koefisien Torsi (C <sub>t</sub> )
1	20°	0,0377	0,0523	0,7159	0,0731
2	30°	0,0021	0,0028	0,7159	0,0039
3	40°	0,0030	0,0393	0,7159	0,0549

Visualisasi aliran memperlihatkan perbedaan karakteristik aliran pada masing-masing domain. *Velocity streamline* pada domain 20° menunjukkan aliran yang relatif terarah menuju rotor dengan *wake* yang lebih sempit di sisi hilir.



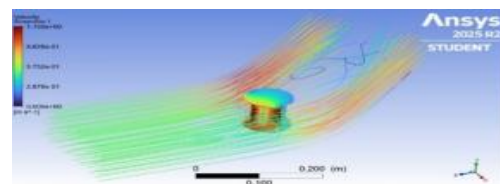
**Gambar 3 Velocity Streamline Domain 20°**

Pada domain 30°, *streamline* memperlihatkan pembentukan vorteks dan zona resirkulasi yang lebih luas di belakang rotor.



**Gambar 4 Velocity Streamline Domain 30°**

Domain 40° menunjukkan pola aliran yang lebih terbuka dengan *wake* yang memanjang namun masih mampu menghasilkan gaya pada sudu.



**Gambar 5 Velocity Streamline Domain 40°**

Kontur kecepatan menunjukkan bahwa domain  $20^\circ$  memiliki distribusi kecepatan tinggi yang terkonsentrasi di sekitar sudu yang menghadap aliran. Pada domain  $30^\circ$ , zona kecepatan tinggi lebih menyebar dan tidak fokus, sedangkan pada domain  $40^\circ$  zona kecepatan tinggi masih terbentuk namun dengan luasan yang lebih besar. Kontur tekanan memperlihatkan bahwa domain  $20^\circ$  menghasilkan perbedaan tekanan paling jelas antara sisi hulu dan hilir sudu, sementara domain  $30^\circ$  menunjukkan gradien tekanan yang paling kecil.

### Pembahasan

Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi sudut domain secara nyata memengaruhi karakteristik aliran dan performa turbin *s-shape*, terlihat dari perbedaan nilai koefisien daya ( $C_p$ ) dan koefisien torsi ( $C_t$ ) pada domain  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $40^\circ$  yang diuji. Tren ini konsisten dengan temuan sebelumnya bahwa interaksi antara aliran dan geometri rotor memainkan peran kunci dalam kinerja turbin. Sebagai contoh, penelitian CFD oleh (T G et al., 2025) menemukan bahwa *channel bend* yang memfokuskan aliran terhadap blade advancing secara signifikan dapat meningkatkan nilai  $C_p$  dan  $C_t$  apabila wake berkurang dan aliran lebih terarah.

Pada domain  $20^\circ$ , aliran masuk relatif lebih terarah terhadap rotor sehingga perbedaan tekanan antara sisi hulu (*advancing blade*) dan sisi hilir (*returning blade*) lebih kuat. Perbedaan tekanan ini mendukung pembentukan gaya drag yang lebih besar pada sudu yang menghadap aliran, sehingga menghasilkan torsi dan daya yang lebih tinggi. Fenomena ini didukung oleh hasil CFD pada literatur seperti yang ditunjukkan dalam studi *CFD-based improvement of Savonius type hydrokinetic turbine*, di mana distribusi tekanan dan kecepatan sangat memengaruhi selisih gaya pada sudu dan performa keseluruhan. (Alizadeh dkk., 2020).

Sebaliknya, pada domain  $30^\circ$ , pola *wake* yang terbentuk di belakang rotor menjadi lebih dominan dan merupakan daerah kecepatan rendah akibat pemisahan aliran (*flow separation*), yang merupakan karakteristik aliran turbulen dan tidak linier di sekitar benda *bluff* seperti turbin *s-shape*. Pembentukan *wake* ini menyebabkan energi kinetik aliran kurang efektif dimanfaatkan oleh rotor, sehingga gradien tekanan yang terbentuk menjadi lebih lemah dan kinerja turbin menurun secara signifikan. Kondisi ini sejalan dengan hasil kajian numerik dan eksperimental lain yang menunjukkan bahwa *wake* dan resirkulasi yang kuat menurunkan efektifitas aliran terhadap torsi dan daya pada turbin.

Pada domain  $40^\circ$ , meskipun aliran lebih terbuka, posisi sudut domain kembali membantu mengarahkan sebagian aliran terhadap rotor sehingga gradien tekanan mulai meningkat dibandingkan domain  $30^\circ$ . Namun demikian, masih terdapat redistribusi energi aliran dalam *wake* yang membuat performa belum optimal seperti pada domain  $20^\circ$ . Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi domain dapat menghasilkan perubahan tidak linier pada distribusi aliran, tekanan, dan *wake*, yang semuanya memengaruhi performa turbin secara komprehensif.

