Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X (Printed)
5 (3) 2025, Page: 29992-30002

Analisis Numerik Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida dan Desain Turbin terhadap Hidraulik Turbin Aksial pada Sistem Mikrohidro dengan Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD)

Refitra Irawan[1], Yolli Fernanda[2]
[1,2,3,4,5]Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Published: October , 2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kecepatan aliran fluida dan variasi sudut sudu terhadap kinerja hidraulik turbin aksial pada sistem mikrohidro dengan menggunakan metode simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) melalui perangkat lunak ANSYS Fluent. Simulasi dilakukan secara numerik dengan memvariasikan sudut sudu 45° dan 60° pada arah positif dan negatif, serta kondisi aliran 0,5 m/s untuk meninjau distribusi kecepatan, tekanan, torsi, dan efisiensi turbin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan sudut sudu berpengaruh signifikan terhadap pola aliran dan besarnya tekanan pada runner, yang berdampak langsung terhadap daya dan efisiensi turbin. Sudut 60° (+) menghasilkan daya maksimum sebesar 6 kW dengan efisiensi 69%, sedangkan posisi lurus menghasilkan efisiensi tertinggi mencapai 71%. Dengan demikian, desain geometri sudu dan kecepatan aliran memiliki peran penting dalam optimalisasi performa turbin aksial mikrohidro untuk pemanfaatan energi terbarukan secara efektif dan berkelanjutan.

Keywords: Turbin aksial, turbin propeller, mikrohidro, simulasi CFD, ANSYS, torsi, daya, energi terbarukan

ABSTRACT

This study aims to analyze the influence of fluid flow velocity and blade angle variation on the hydraulic performance of an axial turbine in a micro-hydro system using Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation through ANSYS Fluent software. The numerical simulation was conducted by varying blade angles of 45° and 60° in both positive and negative directions under a flow velocity of 0.5 m/s to examine the distribution of velocity, pressure, torque, and turbine efficiency. The results show that changes in blade angle significantly affect the flow pattern and pressure distribution on the runner, which directly impact turbine power and efficiency. The 60° (+) configuration produced the maximum output power of 6 kW with an efficiency of 69%, while the straight configuration achieved the highest efficiency of 71%. Therefore, the geometric design of the blades and the flow velocity play a crucial role in optimizing the performance of axial micro-hydro turbines for effective and sustainable renewable energy utilization.

Keywords: *Axial turbine, propeller turbine, micro-hydro, CFD simulation, ANSYS, torque, power, renewable energy*

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

Kelangkaan sumber energi fosil menjadi isu global yang mendesak karena cadangan minyak bumi, gas alam, dan batubara semakin menipis akibat eksploitasi besar-besaran. Kondisi ini diperparah dengan peningkatan konsumsi energi dunia yang tidak sebanding dengan penemuan cadangan baru [1]. Ketergantungan berlebihan pada energi fosil berisiko memicu krisis energi sekaligus meningkatkan emisi gas rumah kaca yang berdampak negatif bagi lingkungan [2]. Sejalan dengan itu, menekankan perlunya transisi menuju energi terbarukan untuk keberlanjutan sistem energi di masa depan [3]. Oleh karena itu, pengembangan teknologi konversi energi berbasis sumber daya alam yang melimpah, seperti energi air melalui sistem mikrohidro, menjadi strategi penting untuk mengurangi tekanan terhadap sumber energi fosil.

Energi air merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang potensial dan telah lama dimanfaatkan, baik dalam skala besar melalui Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) maupun skala kecil melalui sistem mikrohidro. Proses konversi energi dilakukan dengan memanfaatkan energi kinetik dan potensial air untuk menggerakkan turbin yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik melalui generator. Secara umum, turbin air terbagi menjadi turbin impuls dan turbin reaksi. Turbin reaksi, seperti Francis, Kaplan, dan aksial, mampu mencapai efisiensi hingga 90–95% [4], menjadikannya lebih unggul dibandingkan turbin impuls terutama pada sistem dengan tekanan rendah hingga sedang.

Turbin aksial sebagai bagian dari turbin reaksi memiliki karakteristik aliran sejajar poros turbin, sehingga desain sudu dan sudut masuk fluida berperan besar dalam menentukan efisiensinya. Turbin ini sangat cocok digunakan pada kondisi low head dengan debit besar, seperti di sungai datar atau saluran irigasi [5]. Faktor-faktor seperti kecepatan aliran, head, guide vane, dan rumah turbin sangat memengaruhi performa. Menyebutkan bahwa kecepatan aliran yang tinggi dapat meningkatkan energi kinetik yang dikonversi, tetapi harus diseimbangkan dengan desain sudu yang optimal agar tidak menimbulkan turbulensi [6]. Dengan pengelolaan variabel tersebut, turbin aksial mampu menghasilkan daya dengan efisiensi maksimal.

