

Analysis of the Effect of Bottom Blade Inclination Angle Variations on Torque in Vortex Turbines Using Computational Fluid Dynamics (CFD)

Badri Kurniawan^{1*}, Randi Purnama Putra¹, Yolli Fernanda¹, Fitrah Qalbina¹

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Padang, INDONESIA

*Corresponding author: badrikurniawa003@gmail.com

Received June 21th 2025; Revised July 12th 2025; Accepted July 27th 2025

Abstract

The development of renewable energy in Indonesia is a strategic effort to meet increasing energy demands while reducing dependence on fossil fuels. One promising approach is utilizing river flow for micro-hydro power generation, particularly with vortex turbines that operate efficiently under low head and discharge conditions. This study aims to analyze the effect of varying bottom blade inclination angles on the torque generated by a vortex turbine using Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations. The research employed ANSYS Fluent with a $k-\omega$ SST turbulence model and used a three-dimensional numerical method to evaluate three inclination angles: 22.5°, 32°, and 42°. The results show that blade inclination significantly influences torque values, with the 22.5° angle producing the highest torque of 10.95 Nm, followed by 32° at 10.79 Nm, and 42° at 10.58 Nm. These findings indicate that optimizing blade inclination improves turbine performance, contributing to the development of efficient micro-hydro systems for renewable energy applications.

Keywords: Vortex Turbine, Blade Inclination Angle, Torque, CFD, Renewable Energy.

Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan pada *Bottom Blade* Turbin *Vortex* Terhadap Torsi yang Dihasilkan dengan Menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Abstrak

Pengembangan energi terbarukan di Indonesia merupakan upaya strategis untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat serta mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Salah satu teknologi yang berpotensi adalah pemanfaatan turbin vortex pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang dapat beroperasi pada debit dan ketinggian air yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi sudut kemiringan sudu bawah (*bottom blade*) terhadap torsi yang dihasilkan dengan menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS Fluent dengan model turbulensi $k-\omega$ SST dan pendekatan tiga dimensi. Variasi sudut kemiringan yang diuji adalah $22,5^\circ$, 32° , dan 42° . Hasil simulasi menunjukkan bahwa sudut kemiringan memengaruhi nilai torsi secara signifikan, dengan sudut $22,5^\circ$ menghasilkan torsi tertinggi sebesar 10,95 Nm, diikuti oleh sudut 32° sebesar 10,79 Nm dan sudut 42° sebesar 10,58 Nm. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa optimasi sudut kemiringan sudu dapat meningkatkan kinerja turbin vortex, sehingga berkontribusi terhadap pengembangan PLTMH sebagai solusi energi terbarukan.

Kata kunci: Turbin Vortex, Sudut Kemiringan Sudu, Torsi, CFD, Energi Terbarukan.

I. PENDAHULUAN

Pengembangan energi terbarukan di Indonesia merupakan upaya strategis untuk memenuhi meningkatnya kebutuhan energi sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Salah satu potensi yang dapat dimanfaatkan adalah aliran sungai sebagai sumber daya air berlimpah melalui Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), terutama dengan penggunaan turbin *vortex* yang efektif pada kondisi aliran dan ketinggian air yang rendah. (Nugroho et al., 2022). Sistem turbin *vortex* berfungsi dengan memanfaatkan pusaran air untuk memutar sudu turbin dan mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanik yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik (Pratama et al., 2022). Penggunaan turbin *vortex* juga mendukung penyediaan listrik di lokasi-lokasi terpencil yang belum terjangkau oleh jaringan listrik, serta memiliki konstruksi yang sederhana dan mudah dalam perawatannya (Andri et al., 2024).

Kinerja turbin *vortex* dipengaruhi oleh desain sudu, terutama sudut kemiringan sudu yang memengaruhi arah aliran air dan gaya dorong pada sudu sehingga memengaruhi putaran turbin (Fitroh, 2018). Beberapa penelitian terdahulu mengungkapkan bahwa perubahan sudut kemiringan sudu dapat meningkatkan performa dan efisiensi turbin, seperti penelitian Iqswanda et al. (2020) yang menemukan sudut optimal $37,5^\circ$ pada turbin *vortex* dapat meningkatkan daya hingga 45,01 watt dengan efisiensi 70,25%. Sementara pada penelitian Sinaga et al (2024) menunjukkan bahwa bentuk sudu juga berpengaruh signifikan, dengan sudu melengkung memberikan efisiensi tertinggi pada turbin air *vortex*. Jadi, analisis variasi sudut kemiringan sudu pada turbin *vortex* masih perlu dilakukan untuk menemukan sudut kemiringan optimal agar torsi dan efisiensi turbin meningkat secara signifikan.

Pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) telah digunakan untuk menganalisis performa turbin air. Turbin *vortex* juga termasuk, karena dapat memvisualisasikan pola aliran, distribusi tekanan, dan kecepatan pada sudu secara detail (Komarul Ikhsan et al., 2020). Dengan menggunakan CFD, pengujian sudut kemiringan sudu dapat dilakukan tanpa perlu membuat prototipe fisik, sehingga efisien dari segi waktu dan biaya (Rahmawaty & Dharma, 2021). Penggunaan CFD dengan model turbulensi $k-\omega$

SST juga dapat membantu dalam menganalisis aliran turbulen pada turbin *vortex* secara akurat (Kartiko Wisnu Katon, 2024).

Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi sudut kemiringan pada sudu bagian bawah (*bottom blade*) turbin *vortex* terhadap torsi yang dihasilkan menggunakan simulasi CFD dengan perangkat lunak *Ansys Fluent*. Pada pengujiannya dilakukan variasi sudut kemiringan dengan menggunakan desain sudu lima bilah yang telah terbukti memberikan hasil optimal pada penelitian sebelumnya. Penelitian ini bisa dimanfaatkan dengan menghasilkan desain sudu turbin *vortex* dengan sudut kemiringan optimal yang dapat digunakan sebagai acuan dalam pengembangan PLTMH di Indonesia. Dengan desain sudu yang tepat, diharapkan dapat meningkatkan nilai torsi dan efisiensi turbin sehingga energi listrik yang dihasilkan lebih optimal dan stabil. Penelitian ini juga mendukung pemanfaatan energi terbarukan sebagai solusi penyediaan listrik di daerah terpencil yang belum terjangkau listrik. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi dalam upaya mendukung keberlanjutan energi bersih di Indonesia.

II. METODE PENELITIAN

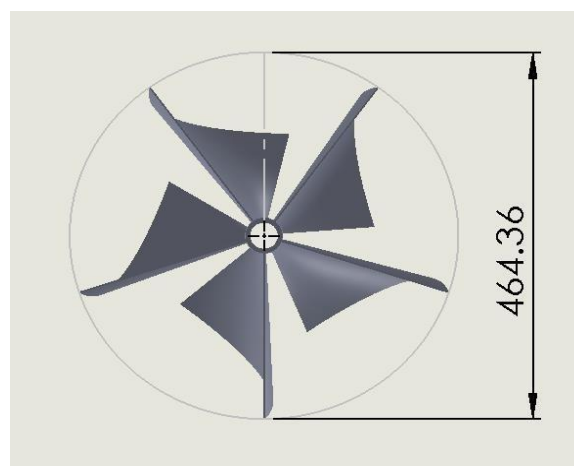
Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode numerik dengan bagian computational fluid dynamics (CFD) pada software *ansys 2025. Ansys fluent* yang memberikan fitur dan program secara fleksibilitas total. Program di dalamnya juga mampu menyelesaikan situasi aliran fluida dengan *mesh (grid)* yang kurang terstruktur dengan sangat mudah. Simulasi yang akan dilakukan pada sudu turbin dengan tiga dimensi.

1. Desain Sudu Turbin

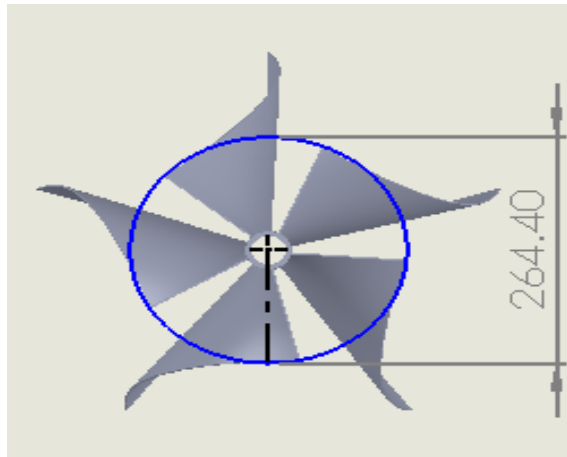
Pembuatan desain 3D sudu turbin yang menggunakan *software solidworks* dan memberikan variasi pada sudut sudu yang diinginkan. Dalam penelitian ini, peneliti membuat dan meneliti sudu dengan lima bilah dikarenakan pada penelitian yang dilakukan oleh trio (2023) sudu dengan lima bilah lebih optimal. Dan peneliti memvariasikan sudut kemiringan sudu untuk melihat pengaruh yang diberikan pada nilai torsi. Adapun pada tabel 1 dan gambar 1, gambar 2, dan gambar 3 yang merupakan dimensi dan geometri tiga dimensi dari sudu turbin.

