KAJIAN NUMERIK PENGARUH VARIASI HEAD PADA TURBIN AIR CROSSFLOW TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI MENGGUNAKAN METODE SIMULASI NUMERIK COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

Abdurrahman Zikra[1], Arwizet K[1], Yolli Fernanda[1], Fitrah Qalbina[1]

Universitas Negeri Padang
E-mail : abdurrahmanzikra26@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia memiliki banyak daerah aliran sungai dengan kondisi topografi yang ditandai oleh perbedaan elevasi. Sebagian daerah tersebut berada di kawasan wisata yang relatif jauh dari pemukiman sehingga ketersediaan energi listrik menjadi salah satu kebutuhan yang perlu diperhatikan. Pemanfaatan potensi energi aliran sungai dapat menjadi alternatif untuk memenuhi kebutuhan listrik, baik sebagai sumber penerangan maupun untuk mengisi daya perangkat elektronik. Salah satu upaya yang dapat diterapkan adalah pengembangan turbin air berukuran kecil yang bersifat portabel, ringan, mudah dipindahkan, dan dapat diproduksi dalam jumlah banyak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi tinggi jatuh air (*head*) terhadap karakteristik aliran, torsi, daya mekanis, dan efisiensi turbin air *crossflow* menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Simulasi dilakukan pada model tiga dimensi turbin *crossflow* dengan variasi *head* 1, 2, 3, 4, dan 5 m. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan *head* menyebabkan peningkatan kecepatan aliran, tekanan, torsi, dan daya mekanis turbin. Nilai torsi meningkat dari 0,4400 Nm pada *head* 1 m menjadi 2,2723 Nm pada *head* 5 m, sedangkan daya mekanis meningkat dari 8,1187 W menjadi 93,7778 W. Efisiensi turbin berturut-turut sebesar 6,7661%, 6,8902%, 6,9436%, 6,9750%, dan 6,9899%. Hasil *velocity contour* menunjukkan bahwa kecepatan maksimum meningkat dari sekitar 5,48 m/s pada *head* 1 m menjadi 12,30 m/s pada *head* 5 m. Sementara itu, *pressure contour* menunjukkan peningkatan tekanan maksimum dari $1{,}52 \times 10^4$ Pa menjadi $7{,}63 \times 10^4$ Pa. Pada *head* 1 m ditemukan pola resirkulasi dan *vortex* yang lebih luas, sedangkan pada *head* 5 m aliran menjadi lebih terarah menuju *runner*. Berdasarkan hasil penelitian, *head* 5 m menghasilkan kinerja terbaik pada rentang variasi yang dianalisis, meskipun efisiensi maksimum masih berada di bawah 7%.

Kata Kunci : *Turbin crossflow, torsi, daya mekanis, Computational Fluid Dynamics (CFD).*

ABSTRACT

Indonesia possesses numerous river basins characterized by varying topographical elevations. Some of these areas are located in tourist zones relatively far from residential settlements, making the availability of electrical energy a critical consideration. Harnessing the energy potential of river flows offers an alternative for meeting electricity needs, whether for lighting or charging electronic devices. One viable approach is the development of small-scale water turbines that are portable, lightweight, easy to transport, and suitable for mass production. This study aims to analyze the effect of varying water head heights on the flow characteristics, torque, mechanical power, and efficiency of a crossflow water turbine using the Computational Fluid Dynamics (CFD) method. Simulations were conducted on a three-dimensional crossflow turbine model with head variations of 1, 2, 3, 4, and 5 meters. The simulation results indicate that increasing the head leads to higher flow velocity, pressure, torque, and mechanical power. Torque values rose from 0.4400 Nm at a 1 m head to 2.2723 Nm at a 5 m head, while mechanical power increased from 8.1187 W to 93.7778 W. Turbine efficiencies were recorded as 6.7661%, 6.8902%, 6.9436%, 6.9750%, and 6.9899%, respectively. Velocity contour results show that the maximum velocity increased from approximately 5.48 m/s at a 1 m head to 12.30 m/s at a 5 m head. Meanwhile, pressure contours indicate a rise in maximum pressure from 1.52×10^4 Pa to 7.63×10^4 Pa. At a 1 m head, more extensive recirculation and vortex patterns were observed, whereas at a 5 m head, the flow was more directed toward the runner. Based on the study results, the 5 m head yielded the best performance within the analyzed range, although the maximum efficiency remained below 7%.

Keywords : *Crossflow turbine, torque, mechanical power, Computational Fluid Dynamics (CFD).*

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan penduduk, perkembangan ekonomi, dan aktivitas industri. Di sisi lain, ketergantungan terhadap sumber energi fosil menimbulkan berbagai permasalahan, terutama berkaitan dengan keterbatasan sumber daya dan dampak lingkungan. Kondisi tersebut mendorong pengembangan sumber energi baru dan terbarukan sebagai alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi secara berkelanjutan. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi untuk dikembangkan adalah energi air, termasuk melalui pembangkit listrik tenaga air skala kecil dan mikrohidro (IESR, 2023).

