

Kajian Numerik Pengaruh Sudut Buka *Guide Vane* terhadap Daya *Output* dan Efisiensi Turbin *Crossflow* pada PLTMH Lubuk Kilangan Kota Padang

Aldi Alfarizi¹, Arwizet K.², Purwantono³, Remon Lapis⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Negeri Padang

e-mail: aldialfarizi2021@gmail.com¹, arwizet@ft.unp.ac.id²,
purwantono@ft.unp.ac.id³, remonlapisa@ft.unp.ac.id⁴

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh sudut bukaan *guide vane* terhadap daya *output* dan efisiensi turbin *crossflow* pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Lubuk Kilangan, Kota Padang. Pendekatan penelitian yang dilakukan melibatkan pemanfaatan metode simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dengan menerapkan model turbulensi k-Epsilon RNG, yang diimplementasikan melalui perangkat lunak Ansys Fluent versi 2023 R2. Langkah simulasi CFD meliputi pembuatan desain menggunakan *software* Solidwork 2020 dengan memvariasikan besar sudut bukaan *guide vane* turbin yaitu sudut 53°, 64°, 75°, dan 86°, kemudian desain diekspor ke *software* Ansys. Selanjutnya, dilakukan proses *meshing* dan *setting boundary condition*. Langkah terakhir yaitu proses *solution* dan *result* untuk menampilkan *output* simulasi. Dari simulasi yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa sudut bukaan *guide vane* berpengaruh terhadap daya *ouput* dan efisiensi turbin *crossflow*, dimana semakin kecil sudut bukaan *guide vane*, daya *output* dan efisiensi turbin semakin meningkat. Daya tertinggi diperoleh pada sudut bukaan 53° yang menghasilkan daya *ouput* sebesar 7,16 kW dan efisiensi 81,1%.

Kata kunci: *Guide Vane, Turbin Crossflow, CFD.*

Abstract

This study aims to analyze the effect of guide vane opening angle on the output power and efficiency of crossflow turbine at Lubuk Kilangan Micro Hydro Power Plant (MHP), Padang City. The research approach involves utilizing the Computational Fluid Dynamic (CFD) simulation method by applying the k-Epsilon RNG turbulence model, which is implemented through Ansys Fluent software version 2023 R2. The CFD simulation steps include design creation using Solidwork 2020 software by varying the turbine guide vane opening angle of 53°, 64°, 75°, and 86°, then the design is exported into Ansys software. Next, the meshing process and boundary condition settings are carried out. The last step is the solution and result process to display the simulation output. From the simulations that have been carried out, it is found that the opening angle of the guide vane affects the output power and efficiency of the crossflow turbine, where the smaller the opening angle of the guide vane, the output power and efficiency of the turbine increases. The highest power is obtained at an opening angle of 53° which produces an output power of 7,16 kW and an efficiency of 81,1%.

Keywords: *Guide Vane, Crossflow Turbine, CFD.*

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik terus meningkat seiring dengan kemajuan dan perkembangan teknologi. Peningkatan kebutuhan energi listrik meliputi sektor industri, transportasi, rumah tangga dan sebagainya. Indonesia merupakan salah satu negara yang

banyak menggunakan energi listrik hampir disegala aspek. Namun, berdasarkan data Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (ESDM), rasio elektrifikasi di Indonesia belum mencapai 100% (baru sekitar 99,63%), artinya masih ada beberapa wilayah yang belum teraliri listrik (Krismadinata et al., 2022). Salah satu upaya yang bisa dilakukan untuk mengatasi masalah ini adalah dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan, di antaranya energi air (Purwantono et al., 2018). Energi air merupakan sumber energi berkelanjutan yang dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan turbin dan generator untuk menghasilkan energi listrik.