Tabel 1. Dimensi Sudu Turbin

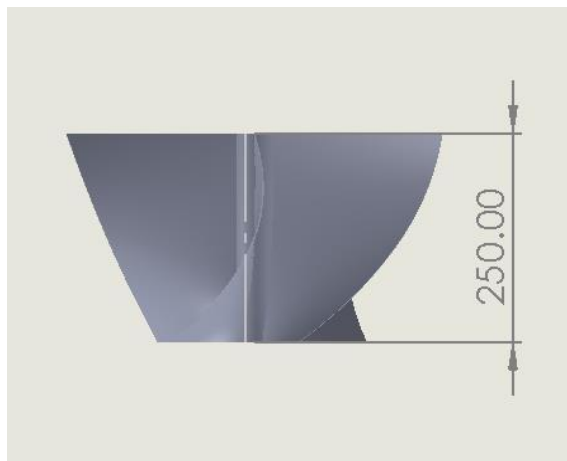
Parameter	Dimensi (mm)
D1	3464,36
D2	264,40
T	250



Gambar 1. Diameter 1 (D1) sudu turbin vortex



Gambar 2. Diameter 2 (D2) sudu turbin vortex



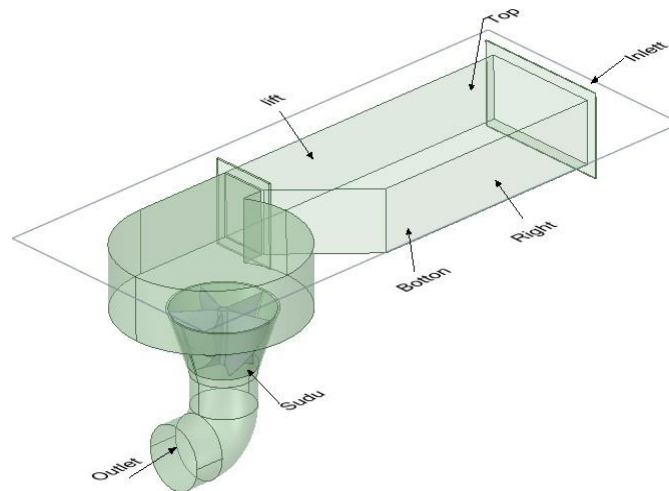
Gambar 3. Tinggi (T) sudu turbin vortex

2. Simulasi Sudu Turbin

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan fluid domain sebagai boundary condition untuk menganalisis aliran fluida melewati body kendaraan di wind tunnel. Boundary condition dari model ini adalah body, wall (top, bottom, right, dan left), inlet untuk aliran udara masuk, dan outlet sebagai batas analisis pada dinding atas dan bawah. Pada tabel 2 menampilkan parameter dari boundary condition dan gambar 4 diperlihatkan pembuatan fluid domain.