Energi air dapat dimanfaatkan melalui perbedaan elevasi dan karakteristik aliran untuk menghasilkan energi mekanik maupun listrik. Pada sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro, turbin berfungsi mengubah energi hidrolik menjadi energi mekanik pada poros yang selanjutnya dapat dikonversi menjadi energi listrik. Salah satu jenis turbin yang dapat diterapkan pada pembangkit berskala kecil adalah turbin *crossflow*. Turbin *crossflow* memiliki konstruksi yang relatif sederhana dan dapat digunakan pada sistem pembangkit dengan kondisi hidraulik tertentu. Pemanfaatan turbin *crossflow* pada skala laboratorium maupun sistem mikrohidro telah dikaji dalam beberapa penelitian sebelumnya ((Ahyadi et al., 2022)).

Kinerja turbin *crossflow* dipengaruhi oleh kondisi hidraulik aliran yang masuk ke dalam turbin. Salah satu parameter penting adalah tinggi jatuh air atau *head*, yang menentukan besarnya energi potensial yang tersedia dan berpengaruh terhadap kecepatan aliran menuju *runner*. Perubahan *head* dapat menyebabkan perubahan pada kecepatan dan tekanan aliran, interaksi fluida dengan sudu, torsi, daya mekanik, serta efisiensi turbin. Penelitian (Ho-Yan & Lubitz, 2011) menunjukkan bahwa karakteristik performa turbin *cross-flow* perlu dievaluasi pada kondisi *low head* dan variasi debit untuk mengetahui kemampuan turbin dalam menghasilkan daya pada kondisi hidraulik tertentu.

Metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik aliran sekaligus memprediksi parameter kinerja turbin. (Suryono & Nusantara, 2017) melakukan simulasi turbin *crossflow* dengan jumlah sudu sebanyak 18 menggunakan CFD Fluent. Penelitian tersebut menggunakan konfigurasi *inlet*, *outlet*, *fluid rotate*, dan *wall*, dengan *fluid rotate* diatur menggunakan kondisi *moving reference frame*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa simulasi CFD dapat digunakan untuk memperoleh parameter kecepatan rotasi, momen, dan daya turbin. Penggunaan konfigurasi 18 sudu pada penelitian tersebut juga memiliki kesesuaian dengan jumlah sudu pada geometri turbin yang digunakan dalam penelitian ini.

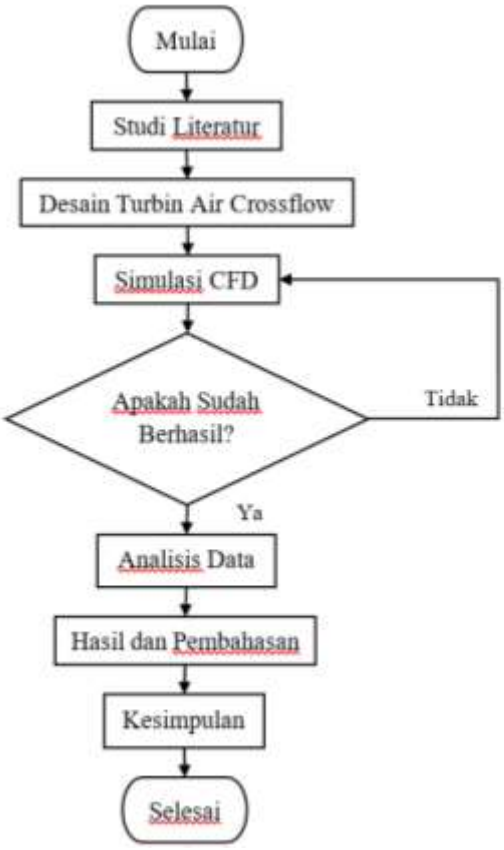
Penelitian lain dilakukan oleh (Triyono et al., 2024) pada turbin *crossflow* portabel untuk pembangkit listrik tenaga pikohidro. Penelitian tersebut menggunakan simulasi CFD untuk mengidentifikasi karakteristik aliran dan mengevaluasi kekurangan rancangan turbin portabel. Pada kondisi *head* 3 m dan debit sekitar 3,08 L/s, penelitian tersebut menghasilkan daya poros sebesar 29,09 W pada putaran 579 rpm dengan efisiensi 30,19%. Hasil analisis pola aliran juga menunjukkan adanya penurunan kecepatan ketika aliran berinteraksi dengan sudu turbin, sehingga karakteristik aliran dapat digunakan sebagai dasar evaluasi dan pengembangan desain turbin.

Meskipun penelitian mengenai turbin *crossflow* telah dilakukan dengan berbagai pendekatan, kajian numerik yang secara khusus memetakan pengaruh variasi *head* terhadap torsi, daya mekanis, efisiensi, serta karakteristik *velocity*, *pressure*, dan *streamline* pada satu konfigurasi geometri turbin masih diperlukan. Penelitian sebelumnya telah membahas performa *crossflow* pada kondisi *low head*, penggunaan 18 sudu dalam simulasi CFD, serta pengembangan turbin *crossflow* portabel. Namun, hubungan antara variasi *head* 1–5 m dengan perubahan parameter kinerja dan karakteristik aliran internal pada geometri turbin yang digunakan dalam penelitian ini belum dikaji secara khusus.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi *head* sebesar 1, 2, 3, 4, dan 5 m terhadap karakteristik aliran dan kinerja turbin air *crossflow* menggunakan metode CFD. Parameter kinerja yang dianalisis meliputi torsi, kecepatan sudut, daya mekanis, dan efisiensi, sedangkan karakteristik aliran dianalisis melalui *velocity contour*, *pressure contour*, dan *velocity streamline*. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran kuantitatif mengenai perubahan performa turbin akibat variasi *head* sekaligus menjelaskan hubungan antara karakteristik aliran internal dengan parameter kinerja turbin.