Sumatera Barat merupakan salah satu daerah yang memiliki sumber daya energi air yang melimpah (sebesar 1.100 MW). Sumber daya air yang potensial ini, sangat mungkin digunakan sebagai tenaga pembangkit energi listrik. Salah satunya Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). PLTMH merupakan sistem pembangkit listrik berskala kecil yang menggunakan air dalam debit yang kecil sebagai sumber tenaga penggerakannya. (Anisa et al., 2022). Umumnya pembangkit jenis ini menggunakan aliran air sungai, irigasi dan air terjun alam dengan memanfaatkan tinggi terjun (*head*) dan debit aliran air yang memadai (Aspriliansyah & Adiwibowo, 2020).

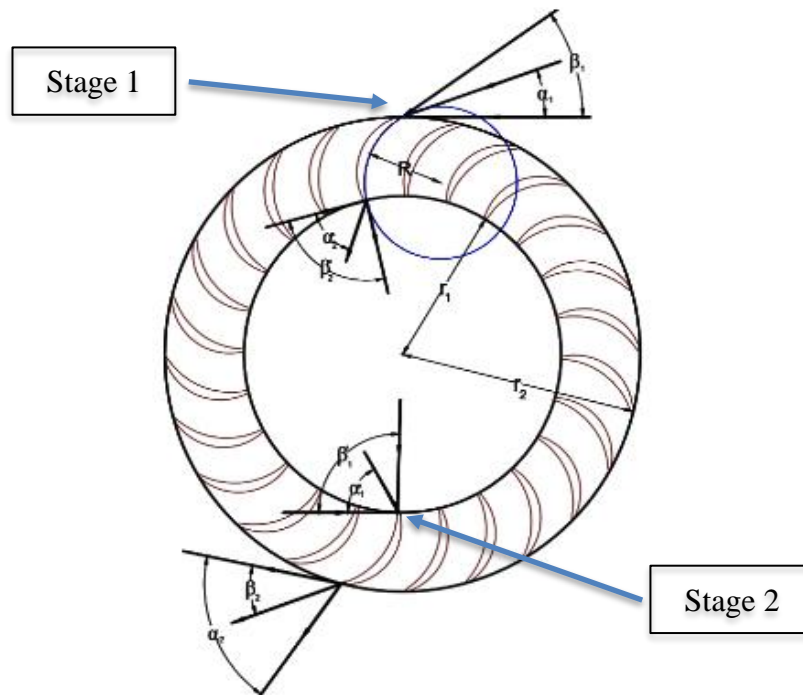
Salah satu pembangkit listrik tenaga mikro hidro yang ada di Sumatera Barat yaitu PLTMH Lubuk Kilangan. PLTMH ini terletak dikawasan Ngalau Baribuik, Batu Gadang Lubuk Kilangan, kota Padang. PLTMH ini menggunakan turbin jenis *crossflow*. Turbin *crossflow* merupakan turbin radial bertekanan kecil dengan poros horizontal. Prinsip kerja turbin air jenis ini adalah aliran air dalam pipa pesat diarahkan ke *runner* turbin melalui *nozle*, kemudian energi di dalam air diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran pada turbin. Rotasi turbin jenis ini digunakan untuk menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik. Turbin *crossflow* memiliki keunggulan karena kesesuaiannya di bawah *head* rendah, serta operasinya yang efisien dalam berbagai variasi aliran (Acharya et al., 2015). Selain itu, proses pembuatannya juga lebih sederhana dibandingkan dengan turbin tipe lain (Nurhuda, 2016).

Dalam prosesnya, kinerja dan efisiensi turbin *crossflow* dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya *guide vane*. *Guide vane* atau katup pengarah merupakan komponen yang berfungsi untuk mengatur serta mengarahkan aliran air yang masuk menuju turbin untuk menggerakkan *runner* (Riadi et al., 2021). Turbin *crossflow* memerlukan sudut bukaan yang tepat agar mendapat daya luaran yang maksimal. Akan tetapi, pengujian secara eksperimental cukup sulit dilakukan yang mana metode eksperimen sering terbentur masalah ketersediaan, presisi dan akurasi alat ukur. Maka dari itu dilakukan penelitian secara numerik dengan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dimana hasil daya *output* eksperimental dan teoritis sebagai acuan.