Urgensi penelitian ini terletak pada pentingnya memahami keterkaitan antara kecepatan aliran fluida dan desain turbin dalam mengoptimalkan kinerja turbin aksial. Ketidaksesuaian parameter aliran dapat menurunkan efisiensi akibat turbulensi, kavitasi, atau energi yang tidak mencukupi. Permasalahan ini sering terjadi pada sistem mikrohidro sederhana di wilayah pedesaan, di mana fluktuasi debit dan variasi head menyebabkan pasokan listrik tidak stabil. Kondisi tersebut berdampak langsung pada aktivitas masyarakat, mulai dari penerangan hingga pengoperasian alat pertanian. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi teknis-akademis, tetapi juga memiliki nilai aplikatif dalam mendukung pemanfaatan energi terbarukan secara berkelanjutan di daerah terpencil.

METODE

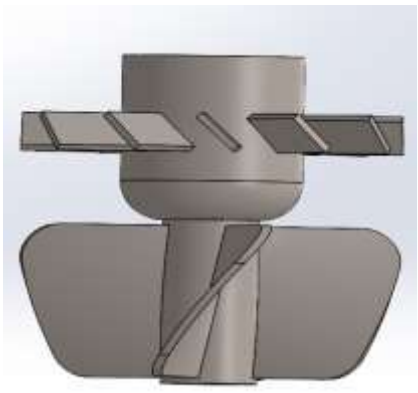
1. Jenis Penelitian

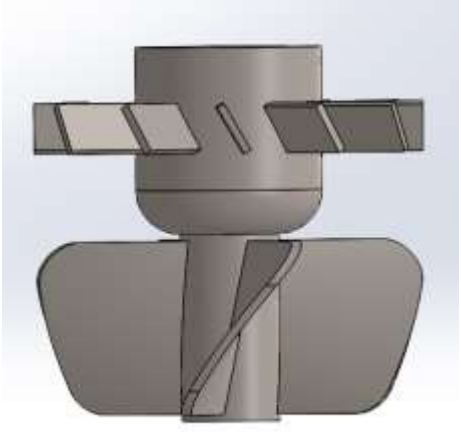
Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif berbasis simulasi numerik dengan pendekatan analitis-komputasional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi kecepatan aliran fluida dan pengaruh variasi desain sudut sudu, head, serta kecepatan fluida terhadap efisiensi hidraulik runner turbin aksial.

Pendekatan yang digunakan adalah simulasi berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS Fluent, di mana seluruh proses analisis dilakukan secara virtual tanpa pengujian eksperimental fisik. Data simulasi berupa distribusi tekanan, kecepatan, dan head akan dianalisis secara kuantitatif untuk mengevaluasi performa turbin pada berbagai konfigurasi desain.

Penelitian ini bersifat sistematis dan berbasis teori mekanika fluida, memanfaatkan model persamaan Navier-Stokes dan pendekatan Reynolds-Averaged (RANS) untuk memodelkan perilaku aliran fluida kompleks di sekitar sudu runner. Hasil simulasi akan digunakan untuk menentukan konfigurasi geometri yang paling optimal dalam meningkatkan efisiensi hidraulik turbin aksial, khususnya dalam aplikasi sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