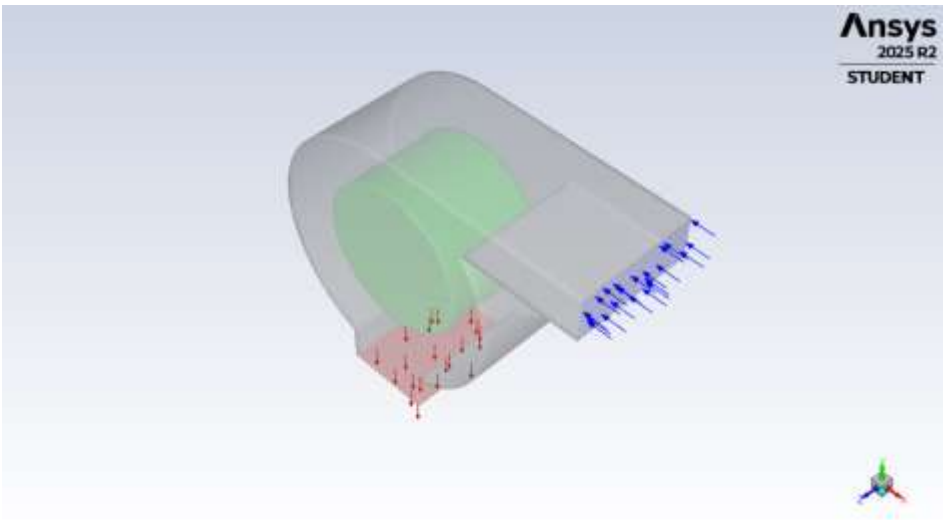
METODE

Metodologi penelitian disusun secara sistematis untuk memperoleh hasil simulasi yang dapat digunakan dalam menganalisis pengaruh variasi *head* terhadap kinerja turbin. Tahapan penelitian meliputi studi literatur, pemodelan geometri, penentuan parameter simulasi, proses simulasi CFD, serta pengolahan dan analisis hasil.



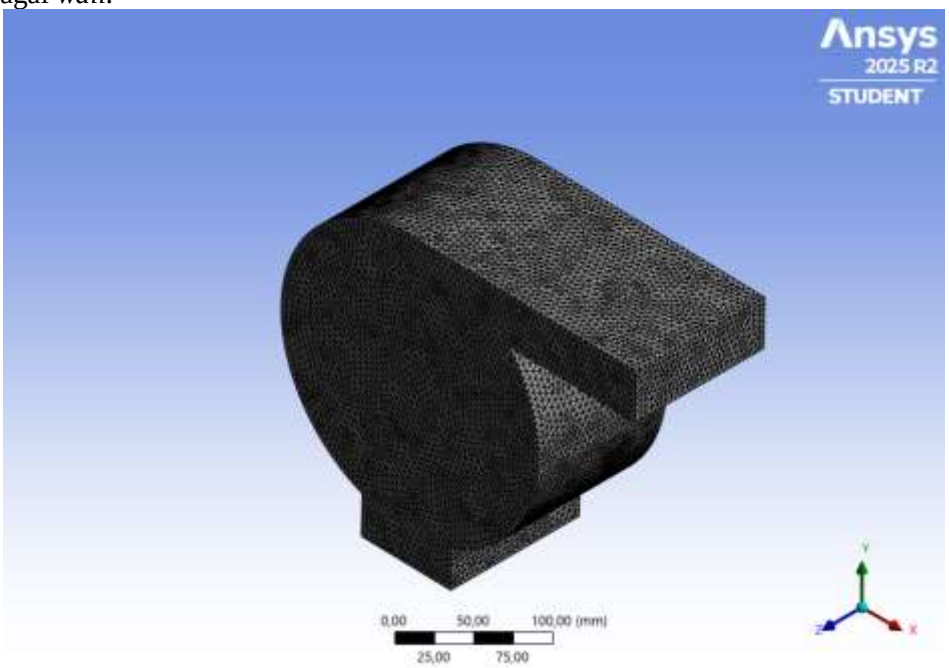
Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode simulasi numerik *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Objek penelitian berupa turbin air *crossflow* tiga dimensi yang dimodelkan menggunakan *SolidWorks* 2023 dan dianalisis menggunakan *ANSYS Fluent* 2025 R2 *Student Version*.



Gambar 2. Geometri Dan Domain Turbin *Crossflow*

Gambar 2. menunjukkan geometri dan domain turbin yang terdiri dari *inlet* yang menjadi tempat masuknya aliran air, *outlet* atau saluran keluaran aliran air serta parameter tekanannya yaitu tekanan atmosfir, dan *rotating zone* yaitu daerah yang mengalami perputaran atau rotasi, serta rumah turbin yang ditetapkan sebagai *wall.*



Gambar 3. *Meshing* Turbin *Crossflow*

Proses *meshing* dilakukan pada domain *inlet*, *outlet*, *rotating zone*, dan *wall*. Uji independensi *grid* dilakukan menggunakan lima variasi ukuran *mesh*, yaitu 6; 5,5; 5; 4,5; dan 4 mm. Berdasarkan hasil pengujian, *mesh* berukuran 4,5 mm dengan jumlah 625.102 *cells* digunakan dalam simulasi karena memberikan *error* sebesar 2,003%.