Computational fluid dynamics merupakan simulasi yang menggunakan bantuan komputer untuk menghasilkan prediksi kuantitatif dan kualitatif atau analisis fenomena aliran fluida. CFD didasarkan pada hukum konservasi seperti konservasi massa, momentum dan energi yang ketika di aplikasikan secara tepat akan menghasilkan hasil yang akurat untuk simulasi aliran dan studi parametrik yang praktis. Dalam CFD, prediksi aliran pada berbagai sistem dapat dilakukan dengan biaya yang lebih murah dan waktu yang lebih singkat.

Turbin Crossflow

Turbin *crossflow* merupakan salah satu jenis turbin implus yang paling umum digunakan dalam pembangkit listrik tenaga air seperti pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Turbin *crossflow* termasuk dalam kategori turbin impuls yang memiliki aliran radial, yaitu tegak lurus terhadap sumbu turbin. Air masuk melalui pipa pancar berbentuk segi empat, dan aliran ini akan melewati bilah turbin dua kali. Pada tahap awal, aliran air memasuki roda dari luar dan bergerak menuju arah tegak lurus terhadap sumbu turbin. Selanjutnya, aliran melalui bagian kosong dari roda gerak dan menghantam sudu untuk kedua kalinya sebelum akhirnya keluar dari turbin (Setiawan, 2020).



Gambar 1. Runner Turbin crossflow

Turbin *crossflow* merupakan alat yang dapat merubah energi pada aliran air menjadi energi mekanik yang memutar putaran poros. Daya suatu turbin *crossflow* dihitung sebagai berikut (Yahya et al., 2024):

Perhitungan daya air (P_{air}).

$$P_{air} = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \quad (1)$$

Dimana:

- P : Daya (watt)
- ρ : Massa jenis air (kg/m^3)
- Q : Debit (m^3/s)
- g : Gaya gravitasi (m/s^2)
- H : *Head* efektif (m)

Perhitungan daya turbin (P_t), dimana η adalah efisiensi teoritis.

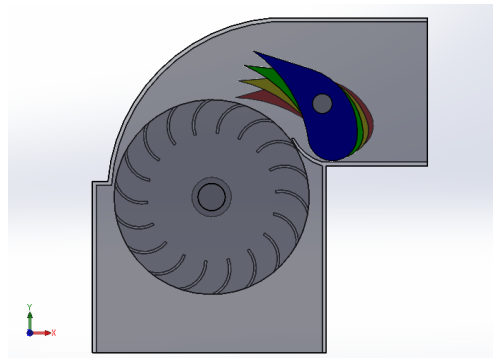
$$P_t = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \cdot \eta_{teoritis} \quad (2)$$

Efisiensi total turbin *crossflow* (η) dapat dihitung menggunakan persamaan.

$$\eta = \frac{P_t}{P_{air}} \times 100\% \quad (3)$$

METODE

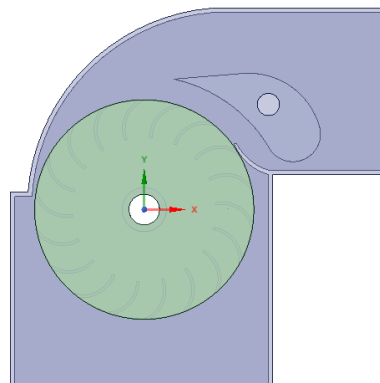
Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah simulasi numerik menggunakan perangkat lunak Ansys Fluent 2023 R2 dan menerapkan model turbulen k-epsilon RNG. Penerapan model simulasi dengan turbulen k-epsilon RNG memberikan gambaran yang lebih rinci tentang fenomena aliran dalam *runner* turbin *crossflow* (Setiawan et al., 2022). Pada penelitian ini, dilakukan variasi sudut bukan *guide vane* untuk melihat pengaruhnya terhadap daya *output* dan efisiensi turbin.