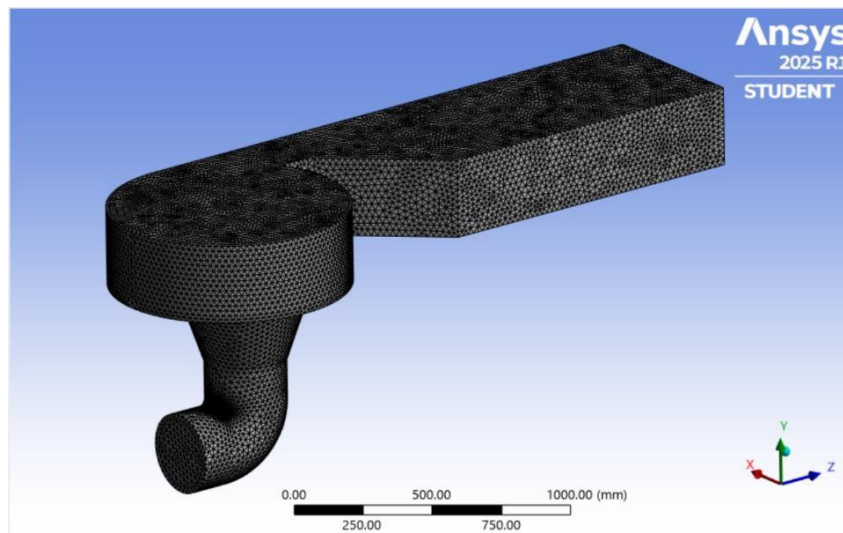
Tabel 2. Parameter Boundary Condition

No.	Nama	Type Boundary	Keterangan
1	Inlet	Velocity inlet	Velocity Magnitude: 0,22 m/s
2	Outlet	Pressure outlet	Gauge pressure: 0 Pa
3	Body	Wall	Shear condition: <i>specified shear</i>
4	Top	Wall	Shear condition: <i>specified shear</i>
5	Botton	Wall	Shear condition: <i>specified shear</i>
6	Left	Wall	Shear condition: <i>specified shear</i>
7	Right	Wall	Shear condition: <i>specified shear</i>



Gambar 4. Pembuatan Domain

Pembuatan mesh dilakukan setelah pembuatan domain selesai. Prosedur meshing selanjutnya akan berisi sejumlah proses dan parameter. Bidang atau volume yang berisi fluida yang telah dipisahkan menjadi sel – sel kecil disebut mesh. Pada gambar 5 menampilkan hasil meshing.



Gambar 5. Hasil Meshing

Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan aliran turbulen bersama model $k - \Omega$ SST. Untuk mendapatkan temuan simulasi yang lebih presisi, Methods yang dimanfaatkan ialah scheme coupled dengan diskritisasi second order upwind. Untuk konvergensi pada simulasi ini ialah 10^{-5} dalam proses iterasi. Simulasi pada penelitian ini memanfaatkan Hybrid initialization.

3. Grid Independency Analysis

Grid independency analysis dalam simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk sudu bertujuan untuk memastikan bahwa hasil simulasi tidak bergantung pada jumlah mesh yang digunakan. Untuk mengidentifikasi jumlah *mesh* terbaik dapat diketahui *error* paling kecil, maka diperlukan *grid independency analysis*. Jumlah *mesh* yang dievaluasi dan digunakan adalah 472.861; 574.610; 672.11; 772.876. Grid independency diteliti dengan menggunakan bentuk sudu dengan sudut $22,5^\circ$. Tabel 3 menampilkan hasil dari *grid independency Analysis*.

Tabel 3. Grid Independency Analysis

Tipe Mesh	Jumlah Mesh (Cells)	Torsi (τ)	Error (%)
Mesh 1	472.861	9,67	-
Mesh 2	574.610	10,85	12,20
Mesh 3	672.111	10,95	0,92
Mesh 4	772.876	11,39	4,02

Meshing 3 memiliki nilai error paling kecil diantara mesh lainnya. Berdasarkan grid independency analysis yang telah dilakukan dengan nilai error sebesar 0,92 persen yang didapatkan dari persamaan nilai error sebagai berikut:

$$\% \text{ Error} = \frac{\tau_{\text{Mesh 1}} - \tau_{\text{mesh } x}}{\tau_{\text{mesh 1}}} \times 100 \%$$

III. HASIL PENELITIAN

Pada tabel 4 menampilkan nilai torsi dan nilai instrumen penelitian dengan variasi sudut bottom blade 22,5°; 32°; 42° yang diperoleh dari hasil simulasi.