Tabel 1. Dimensi Turbin *Crossflow*

No	Parameter	Nilai
1	Diameter rumah turbin	240 mm
2	Diameter dalam	135 mm
3	Diameter poros	30 mm
4	Diameter inlet	59,35 mm
5	Diameter outlet	94,36 mm
6	Jumlah sudu	18 buah

Parameter fluida dan model turbulensi yang digunakan dalam simulasi ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter simulasi CFD

No	Parameter	Nilai
1	Fluida	Air
2	Densitas	998,2 kg/m³
3	Viskositas dinamik	$1{,}003 \times 10^{-3}$ kg/(m·s)
4	Model turbulensi	*k-omega SST*

Sudu turbin yang berjumlah 18 ditetapkan sebagai *wall* dengan kondisi *moving wall* dan bergerak secara rotasional relatif terhadap *adjacent cell zone*. Area fluida di sekitar sudu ditetapkan sebagai *rotating zone* menggunakan *moving reference frame* untuk merepresentasikan kondisi rotasi *runner* selama simulasi. Kondisi batas pada *inlet* ditetapkan sebagai *velocity inlet*, sedangkan *outlet* menggunakan *pressure outlet* dengan *gauge pressure* sebesar 0 Pa. Kecepatan *inlet* untuk *head* 1, 2, 3, 4, dan 5 m masing-masing sebesar 4,4294; 6,2641; 7,6720; 8,8588; dan 9,9045 m/s.

Proses penyelesaian numerik menggunakan skema *coupled* dengan metode diskritisasi *second-order upwind*. Inisialisasi dilakukan menggunakan metode *hybrid initialization*. Nilai torsi diperoleh melalui *report definition* pada permukaan sudu turbin. Hasil simulasi selanjutnya digunakan untuk memperoleh parameter kinerja berupa torsi, kecepatan sudut, daya mekanis, dan efisiensi serta untuk menganalisis karakteristik aliran melalui visualisasi *velocity contour*, *pressure contour*, dan *velocity streamline*.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Torsi, Daya, dan Efisiensi

Hasil simulasi menunjukkan adanya peningkatan torsi secara konsisten seiring dengan bertambahnya *head*. Pada variasi *head* 1, 2, 3, 4, dan 5 m, torsi yang dihasilkan masing-masing sebesar 0,4400; 0,8961; 1,3545; 1,8139; dan 2,2723 Nm. Sejalan dengan peningkatan torsi, kecepatan sudut turbin juga meningkat dari 18,46 rad/s pada *head* 1 m menjadi 41,27 rad/s pada *head* 5 m. Peningkatan *head* menghasilkan energi hidrolik yang lebih besar sehingga gaya tangensial yang bekerja pada *runner* meningkat dan menghasilkan torsi yang lebih tinggi.

Tabel 3. Hasil Simulasi Pada Setiap Variasi *Head*

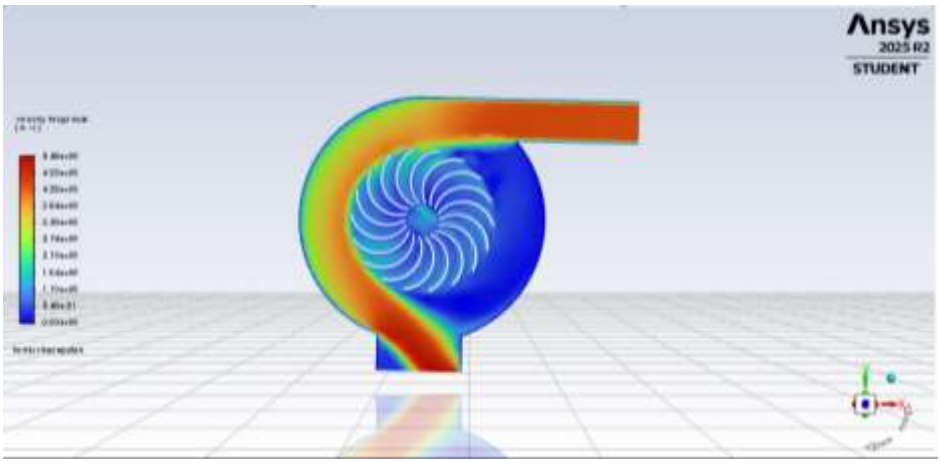
Head (M)	Torsi (Nm)	Ω (Rad/S)	Putaran (Rpm)	Daya Mekanis (Watt)	Efisiensi (%)
1	0,4400	18,46	176,2	8,1187	6,7661
2	0,8961	26,10	249,2	23,3854	6,8902
3	1,3545	31,97	305,3	43,2946	6,9436
4	1,8139	36,91	352,5	66,9578	6,9750
5	2,2723	41,27	394,1	93,7778	6,9899

Peningkatan daya mekanis yang diperoleh lebih signifikan dibandingkan peningkatan torsi. Hal ini disebabkan oleh daya mekanis yang merupakan fungsi dari torsi dan kecepatan sudut, sehingga peningkatan kedua parameter tersebut secara bersamaan menghasilkan kenaikan daya yang lebih besar. Pada *head* 1 m, daya mekanis yang dihasilkan sebesar 8,1187 Watt, kemudian meningkat menjadi 23,3854 Watt pada *head* 2 m, 43,2946 Watt pada *head* 3 m, dan 66,9578 Watt pada *head* 4 m. Nilai daya mekanis tertinggi diperoleh pada *head* 5 m, yaitu sebesar 93,7778 Watt.