Secara keseluruhan, pola distribusi tekanan dan kecepatan yang diamati melalui kontur aliran memperkuat pemahaman teoritis bahwa aliran hidrokinetik bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh banyak variabel geometri dan kondisi batas. Visualisasi aliran pada ketiga domain menunjukkan bahwa gradien tekanan yang lebih besar dan *wake* yang lebih sempit umumnya mendukung nilai  $C_p$  dan  $C_t$  yang lebih tinggi, sedangkan daerah *wake* yang lebih luas dan resirkulasi aliran yang kuat berkorelasi dengan performa yang menurun. Fenomena ini juga telah diamati dalam studi numerik yang menghubungkan kecepatan, tekanan, serta gradien momentum dengan kinerja turbin Savonius dalam saluran aliran rendah

(Alizadeh dkk., 2020)

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi numerik yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi sudut domain saluran terbuka memberikan pengaruh signifikan terhadap karakteristik aliran dan performa turbin *s-shape*. Domain dengan sudut 20° menghasilkan kinerja terbaik karena mampu mengarahkan aliran secara lebih efektif menuju sudu turbin, menghasilkan distribusi tekanan yang optimal, serta torsi yang lebih stabil. Domain 30° menunjukkan kinerja terendah akibat terbentuknya zona resirkulasi yang luas dan penurunan efektivitas interaksi fluida–sudu. Domain 40° menunjukkan adanya pemulihan kinerja, meskipun belum melampaui performa domain 20°. Hasil penelitian ini menegaskan pentingnya pemilihan dan perancangan geometri domain dalam studi numerik maupun aplikasi nyata turbin hidrokinetik *s-shape* di saluran terbuka. Kajian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan desain saluran dan konfigurasi turbin yang lebih optimal untuk pemanfaatan energi air berkecepatan rendah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abell, S. K., & Lederman, N. G. (2013). Handbook of Research on Science Education. *Handbook of Research on Science Education*, 1(2), 1–1330.
- Alizadeh, H., Jahangir, M. H., & Ghasempour, R. (2020). CFD-based improvement of Savonius type hydrokinetic turbine using optimized barrier at the low-speed flows. *Ocean Engineering*, 202(March), 107178.
- Bayu Suka Yasa, I. P., Arta Wijaya, I. W., & Janardana, I. G. N. (2022). Pengaruh Variasi Sudut Nozzle Terhadap Kecepatan Putar Turbin Dan Daya Output Pada Prototype Pltmh Menggunakan Turbin Turgo. *Jurnal SPEKTRUM*, 9(2), 112.
- Dafero, A., Putra, R. P., Fernanda, Y., & Qalbina, F. (2025). Analisis Efek Magnus pada Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Savonius Menggunakan Computational Fluid Dynamic ( CFD ). 5(2), 19165–19182.
- Foust, E. C. (2023). The Behavior of Vertical Axis Water Turbine With Flexible Blades: Self-Start, Ventilation, and Cavitation. *ASME Open Journal of Engineering*, 2, 1–8. <https://doi.org/10.1115/1.4063084>
- Gangashanaiah, S. T., C M, S., Gumtapure, V., & Madav, V. (2023). Experimental Investigation of Two- and Three-Blade Savonius Hydrokinetic Turbine for Hydropower Applications: A Study across Various Turbine Positions from Channel Centre to Channel Wall †. *Engineering Proceedings*, 59(1). <https://doi.org/10.3390/engproc2023059131>
- Harahap, F. S. (2020). Simulasi Numerik Unjuk Kerja Turbin Air Savonius Darrieus Naca 0018 Terhadap Variasi Jumlah Sudu.
- Harmiansyah, H., Arysandia, D., Gamas, F. A. J., Saputri, N. W., Kusmali, M., & Fil'aini, R. (2023). Mini review pengaruh jumlah sudu turbin vortex berdasarkan daya pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) yang dihasilkan. *Sultra Journal of Mechanical Engineering*, 2(2), 82–91. <https://doi.org/10.54297/sjme.v2i2.520>
- Irawan, D. (2014). Prototype Turbin Pelton Sebagai Energi Alternatif Mikrohidro Di Lampung. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 3(1), 1–6. <https://doi.org/10.24127/trb.v3i1.17>
- Khais, D. S., & Ariani, B. (2022). Analisa Kinerja Savonius Hydrokinetic Turbine Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic Pada Studi Kasus Sungai Pemali, Tegal,

- Jawa Tengah. *Proceeding Technology of Renewable Energy and Development Conference*, 2.
- Kumar, A., & Saini, G. (2020). Flow field and performance study of Savonius water turbine. *Materials Today: Proceedings*, 46(xxxx), 5219–5222. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.591>
- Kumar, P., & Sharma, A. (2024). Reynolds number effect on the parameters of turbulent flows over open channels. 73(5), 1030–1047. <https://doi.org/10.2166/aqua.2024.056>
- Pudja Dianda Mayapada, G., Jasa, L., & Suartika, I. M. (2022). Rancang Bangun Prototype Turbin Vortex Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh). *Jurnal SPEKTRUM*, 9(3), 44. <https://doi.org/10.24843/spektrum.2022.v09.i03.p6>
- Putri, C. A. (2024). Penggunaan Air Sebagai Sumber Energi Terbarukan Untuk Energi Listrik. *Scientica: Jurnal Ilmiah Sains Dan Teknologi*, 2(6), 201–204. <https://jurnal.kolibi.org/index.php/scientica/article/view/1532>
- Ridlo, R., & Hakim, A. (2020). ANDASIH Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat Model Energi Indonesia, Tinjauan Potensi Energy Terbarukan Untuk Ketahanan. *ANDASIH Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 1.
- Situmorang, A., Manik, P., & Iqbal, M. (2016). Bilga Terhadap Arah Dan Kecepatan Aliran ( Wake ) Pada. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(4), 793–802.
- T G, S., C M, S., Gumtapure, V., & Madav, V. (2025). Numerical analysis of Savonius hydrokinetic turbine performance in straight and curved channel configurations. *Energy Nexus*, 17(September 2024). <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2025.100382>