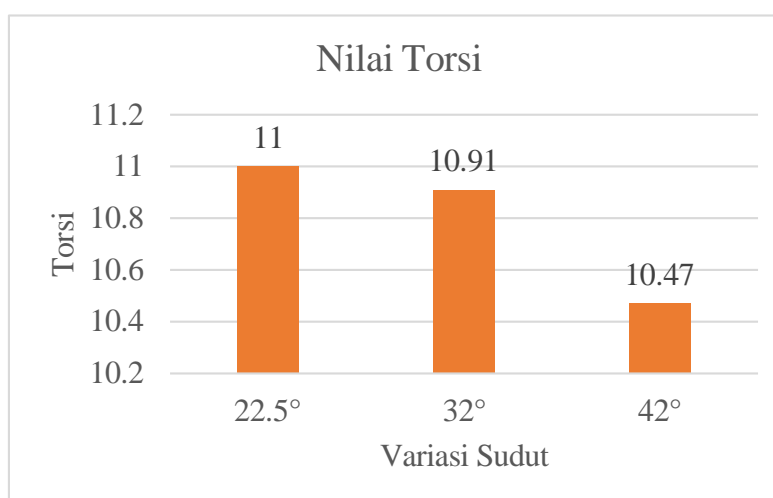
Tabel 4. Nilai Torsi

No.	Variasi Sudut	Torsi (Nm)
1	22,5°	11,00
2	32°	10,91
3	42°	10,47

IV. PEMBAHASAN

1. Analisis Torsi

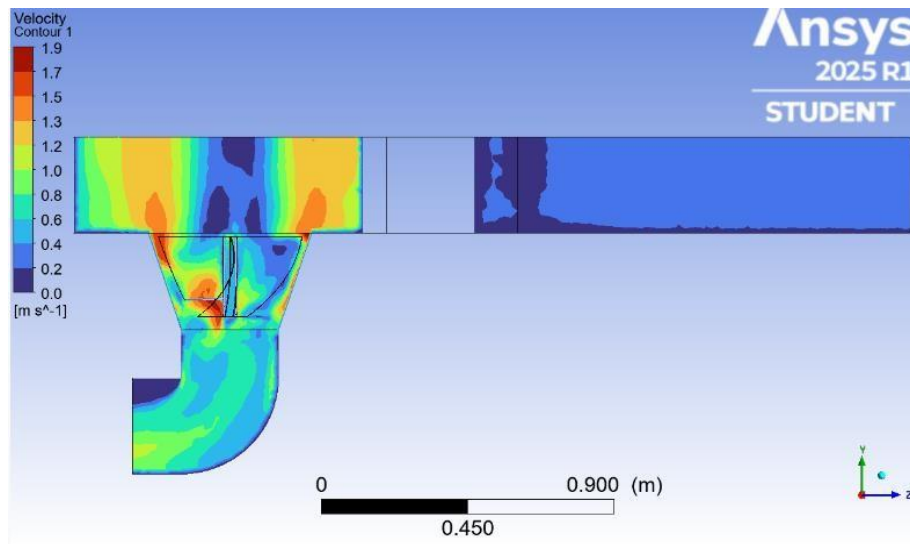
Torsi adalah gaya putar yang dihasilkan oleh poros engkol atau kemampuan motor untuk melakukan kerja, tetapi torsi disini ialah jumlah gaya putar yang diberikan ke suatu mesin terhadap panjang lengannya. Pada gambar x menunjukkan data perbandingan dari nilai torsi pada sudut bottom blade 22,5°; 32°; 42°.



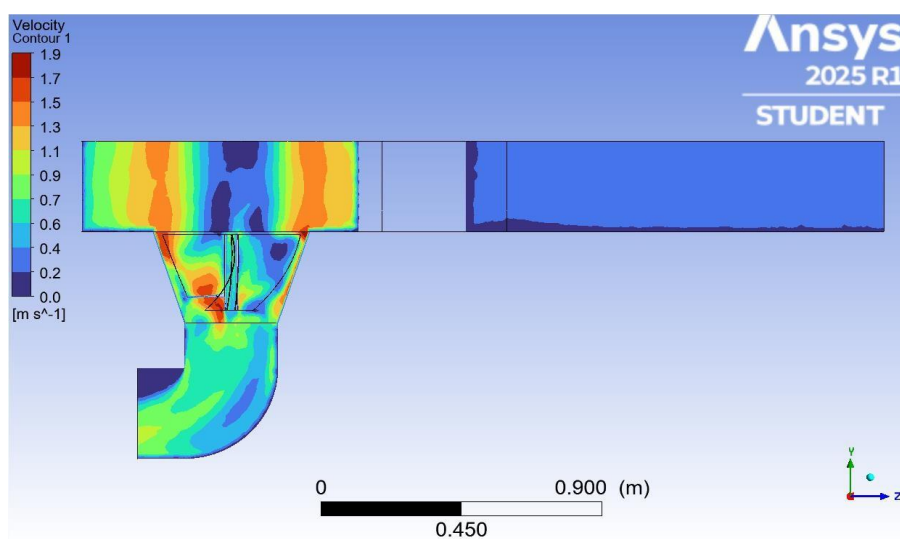
Gambar 6. Perbandingan nilai torsi pada variasi 22,5°, 32°, 42°