2. Desain Alat

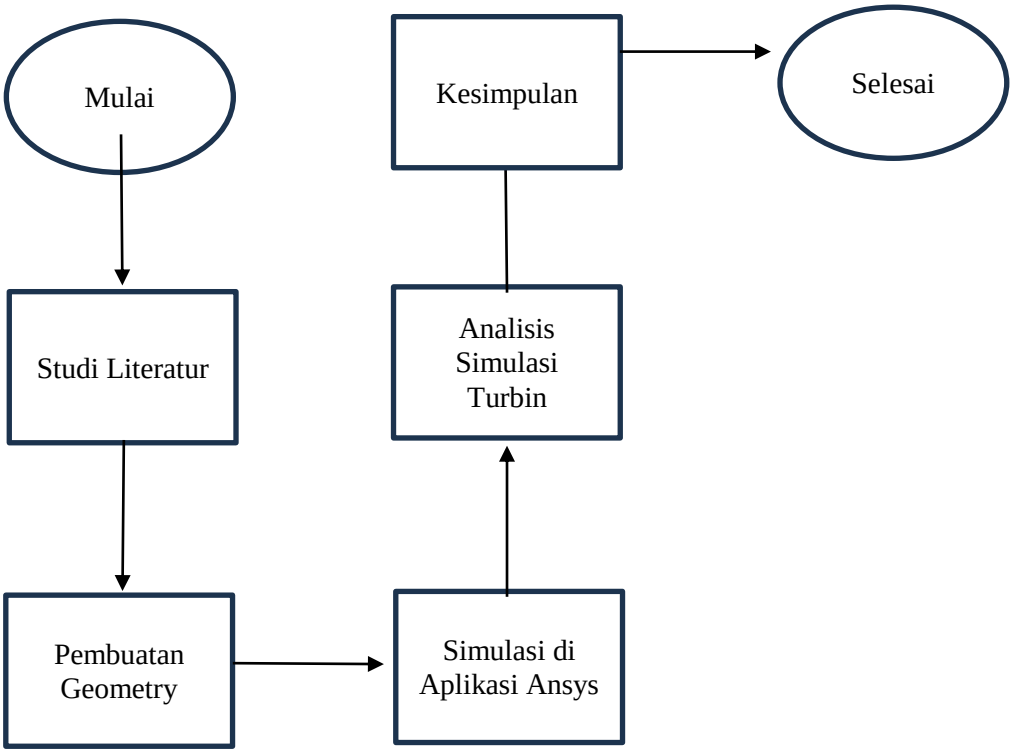




Tabel 1. Dimensi Turbin

Parameter	Dimensi (mm)
Diameter Runner	370
Diameter Guide Vane	700
Lebar Turbin	1500
Tinggi Blade Runner	650
Tinggi Blade Guide Vane	380
Tebal Blade Runner	40
Tebal Blade Guide Vane	40

3. Prosedur Penelitian



a. Study Literatur

Tahap awal dalam mendesain turbin aksial adalah melakukan tinjauan menyeluruh terhadap publikasi dan referensi ilmiah. Hal ini termasuk memeriksa gaya dan parameter yang memengaruhi turbin tersebut. Sumber-sumber ini akan memberikan panduan dan jaminan untuk memastikan bahwa desain turbin aksial dapat diselesaikan dengan kesalahan minimal, yang pada akhirnya mengarah pada pencapaian kinerja yang optimal.

b. Pembuatan Geometri

Tahap selanjutnya adalah memodelkan atau merancang turbin aksial dengan menggunakan software Solidworks untuk mendesain geometri turbin aksial. Selain itu, perangkat lunak Ansys Fluent 2025 R1 Student Version digunakan untuk melakukan simulasi dengan menggunakan pendekatan Computational Fluid Dynamics (CFD).

Bentuk turbin angin savonius ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2. Geometri Turbin

c. Simulasi di Ansys

Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) menggunakan ANSYS merupakan metode numerik untuk menganalisis perilaku aliran fluida, distribusi tekanan, kecepatan, maupun pola perpindahan panas pada suatu sistem. Proses ini diawali dengan pembuatan model geometri dan pembangkitan mesh, kemudian dilanjutkan dengan penentuan kondisi batas serta pemilihan model aliran yang sesuai, seperti laminar atau turbulen.

Hasil simulasi divisualisasikan pada tahap post-processing dalam bentuk kontur kecepatan, distribusi tekanan, maupun garis aliran yang menggambarkan fenomena fluida secara detail. Informasi tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi performa desain, mengoptimalkan kinerja sistem, serta mengurangi kebutuhan uji coba fisik sehingga lebih efisien dalam perancangan teknik.

d. Analisis Turbin

1. Debit Aliran Air

Q = A x V

Dimana :

Q = Debit Aliran (m^3/s)

A = Luas Penampang Aliran (m^2)

V = Kecepatan Aliran (m/s)

2. Bilangan Reynolds (Re)

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$$

Dimana :

Re = Bilangan Reynolds

V = Kecepatan Aliran (m/s)

d = Diameter Hidraulik (m)

ν = Viskositas Kinematik Fluida (m^2/s)

3. Faktor Gesekan Darcy–Weisbach

$$f = \frac{0{,}25}{log_{10}(\frac{\varepsilon}{3{,}7d} + \frac{5{,}79}{(Re)^{0{,}9}})^2}$$

Dimana :

f = Faktor Gesekan Darcy–Weisbach

ε = Kekasaran Relatif Pipa (m)

d = Diameter Hidraulik (m)

Re = Bilangan Reynolds

4. Head Loss

$$H_{loss} = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Dimana :

H loss = Head Loss Akibat Gesekan (m)

f = Faktor Gesekan Darcy–Weisbach

L = Panjang Pipa

d = Diameter Hidraulik (m)
V = Kecepatan Aliran (m/s)
g = Percepatan Gravitasi (9,81 m/s^2)

5. **Persamaan Bernoulli**

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + z_2 + H_{loss}$$

Dimana :

$\frac{P_1}{\rho g}$ = Head Tekanan (m)
$\frac{V^2}{2g}$ = Head Kecepatan (m)
z = Head Elevasi (m)
H loss = Head Loss Akibat Gesekan (m)

6. **Daya Hidrolik**

$$P_h = \rho g Q h$$

Dimana :