Gambar 2. Variasi Sudut Buka Guide Vane

Pembuatan 3D Model dan *Insert Geometry*

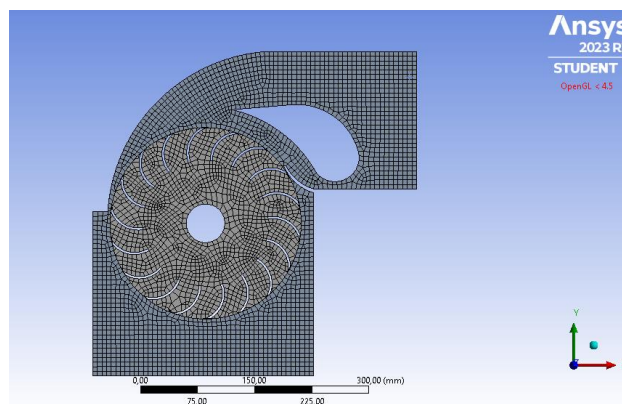
Tahapan pertama yaitu pembuatan 3D model turbin menggunakan *software* Solidwork 2020. Selanjutnya desain akan di ekspor kedalam *software* Ansys Fluent. Berikut gambar dari turbin yang telah disederhanakan untuk proses simulasi.

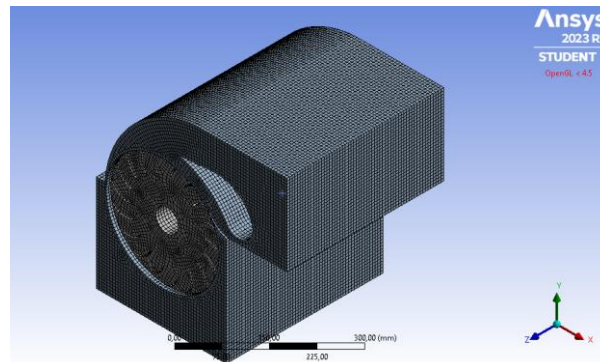


Gambar 3. *Insert Geometry*

Meshing Process

Meshing process merupakan proses membagi struktur komponen yang akan dianalisis menjadi elemen yang lebih kecil guna memudahkan *software* dalam melakukan perhitungan. Hasil *meshing* dapat dilihat pada gambar 4.





Gambar 4. Tampilan Hasil Meshing

Boundary Conditions

Proses pengaturan *boundary conditions* atau kondisi batas dilakukan untuk memodelkan lingkungan agar pengujian mendekati keadaan lingkungan sebenarnya. Proses pengaturan *boundary conditions* meliputi penentuan kondisi batas, penentuan parameter pendukung, penentuan jenis fluida dan massa aliran fluida yang digunakan, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Input Parameter Proses Simulasi

No.	Parameter Data Input	Nilai
1	Massflow inlet	150 kg/s
2	Fluida	Water liquid
3	Massa jenis fluida	1.000 kg/m ³
4	Kecepatan angular	22,38 rad/s
5	Model Turbulence	K-Epsilon RNG

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan metode simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dengan mengatur sudut bukaan *guide vane* 53°, 64°, 75°, dan 86°. Pada hasil *solution* dan *results* diambil data berupa kecepatan *magnitude* air didalam turbin, data torsi, daya *output* dan efisiensi turbin. Hasil data pengujian dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Simulasi Ansys

No.	Analisis	Sudut Bukaan Guide Vane (°)	Head (m)	Debit (m ³ /s)	Kecepatan Magnitude Air (m/s)	Torsi (Nm)	Daya (kW)	Efisiensi Turbin (%)
1	Eksprimental	-	6	0,15	-	-	7	79,2
2	Teoritis	-	6	0,15	9,7	-	7,75	87,84
3	Simulasi Numerik	53°	6	0,15	26,2	320	7,16	81,1
		64°	6	0,15	12,1	127	2,84	32,1
		75°	6	0,15	10,8	94,8	2,12	24
		86°	6	0,15	8,7	78	1,74	19,7