Dapat diamati Pada gambar 6, diketahui bahwa torsi yang dihasilkan semakin bertambah dengan sudut *bottom blade* yang semakin kecil. Akibatnya ketika blade berputar dengan *blade* turbin dengan sudut *bottom blade* yang semakin kecil akan menghasilkan torsi yang besar. Pada *blade* turbin dengan *bottom blade* 22,5° didapatkan torsi sebesar 11,00 Nm; *bottom blade* 32° didapatkan torsi 10,91 Nm; *bottom blade* 42° didapatkan torsi 9,47 Nm. Hal ini diperkuat dengan kontur kecepatan pada *body* sudu turbin seperti yang terlihat pada gambar 7.

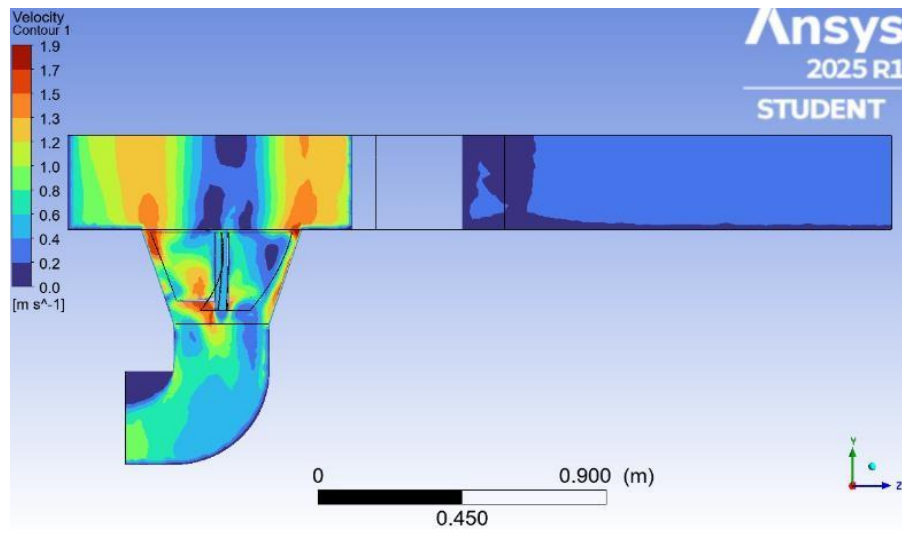
Pada gambar 7 dan 8 menunjukkan velocity contour di sekitar sudu dengan variasi sudut 22,5°, 32°, 42°. Distribusi kecepatan pada ketiga variasi sudut menunjukkan bahwa sudut 22,5° menghasilkan pola aliran pusaran yang lebih stabil dengan area kecepatan tinggi terfokus di sekitar blade, sehingga memberikan torsi tertinggi. Pada sudut 32°, pola aliran mulai melebar dengan berkurangnya kecepatan tangensial, sehingga torsi sedikit menurun. Sementara itu, sudut 42° memperlihatkan distribusi kecepatan yang tidak merata dengan dominasi kecepatan rendah akibat gangguan aliran dan kehilangan energi, sehingga menghasilkan torsi terendah. Secara umum, semakin besar sudut kemiringan, semakin sulit aliran mengikuti profil blade, yang menyebabkan berkurangnya interaksi fluida dan menurunnya torsi.



(a)

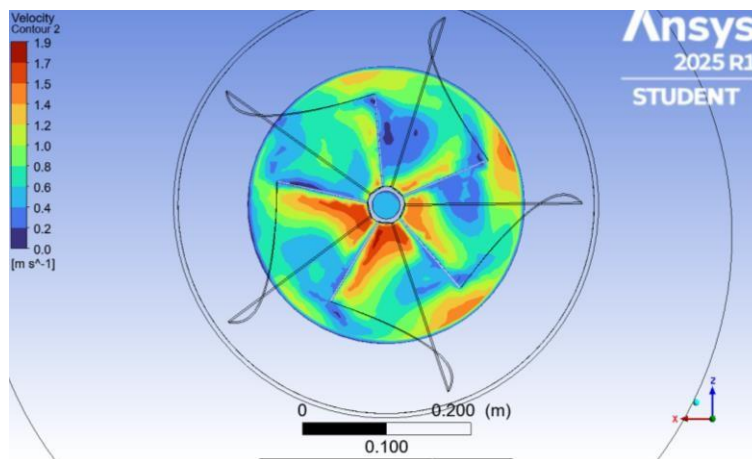


(b)