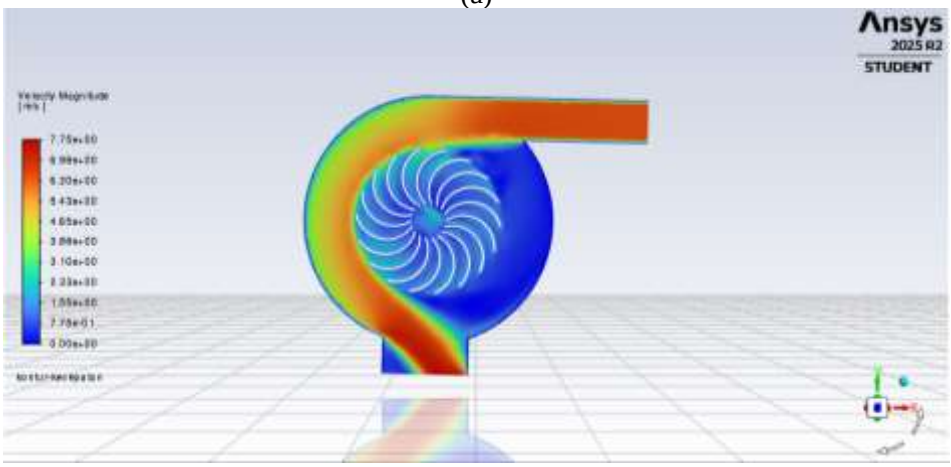
Berbeda dengan daya mekanis turbin, peningkatan efisiensi relatif kecil meskipun nilai *head* mengalami kenaikan. Efisiensi pada *head* 1, 2, 3, 4, dan 5 m masing-masing sebesar 6,7661%, 6,8902%, 6,9436%, 6,9750%, dan 6,9899%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan *head* memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap peningkatan daya mekanis dibandingkan terhadap efisiensi turbin. Meskipun demikian, efisiensi tetap menunjukkan kecenderungan meningkat pada seluruh variasi *head* yang dianalisis.

Pengaruh *Head* terhadap Kecepatan dan Tekanan Aliran

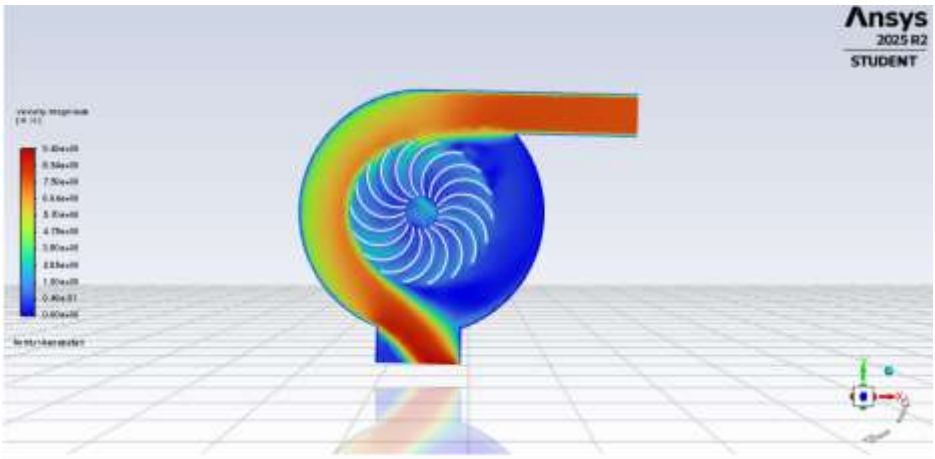
Hasil *velocity contour* menunjukkan bahwa peningkatan *head* berpengaruh terhadap kenaikan kecepatan aliran *jet* pada daerah *inlet*. Kecepatan maksimum pada variasi *head* 1, 2, 3, 4, dan 5 m masing-masing sekitar 5,48; 7,75; 9,49; 11,00; dan 12,30 m/s.



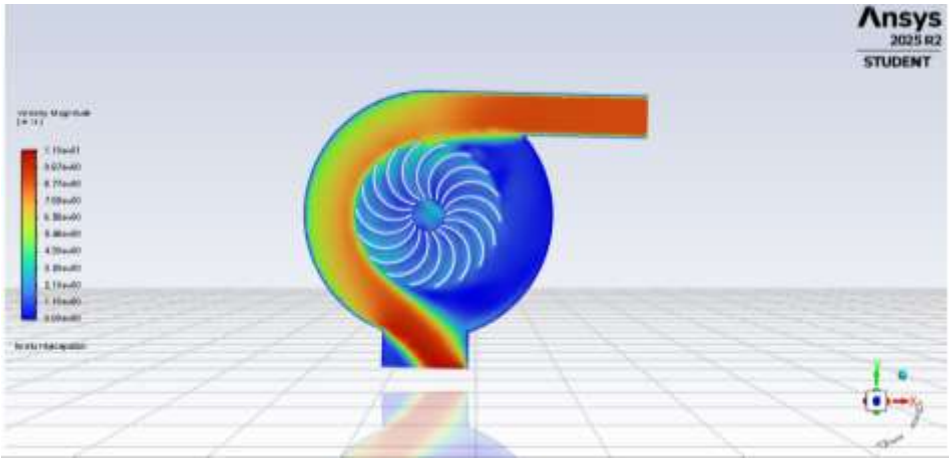
(a)