P_h = Daya Hidrolik (Watt)
ρ = Massa Jenis Fluida, untuk Air : 1000 kg/m^3
g = Percepatan Gravitasi (9,81 m/s^2)
Q = Debit Aliran (m^3/s)
h = Tinggi Jatuh Air (m)

7. **Kecepatan Sudut**

$$w = \frac{2\pi N}{60}$$

Dimana :

w = Kecepatan Sudut (rad/s)
N = Putaran per Menit (rpm)
2π = Sudut Satu Putaran Penuh (radian)

8. **Daya Turbin**

$$P_t = T \cdot w$$

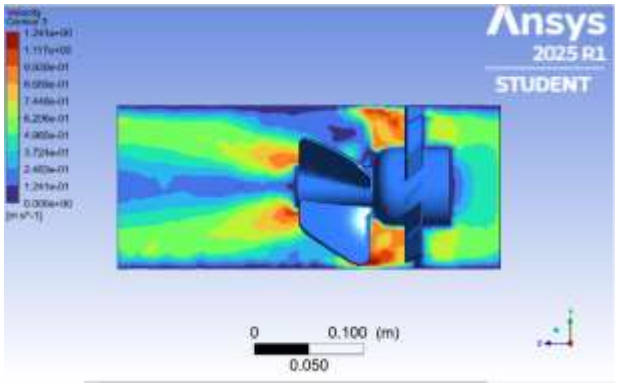
Dimana :

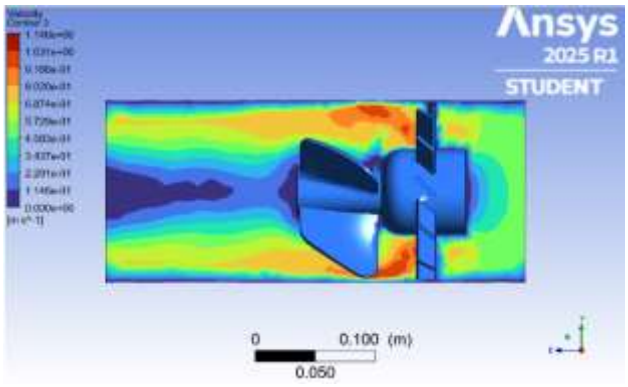
P_t = Daya Turbin
T = Torsi
w = Kecepatan Sudut (rad/s)