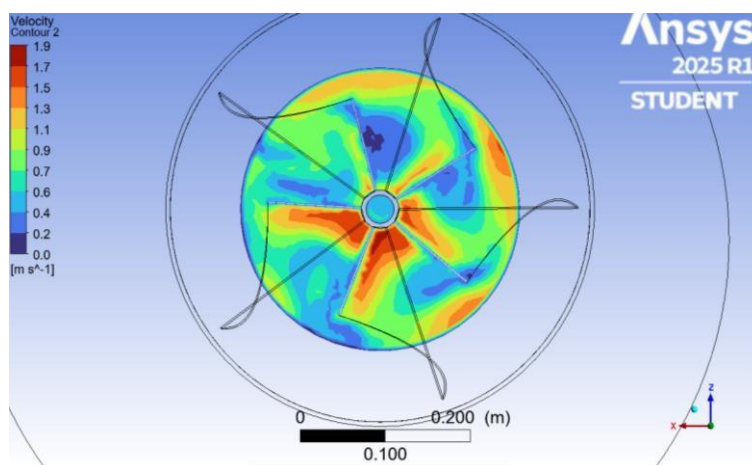


(c)

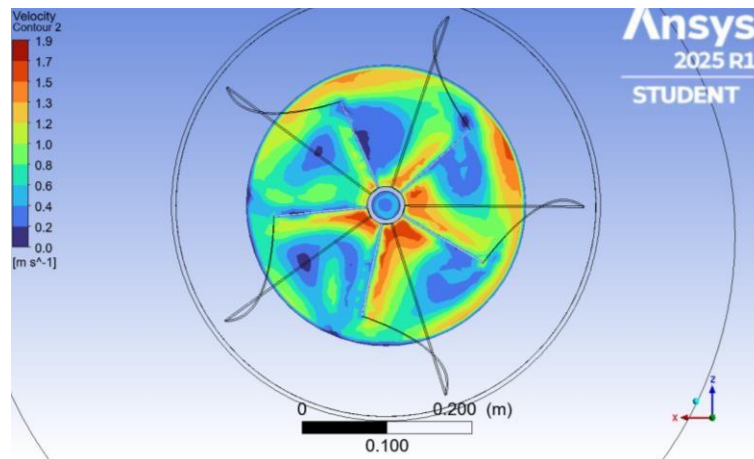
Gambar 7. Velocity contour sudut bottom blade tampak samping dengan variasi (a) 22,5° (b) 32° (c) 42°



(a)



(b)



(c)

Gambar 8. *Velocity contour* sudut *bottom blade* tampak atas dengan variasi (a) $22,5^\circ$ (b) 32° (c) 42°

2. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa desain dengan *bottom blade* yang besar akan menghasilkan nilai dari torsi yang lebih besar juga. Dengan nilai torsi tersebut dapat kita menentukan nilai daya dan efisiensi dari turbin *vortex* tersebut. Dengan variasi sudut *bottom blade* $22,5$ dengan torsi $10,95$ Nm; 32 dengan torsi $9,79$ Nm; 32 dengan torsi $10,58$ Nm. Adapun saran dari penulis yaitu 1) pada penelitian berikutnya desain pada blade bisa dimodifikasi bagian sudut lainnya sehingga menambah nilai torsi yang lebih besar. 2) Gunakan hardware yang lebih bagus agar simulasi berjalan dengan cepat dan tidak ada masalah dalam melakukan simulasi.