Performasi Turbin Crossflow Secara Teoritis

1. Perhitungan Daya Air

$$\begin{aligned}
 P_{\text{air}} &= \rho g H Q \\
 &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 6 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}^3/\text{s} \\
 &= 8.829 \text{ W} \\
 &= 8,82 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

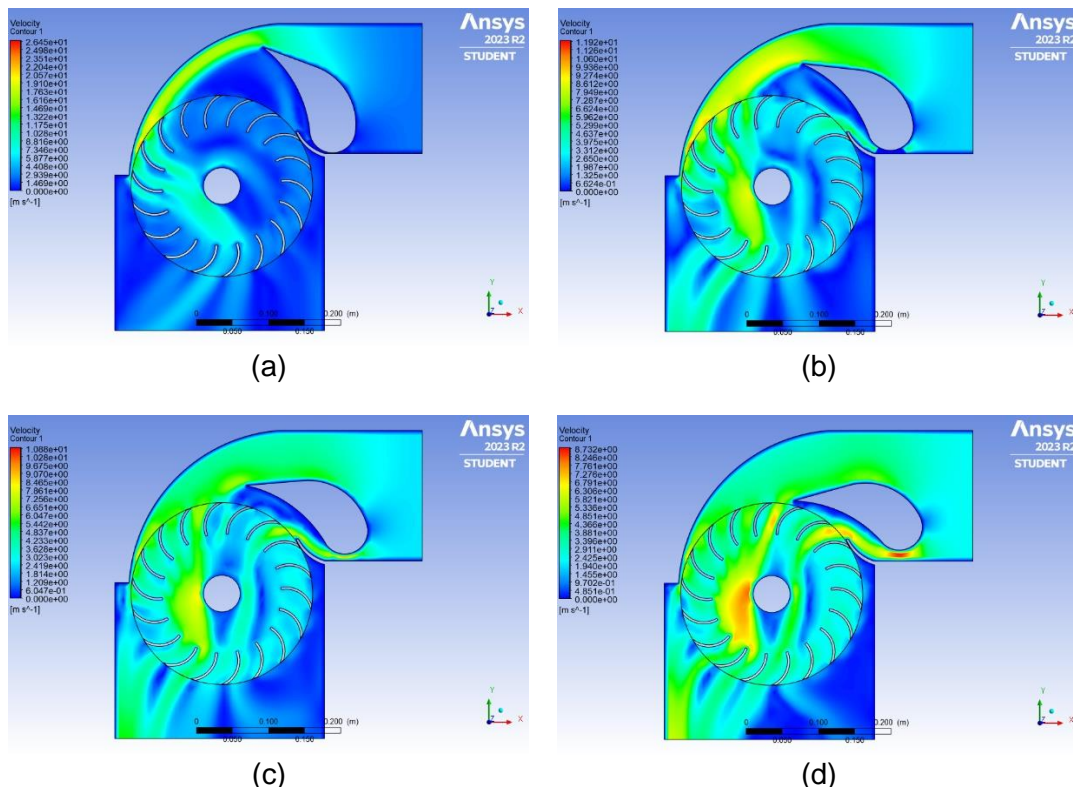
2. Perhitungan Daya Turbin

$$\begin{aligned}
 P_t &= \rho g H Q x \eta \\
 &= 1.000 \text{ kg/m}^3 x 9,81 \text{ m/s}^2 x 6 \text{ m} x 0,15 \text{ m}^3/\text{s} x \eta \\
 &= 8.829 \text{ W} x 87,84 \% \\
 &= 7.755 \text{ W} \\
 &= 7,75 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Performasi Turbin *Crossflow* Secara Numerik Menggunakan Simulasi CFD

1. Hasil Simulasi Kecepatan

Hasil analisis simulasi Ansys kecepatan *magnitude* air turbin *crossflow* telah diketahui. Hasil simulasi ditampilkan berupa *contour* pada *plane* yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini. Pada daerah yang berwarna merah merupakan letak kecepatan *magnitude* maksimal.