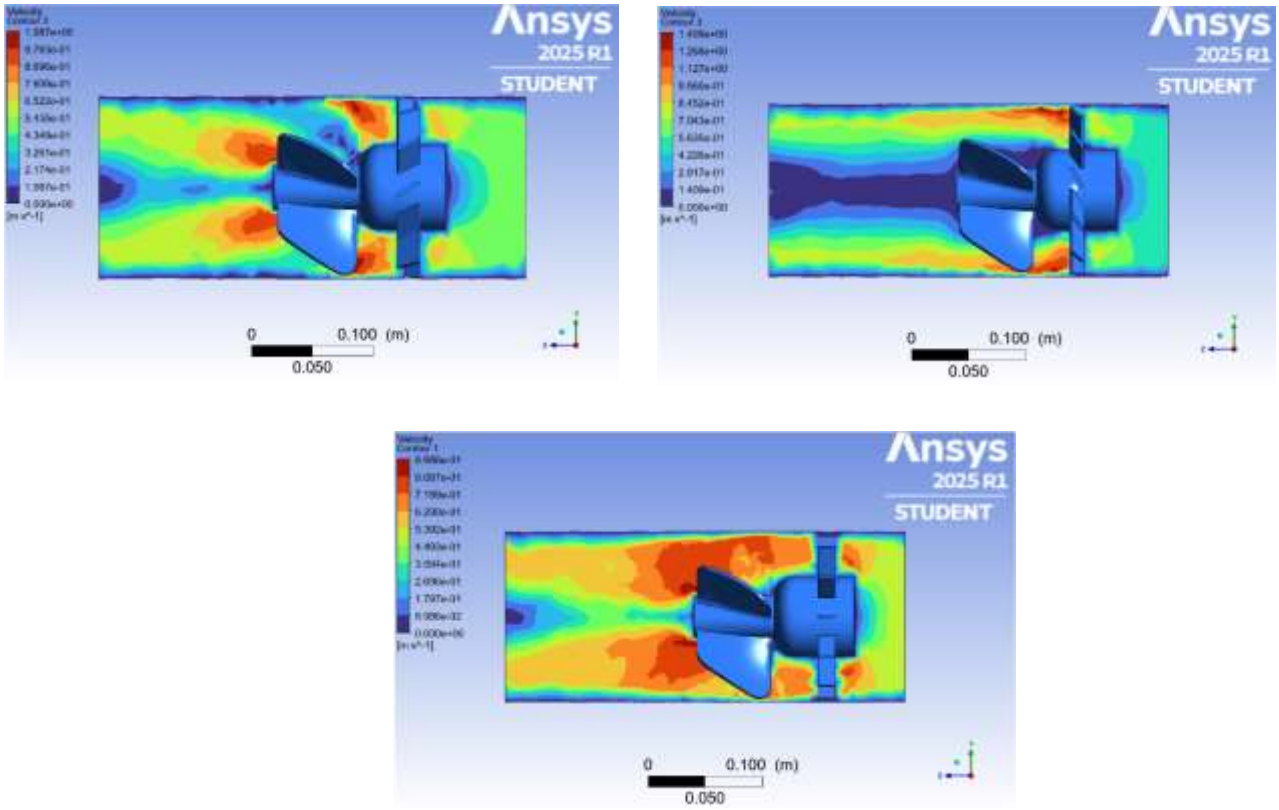
HASIL PENELITIAN

a. Profil Kecepatan

Visualisasi kontur (Velocity Countour) kecepatan menunjukkan bagaimana aliran air pada kecepatan 0.5 m/s, 1 m/s, dan 1.5 m/s. Warna pada kontur menunjukkan kecepatan aliran—semakin merah, semakin tinggi kecepatannya.







Gambar 3. Kountur Kecepatan pada Kecepatan 0.5 m/s pada sudut (a) 45 -, (b) 45 +, (c) 60 –, (d) 60 + dan (e) lurus

Tabel 2. Maksimum Kecepatan Runner

Sudut	Kecepatan Aliran Input	Maksimum Kecepatan
45°(-)	0,5 m/s	1,24 m/s
45°(+)	0,5 m/s	1,15 m/s
60°(-)	0,5 m/s	1,08 m/s,.
60°(+)	0,5 m/s	1,40 m/s
Lurus	0,5 m/s	0.89 m/s

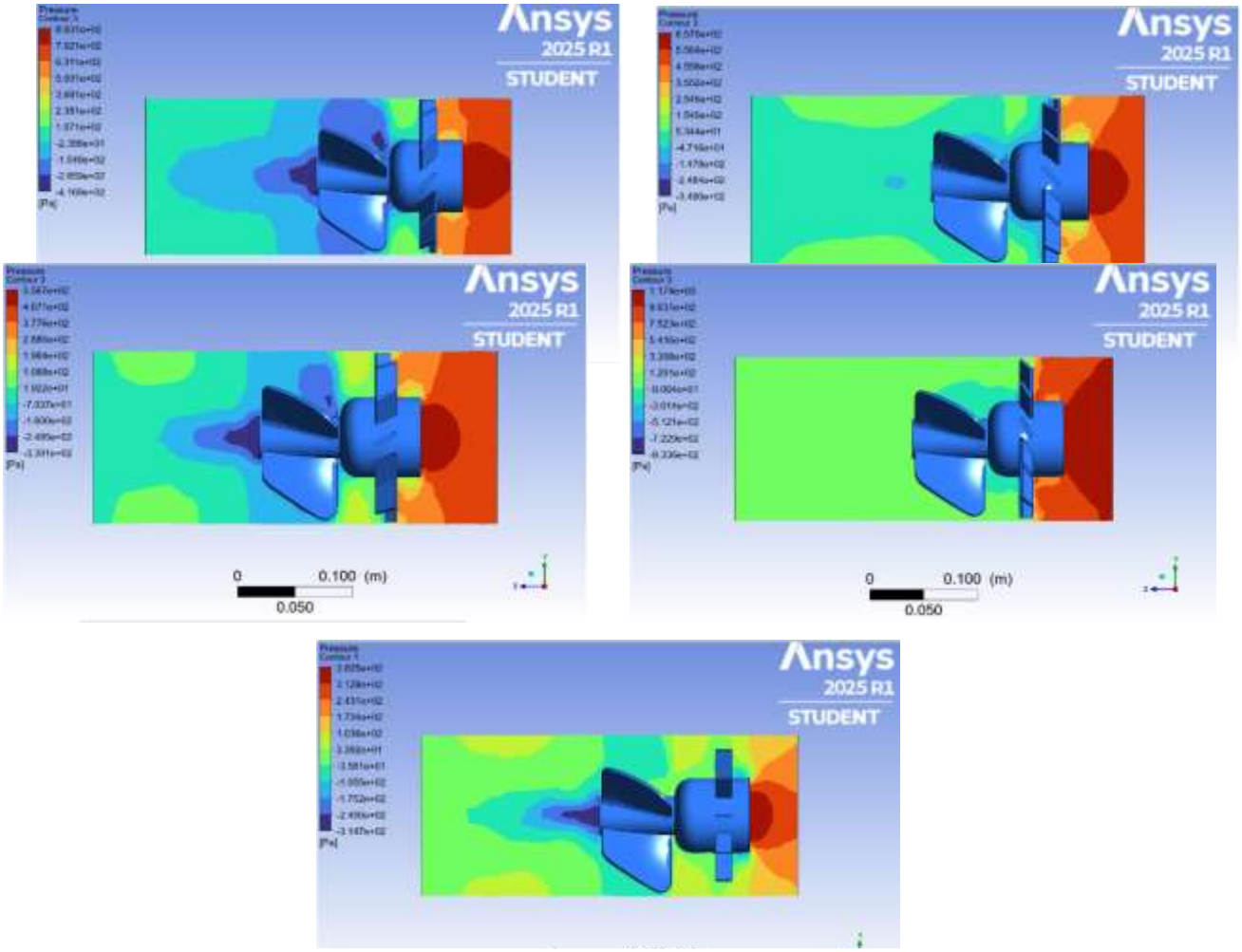
Selain kecepatan, pada percobaan turbin air aksial ini juga dapat langsung ditentukan debit aliran. Debit merupakan parameter utama yang menggambarkan volume fluida yang melewati penampang tiap satuan waktu, sehingga berhubungan langsung dengan energi fluida yang dapat dikonversi menjadi energi mekanik pada poros turbin.