3. REFERENSI

- Admiral, R. (2023). Permodelan Unjuk Kerja Turbin Pusaran (Vortex) Untuk Model Alat Uji Pembangkit Listrik Menggunakan Software Ansys Fluent.
- Akhwan, Gunari.B, Sunardi, & Wirawan W.A. (2021). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun. Akhwan Eksergi Jurnal Teknik Energi. EKSERGI Jurnal Teknik Energi , 17, 15–24.
- Andri, R., Yuvenda, D., & Purwantono, P. (2024). Simulasi Numerik Variasi Intake terhadap Karakteristik Aliran pada Basin Turbin Vortex. MASALIQ, 4(1), 417–430. <https://doi.org/10.58578/masaliq.v4i1.2666>
- Aswanto Harinaldi Trio. (2023). Analisis Variasi Jumlah Sudu Terhadap Uji Kinerja Turbin Vortex. 1–53.
- Christina Yessy. (2022). Rancang Bangun Model Turbin Vortex Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Laboratorium.
- Dhakar, R., Shrestha, S., Neupane, H., Adhikari, S., & Bajracharya, T. (2020). Inlet and Outlet Geometrical Condition for Optimal Installation of Gravitational Water Vortex Power Plant with Conical Basin Structure. In Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure: Vol. Part F1362 (pp. 163–174). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9971-9_17
- Furqani, I., Rudi,), Arief, K., & Muchlisinalahuddin,). (2022). Analisis Kekuatan Rangka Mesin Perontok Padi Menggunakan Solidworks 2019 (1)*. Arief & Muchlisinalahuddin, 6(2), 42–49.
- Hakki Bil Hamka Muhammad, & Sukaddin. (2022). Rancang Bangun Dan Uji Unjuk Kerja Turbin Vortex Menggunakan Dua Tipe Penampang Sudu.

- Aspriliansyah, I. P., & Adiwibowo, P. H. (2020). Simulasi Numerik Pengaruh Kemiringan Sudut Sudu Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja Turbin Aliran Vortex.
- Kartiko Wisnu Katon. (2024). Skripsi Analisis Computational Fluid Dynamics (Cfd) Gasifikasi Kulit Kopi Menggunakan Reaktor Downdraft Multi- Stage.
- Kholbika Fitroh, H. (2018). Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Melengkung Dengan Variasi Sudut Kemiringan. *Jurnal Teknik Mesin Unesa*, Vol. 6 No. 1, 97–104.
- Komarul Ikhsan, H., Nugroho, R., Gusma Wijaya, D., & Setyo Pamuji, D. (2020). Kajian Teknologi : Parameter Desain dan Pemodelan Numerik pada Turbin Vortex Berbasis Gravitasi. 10, 140–148. <https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/>
- Nugroho, A. D., Suwandono, P., Hermawan, D., & Fadhillah, A. R. (2022). Pengaruh jumlah sudu terhadap unjuk kerja 3D print turbin air tipe vortex. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 11(1). <https://doi.org/10.24127/trb.v11i1.1935>
- Nugroho Dio Alvin, Suwandono Purbo, Hermawan Dadang, & Fadhillah Rizki Arief. (2022). Pengaruh jumlah sudu terhadap unjuk kerja 3D print turbin air tipe vortex. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro* , 35, 95–108.
- Pratama, A., Sidiq, A., & Kalimantan Muhammad Aryad Al Banjari Banjarmasin, I. (2022). Pengaruh Variasi Kemiringan Sudu Bentuk Kerucut Terhadap Kinerja Turbin Air Jenis Vortex.
- Pudja Dianda Mayapada, G., Jasa, L., Made Suartika, I., Raya Kampus Unud Jimbaran, J., Kuta Sel, K., & Badung, K. (2022). Rancang Bangun Prototype Turbin Vortex Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) (Vol. 9, Issue 3).
- Rahmawaty, K., & Dharma, S. (2021). Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) Pada Turbin Screw Archimedes Skala.
- Rifai, F. (2022). Abstract Effect Of Variation Number Of Blade And Twist Angle Of Performance Helical Turbine With Naca Airfoil 0030 Using Computational Fluid Dynamic Method (CFD).
- Sinaga, J. B., Sinaga, D., Yonanda, A., Topan, T., & Bahtera, G. (2024). Pengaruh Bentuk Sudu terhadap Efisiensi Turbin Gravitasi Aliran Vortex. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 13(2), 574–582. <https://doi.org/10.24127/trb.v13i2.3689>.
- Subekti, R. A., Prabowo, A. R., Setiawan, I., & Wahyudi, I. (2023). Runner profile optimisation of gravitational vortex water turbine. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science (IJECE)*, 29(1), 230–238. Retrieve from <https://ijece.iaescore.com/index.php/IJECE/article/download/30694/16782>.