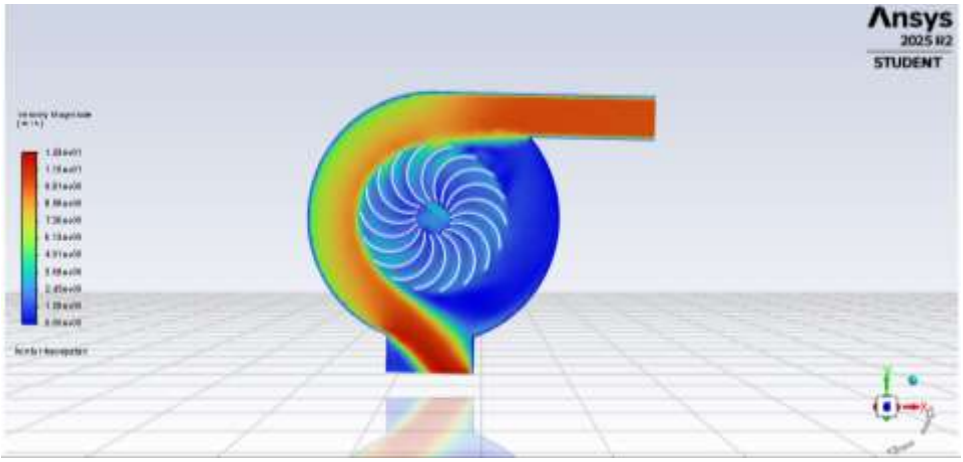
(b)



(c)



(d)

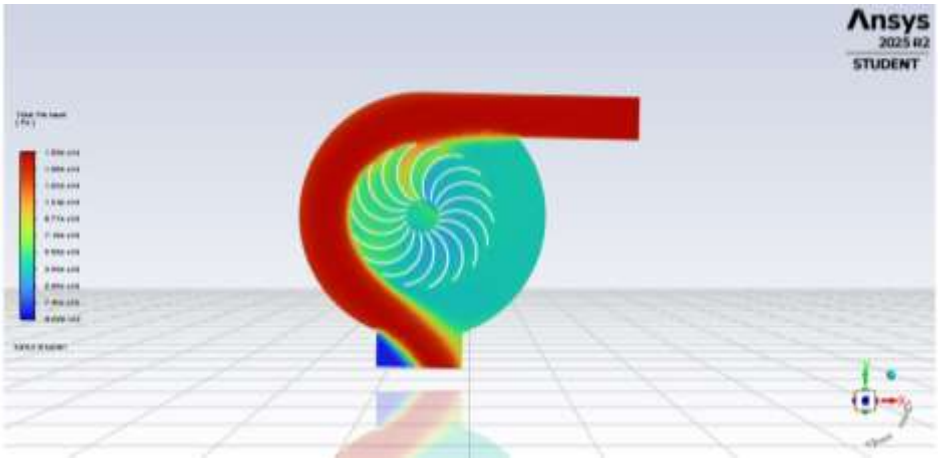


(e)

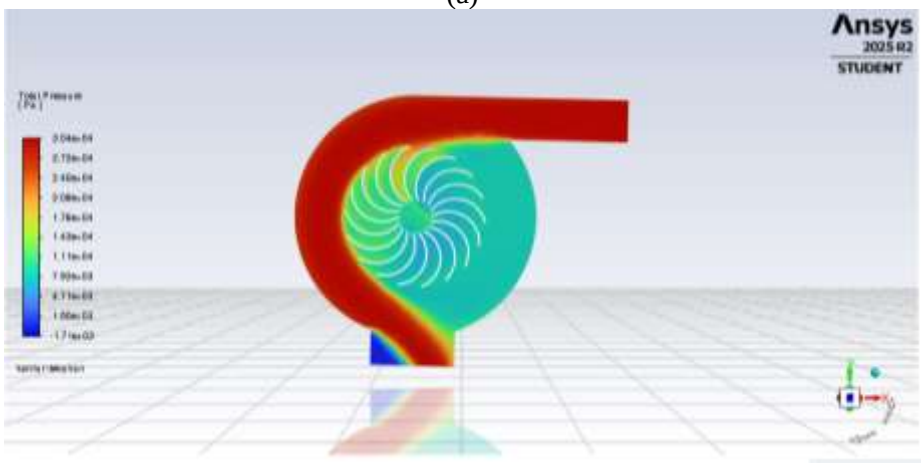
Gambar 4. *Velocity contour* pada variasi *head*: (a) 1 m, (b) 2 m, (c) 3 m, (d) 4 m, dan (e) 5 m

Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa semakin besar *head*, semakin tinggi energi potensial yang dikonversi menjadi energi kinetik pada aliran masuk. Pada *head* 5 m, daerah dengan kecepatan tinggi terlihat lebih terkonsentrasi pada saluran masuk dan mengarah menuju *runner*. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa aliran memiliki momentum yang lebih besar ketika berinteraksi dengan sudu. Sebaliknya, pada *head* 1 m, kecepatan aliran relatif lebih rendah dan distribusinya cenderung lebih menyebar di area *runner*.