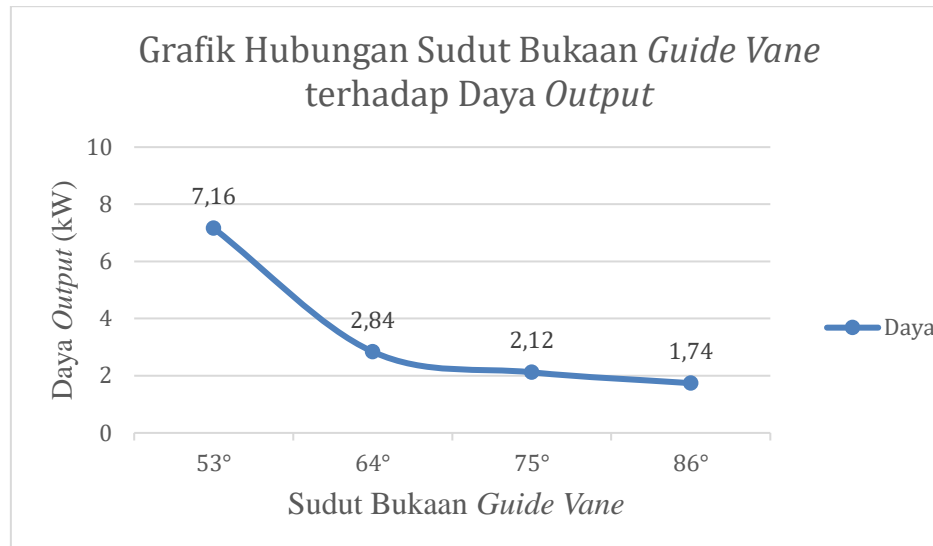


Gambar 5. Countur Kecepatan Magnitude Aliran (a) Sudut Bukaan Guide Vane 53°, (b) Sudut Bukaan Guide Vane 64°, (c) Sudut Bukaan Guide Vane 75°, dan (d) Sudut Bukaan Guide Vane 86°.

Pada analisis numerik, hasil simulasi menunjukkan variasi kecepatan *magnitude* sebagai hasil dari perubahan sudut bukaan *guide vane*. Analisis kecepatan *magnitude* dapat dilihat pada gambar 5. Simulasi numerik menunjukkan perbedaan kecepatan *magnitude* untuk setiap sudut bukaan. Pada sudut bukaan *guide vane* 53°, kecepatan *magnitude* mencapai 26,2 m/s, sementara pada sudut bukaan 64°, kecepatan *magnitude* mencapai 12,1 m/s. Pada sudut bukaan 75°, kecepatan *magnitude* mencapai 10,8 m/s, dan pada variasi sudut bukaan 86°, kecepatan *magnitude* mencapai 8,7 m/s.

2. Hasil Perhitungan Daya Output Turbin *Crossflow*.

Hubungan antara variasi sudut bukaan *guide vane* dengan daya *output* ditunjukkan pada gambar 6.