1) Kecepatan 0,5 m/s

Q = A x V
= πr^2 x V
= (3,14 x 0,75 x 0,75) x 0,5 m/s
= 1,7671 x 0,5 m/s
= $0{,}88\ m^3$

b. Profil Tekanan

Kontur tekanan yang ditampilkan dari hasil simulasi CFD menggambarkan distribusi tekanan fluida di dalam domain turbin aksial. Pola distribusi tekanan ini sangat penting karena secara langsung berkaitan dengan head turbin yang bekerja pada turbin, sehingga berpengaruh terhadap torsi dan daya yang dihasilkan oleh turbin**.**



Gambar 4. Kountur Kecepatan pada Tekanan
0.5 m/s pada sudut (a) 45 -, (b) 45 +, (c) 60 –, (d) 60 + dan (e) lurus

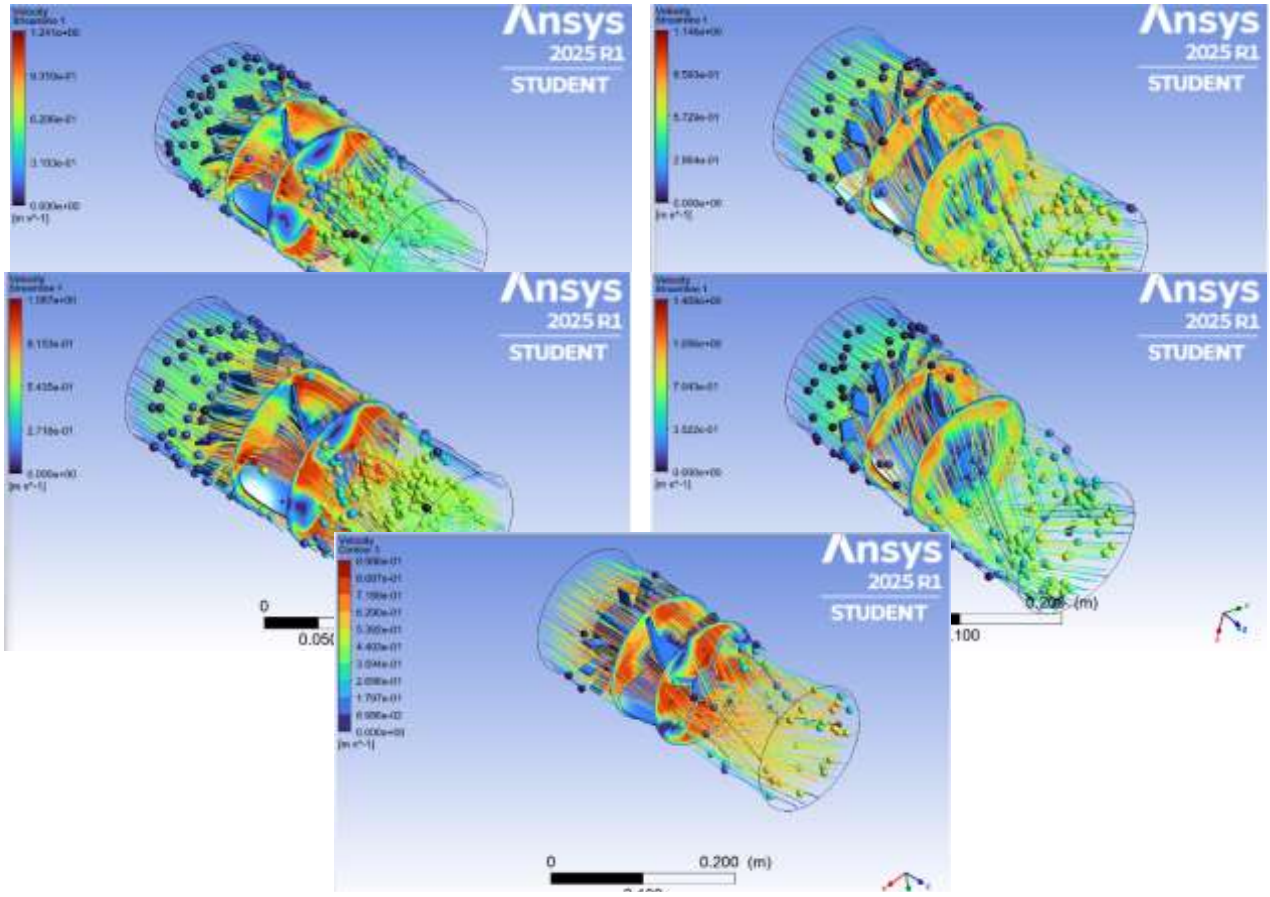
Tabel 2. Maksimum Tekanan Runner

Sudut	Kecepatan Aliran Input	Maksimum Tekanan
45°(-)	0,5 m/s	601,1 Pa
45°(+)	0,5 m/s	479,3 Pa
60°(-)	0,5 m/s	361,9 Pa
60°(+)	0,5 m/s	895 Pa
Lurus	0,5 m/s	382.5 Pa

c. Streamline Aliran

Analisis velocity streamline digunakan untuk menggambarkan pola pergerakan

fluida ketika melewati saluran dan sudu turbin. Streamline menunjukkan lintasan ideal partikel fluida, sehingga dari distribusi garis ini dapat diamati fenomena aliran seperti percepatan, perlambatan, hingga terjadinya pusaran. Dalam turbin aksial, pemeriksaan velocity streamline menjadi penting karena aliran yang halus dan terarah akan mendukung terbentuknya gaya angkat pada sudu serta meminimalkan rugi-rugi energi akibat turbulensi.



Gambar 5. Streamline Aliran
pada sudut (a) 45 -, (b) 45 +, (c) 60 –, (d) 60 + dan (e) lurus

d. Analisis Simulasi Turbin

1) Kecepatan Sudut

$$w = \frac{2\pi \cdot N}{60}$$