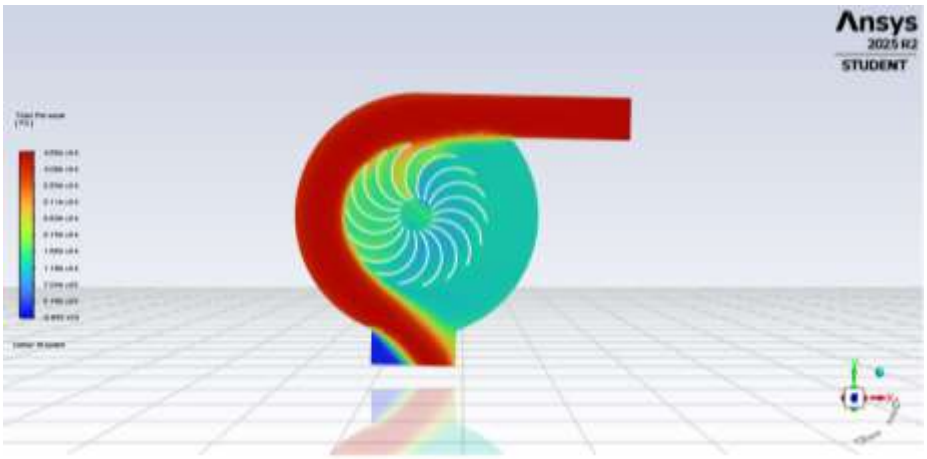
Hasil *pressure contour* juga menunjukkan peningkatan tekanan seiring dengan bertambahnya *head*. Tekanan maksimum meningkat dari $1{,}52 \times 10^4$ Pa pada *head* 1 m menjadi $7{,}63 \times 10^4$ Pa pada *head* 5 m. Sementara itu, tekanan maksimum pada *head* 2, 3, dan 4 m masing-masing sebesar $3{,}04 \times 10^4$, $4{,}56 \times 10^4$, dan $6{,}10 \times 10^4$ Pa.



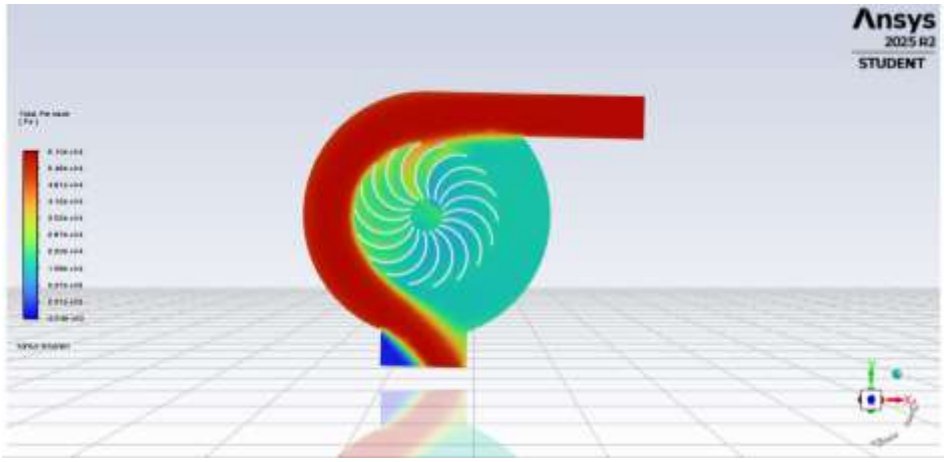
(a)



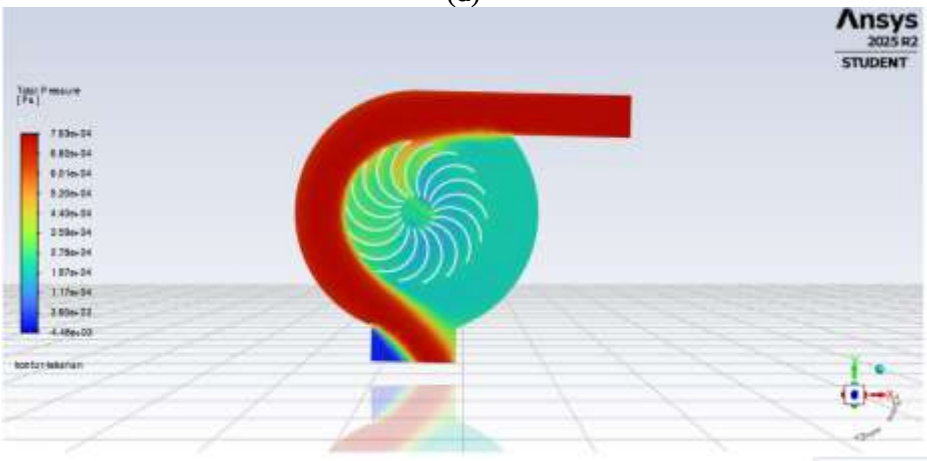
(b)



(c)



(d)



(e)