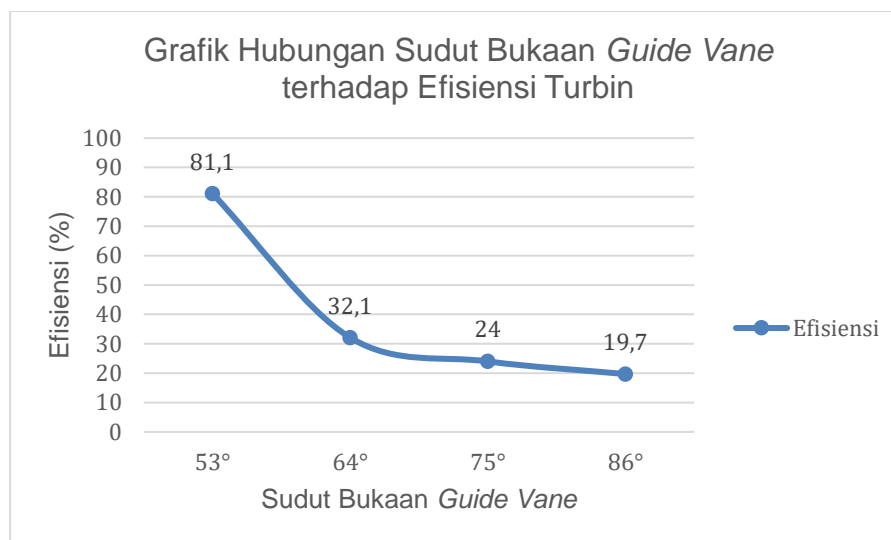


Gambar 6. Grafik Daya Turbin *Crossflow* dengan Variasi Sudut Bukaannya *Guide Vane*.

Berdasarkan analisis dan simulasi Ansys pada gambar di atas, terlihat bahwa perubahan sudut bukannya *guide vane* berpengaruh terhadap daya *output* turbin. Adapun hasil simulasi numerik Ansys menunjukkan bahwa pada sudut bukannya 53°, turbin menghasilkan daya sebesar 7,16 kW, pada sudut bukannya 64°, turbin menghasilkan daya sebesar 2,84 kW, pada sudut bukannya 75°, turbin menghasilkan daya sebesar 2,12 kW, dan pada sudut bukannya 86°, turbin menghasilkan daya sebesar 1,74 kW.

3. Hasil Perhitungan Efisiensi Turbin *Crossflow*

Hubungan antara variasi sudut bukannya *guide vane* dengan efisiensi turbin *crossflow* ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik Efisiensi Turbin *Crossflow* dengan Variasi Sudut Bukaannya *Guide Vane*.

Berdasarkan analisis dan simulasi numerik pada gambar di atas, terlihat bahwa perubahan sudut bukannya *guide vane* berpengaruh terhadap efisiensi turbin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil sudut bukannya *guide vane*, maka efisiensi yang dihasilkan semakin besar. Efisiensi tertinggi diperoleh pada sudut bukannya *guide vane* 53° sebesar 81,1%.

SIMPULAN

Penelitian yang dilakukan menggunakan Ansys Fluent pada turbin *crossflow* PLTMH Lubuk Kilangan, Kota Padang dengan variasi sudut bukaan *guide vane* memberikan pemahaman mengenai kinerja turbin dalam menghasilkan daya. Penelitian menunjukkan bahwa sudut bukaan *guide vane* berpengaruh terhadap daya *output* dan efisiensi turbin. Semakin kecil sudut bukaan *guide vane*, maka daya *output* dan efisiensi turbin juga semakin meningkat. Hal ini terjadi karena semakin kecil sudut bukaan *guide vane* maka kecepatan aliran air menuju *runner* akan semakin besar sehingga putaran *runner* akan semakin tinggi (Mertadiyasa et al., 2020). Peningkatan kecepatan putar *runner* berbanding lurus dengan daya *output* dan efisiensi turbin. Hal ini menunjukkan kompleksitas interaksi antara geometri turbin dan sudut bukaan *guide vane* terhadap aliran fluida. Nilai daya maksimum diperoleh pada turbin dengan sudut bukaan *guide vane* 53°, mencapai daya sebesar 7,16 kW dengan efisiensi sebesar 81,1%. Hasil ini menunjukkan pentingnya optimasi sudut bukaan *guide vane* untuk mencapai performa maksimum dalam menghasilkan daya *output* pada turbin *crossflow*.