$$= \frac{2\pi \cdot 954}{60}$$
$$= \frac{1908\pi}{60}$$
$$= 99{,}9 \text{ rad/s}$$
$$= 100 \text{ rad/s}$$

2) Daya Hidraulik

$$P_h = \rho g Q h$$
$$= 1000 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}88 \cdot 1$$
$$= 9810 \cdot 0{,}88$$
$$= 8.632{,}8 \text{ W}$$
$$= 8{,}6 \text{ kW}$$

3) Spesifik Speed

$$N_s = \frac{N \cdot Q^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

$$= \frac{954 \ . \ 0{,}88^{\frac{1}{2}}}{1^{\frac{3}{4}}}$$

$$= \frac{954 \ . \ 0{,}93}{1}$$

$$= \frac{887{,}2^{\frac{1}{1}}}{1}$$

$$= 887{,}2 \ N_s$$

4) Daya Turbin

a) Sudut 45 ° (-)

$P_t = T \ . \ w$

$= 44{,}5 \ . \ 100$

$= 4450$ W

$= 4{,}4$ kW

b) Sudut 45 ° (+)

$P_t = T \ . \ w$

$= 58{,}5 \ . \ 100$

$= 5850$ W

$= 5{,}8$ kW

c) Sudut 60 ° (-)

$P_t = T \ . \ w$

$= 51{,}9 \ . \ 100$

$= 5190$ W

$= 5{,}1$ kW

d) Sudut 60 ° (+)

$P_t = T \ . \ w$

$= 60{,}1 \ . \ 100$

$= 6010$ W

$= 6$ kW

e) Lurus

$P_t = T \ . \ w$

$= 61{,}8 \ . \ 100$

$= 6180$ W

$= 6{,}1$ kW

5) Efisiensi

a) Sudut 45 ° (-)

$$\mu = \frac{4450}{8632{,}8} \ . \ 100\%$$

$= 0{,}5154 \ . \ 100\%$

$= 51\ \%$

b) Sudut 45 ° (+)

$$\mu = \frac{5850}{8632{,}8} \ . \ 100\%$$

$= 0{,}6774 \ . \ 100\ \%$

$= 67\ \%$

c) Sudut 60 ° (-)

$$\mu = \frac{5190}{8632{,}8} \ . \ 100\%$$

$= 0{,}601 \ . \ 100\ \%$

$= 60\ \%$

d) Sudut 60 (+)

$$\mu = \frac{6010}{8632{,}8} \ . \ 100\%$$

$$= \quad 0{,}6961 \ . \ 100\ \%$$
$$= \quad 69\ \%$$

e) Lurus

$$\mu \quad = \quad \frac{6180}{8632{,}8} \ . \ 100\%$$
$$= \quad 0{,}7158 \ . \ 100\%$$
$$= \quad 71\ \%$$

Tabel 3. Hasil Akhir

Sudut	Kecepatan	Torsi	Debit	Head	Tekanan	Spesitik Speed	RPM	Daya Hidraulik	Daya Turbin	Efisiensi
45°(-)	0,5	44,5	0,88	1	9788	887,2	954	8,6	4,4	51 %
45°(+)	0,5	58,5	0,88	1	9788	887,2	954	8,6	5,8	67 %
60°(-)	0,5	51,9	0,88	1	9788	887,2	954	8,6	5,1	60 %
60°(+)	0,5	60,1	0,88	1	9788	887,2	954	8,6	6	69 %
Lurus	0,5	61,8	0,88	1	9788	887,2	954	8,6	6,1	71

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi numerik menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD) pada desain turbin aksial sistem mikrohidro, dapat disimpulkan bahwa variasi sudut sudu dan kecepatan aliran fluida berpengaruh signifikan terhadap performa hidraulik turbin. Perubahan sudut sudu memengaruhi distribusi tekanan dan pola aliran di sekitar runner yang berimplikasi langsung terhadap torsi, daya, serta efisiensi turbin. Hasil analisis menunjukkan bahwa sudut sudu 60° (+) menghasilkan daya maksimum sebesar 6 kW dengan efisiensi 69%, sedangkan konfigurasi lurus memberikan efisiensi tertinggi sebesar 71%. Hal ini menegaskan bahwa desain geometri sudu yang tepat mampu memaksimalkan pemanfaatan energi kinetik fluida dan meminimalkan kehilangan energi akibat turbulensi. Dengan demikian, pengaturan sudut sudu dan kecepatan aliran menjadi faktor penting dalam perancangan turbin aksial untuk meningkatkan efisiensi sistem mikrohidro sebagai solusi energi terbarukan yang efektif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Wiranto. A. (2004). *Penggerak Mula Turbin.* Bandung: Institut Teknologi Bandung.

A, K. (2021). *Hydropower Engineering: Principles and Practices:.* International Journal of Energy Research .

azhari. (2013). *Pengaruh Sudu Pengarah Aliran pada Turbin Aliran Aksial Head Rendah* . 148-151.

Cao, Y. Y. (2016). Optimum design and thermodynamic analysis of a gas turbine and ORC combined cycle with recuperators. 32-41.

Dixon, B. P. (1998). *Fluid Mechanics, Thermodynamics of Turbomachinery.* Oxford: Pergamon Press Ltd. .

Haris, M. A. (2009). *Studi eksperimental perancangan turbin air.* makassar: Fakultas teknik Universutas Hasanuddin.

Irawan, H. &. (2017). Analisis Performansi Sistem Pembangkit Listrik. *JHP17: Jurnal Hasil Penelitian,*, 3(01).

IRENA. (2022). *Renewable Energy Statistics* . International Renewable Energy Agency.

Khattak, M. A. (2016). Common Type of Turbines in Power Plant. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 77 - 100.

L, Z. (2021). *Advances in Hydropower Turbine Design.* Journal of Fluid Mechanics. .

Laksmana, S. C. (2018). Pengaruh Sudut Pengarah Aliran pada Turbin Air. *REM (Rekayasa Energi*, 35-39.

Luknanto., D. (1996). *Turbin Air.* Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.

Mafruddin, d. M. (2017). Pengaruh Bukaan *Guide Vane* Terhadap Kinerja Turbin Pikohidro Tipe Crossflow. *Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro*, 31-37.

Pietersz, R. (2013). Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Optimalisasi Kinerja Turbin Kinetik Roda Tunggal. *Jurnal Rekayasa Mesin Vol.4*, 220-226.

Putra, A. (2024). PENGERTIAN DASAR MEKANIKA FLUIDA : DINAMIKA FLUIDA DALAM. *Jurnal Multidisiplin Saintek*.

Quaranta, E. (2022). The Very Low *Head* Turbine for hydropower generation in existing. *Elsevier*, 1-13.

Raswari. (1986). *Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan: Jilid I*. Jakarta: UI-Press.

Syahrial, A. (2010). *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Irigasi Di Desa Kedai Paya Kabupaten Aceh Barat Daya*. Banda Aceh: Fakultas Teknik Unsyiah.

White, F. M. (2016). *Fluid Mechanics*. McGraw-Hill Education.