DAFTAR PUSTAKA

- Acharya, N., Kim, C.-G., Thapa, B., & Lee, Y.-H. (2015). Numerical analysis and performance enhancement of a cross-flow hydro turbine. *Renewable Energy*, 80, 819–826. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.064>
- Anisa, K. D., K. A., Lapisa, R., & Mulianti, M. (2022). Comparative Study of Numerical and Experimental Analysis of Micro Hydro Power Plant in Nagari Koto Hilalang Solok Regency. *MOTIVECTION: Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 5(1), 47–60. <https://doi.org/10.46574/motivection.v5i1.188>
- Aspriliansyah, I. P., & Adiwibowo, P. H. (2020). SIMULASI NUMERIK PENGARUH KEMIRINGAN SUDUT SUDU BERPENAMPANG PLAT DATAR TERHADAP KINERJA TURBIN ALIRAN VORTEX. 08.
- Edrizal. (19 April 2017). SUMBAR TERANG DENGAN PLTMH "Gerak Cepat Peningkatan Rasio Elektrifikasi". Diakses pada 5 Januari 2024 dari <https://sumbarprov.go.id/home/news/10361-sumbar-terang-dengan-pltmh-gerak-cepat-peningkatan-rasio-elektrifikasi>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (30 Januari 2023). 2023, Indonesia Timur Jadi Target Kejar Rasio Elektrifikasi. Diakses pada 5 Januari 2024.
- Krismadinata, K., Asnil, A., Husnaini, I., Andayono, T., Yandra, M., & Lapisa, R. (2022). Nagari Mandiri Energi dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. *Suluah Bendang: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 22(3), 658. <https://doi.org/10.24036/sb.03430>
- Mafruddin, M., & Marsuki, M. (2017). PENGARUH BUKAAN GUIDE VANE TERHADAP KINERJA TURBIN PIKOHIDRO TIPE CROSS-FLOW. *Turb: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 6(1). <https://doi.org/10.24127/trb.v6i1.464>.
- Mertadiyasa, I. M. D., Wijaya, I. W. A., & Suartika, I. M. (2020). PENGARUH SUDUT BUKAAN GUIDE VANE DAN TEKANAN AIR TERHADAP KECEPATAN PUTAR DAN DAYA OUTPUT PADA PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DENGAN TURBIN CROSSFLOW. 7(4), 7.
- Navis, A., Suryanto, H., & Murdanto, P. (2020). Analysis of the Effect of Guide Vane Opening Variations and Total Blades on Cross Flow Turbine Performance Using Computational Fluid Dynamic. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*, 4(2), 72–81. <https://doi.org/10.17977/um016v4i22020p072>
- Nurhuda, A. (2016). PERANCANGAN TURBIN CROSSFLOW UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO BUKIT BIOBIO. 12.
- Riadi, D., Lapisa, R., Nurdin, H., & Mulianti, M. (2021). ANALISIS KECEPATAN AIR MASUK TERHADAP BUKAAN GUIDE VANE TURBIN CROSSFLOW SKALA PICO HYDRO DENGAN SIMULASI CFD. *Jurnal Vokasi Mekanika (VoMek)*, 3(3), 94–101. <https://doi.org/10.24036/vomek.v3i3.232>.

- Setiawan, H. (2020). PENGARUH PANJANG GUIDE VANE TERHADAP UNJUK KERJA SIMULATOR TURBIN AIR CROSS-FLOW.
- Setiawan, J., Darmawan, S., & Tanujaya, H. (2022). Komparasi Simulasi CFD Pada Turbin Cross-Flow Dengan Model Turbulen $k-\epsilon$ STD dan RNG $k-\epsilon$. *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, 153–162. <https://doi.org/10.35814/asiimetrik.v4i1.3100>.
- Yahya, F., Apriani, Y., Saleh, Z., & Lestari, A. I. (2024). EVALUASI KINERJA TURBIN CROSSFLOW DENGAN JUMLAH SUDU 35. 1.