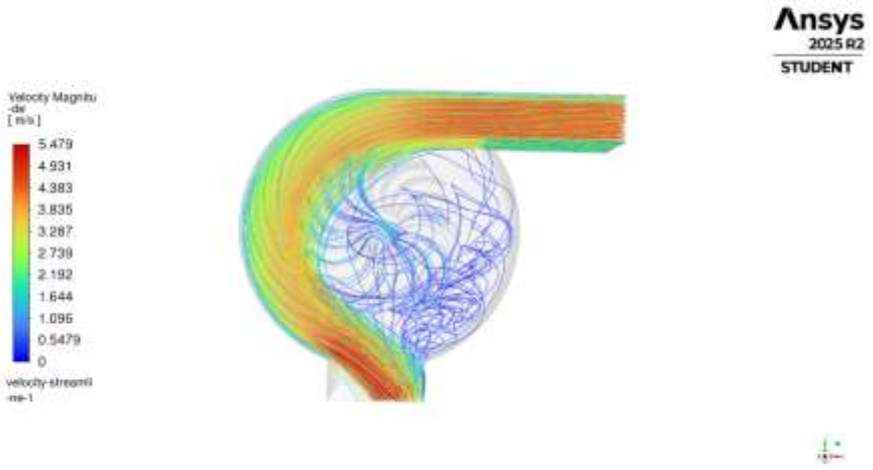
Gambar 5. *Pressure contour* pada variasi *head*: (a) 1 m, (b) 2 m, (c) 3 m, (d) 4 m, dan (e) 5 m

Peningkatan tekanan tersebut menunjukkan bahwa bertambahnya *head* menyebabkan energi hidrolik yang tersedia pada sisi masuk turbin menjadi lebih besar. Distribusi tekanan pada permukaan sudu juga menunjukkan adanya perubahan gaya yang diberikan fluida terhadap sudu selama proses interaksi aliran.

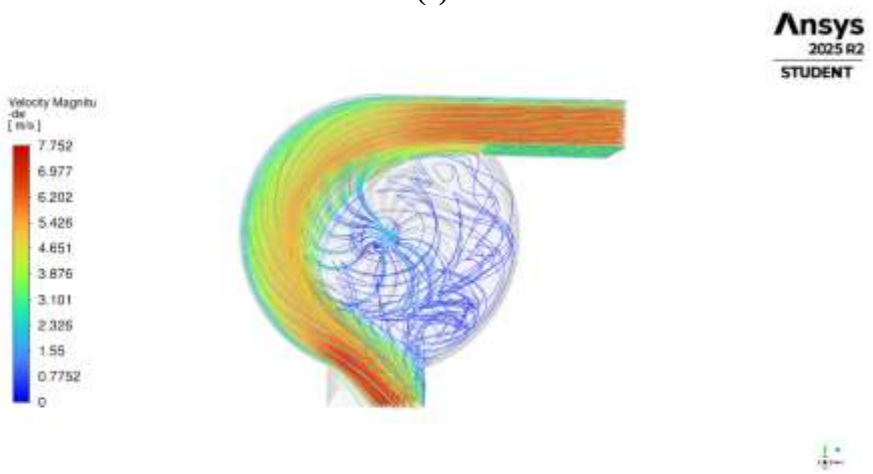
Secara keseluruhan, peningkatan *head* menyebabkan perubahan pada karakteristik kecepatan dan tekanan aliran di dalam turbin. *Head* yang lebih tinggi menghasilkan aliran dengan kecepatan dan momentum yang lebih besar serta tekanan yang lebih tinggi pada daerah masuk turbin. Kondisi tersebut menghasilkan aliran *jet* yang lebih terarah menuju *runner*, sehingga interaksi antara aliran dan sudu menjadi lebih kuat.

Analisis *Velocity Streamline*

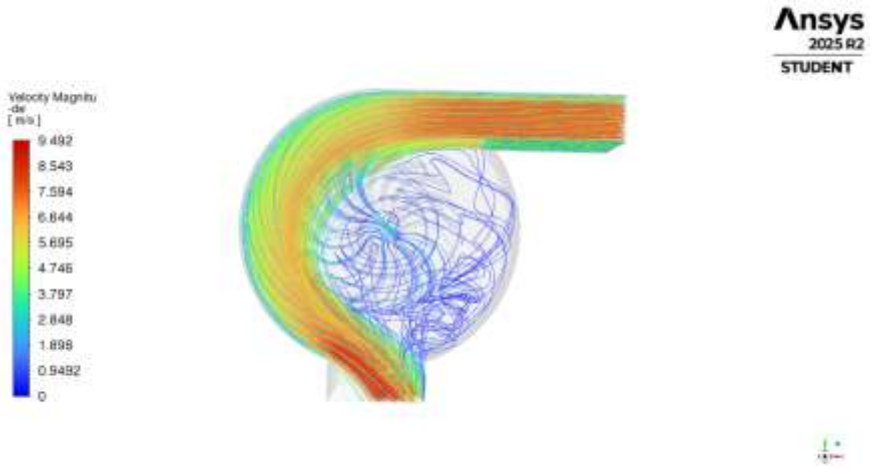
Visualisasi *velocity streamline* digunakan untuk mengamati arah, lintasan, dan pola pergerakan fluida selama mengalir melalui turbin. Pada kondisi *head* 5 m, garis aliran terlihat lebih rapat dan memiliki arah yang lebih teratur menuju *runner*, dengan kecepatan maksimum sekitar 12,27 m/s. Pola tersebut menunjukkan bahwa peningkatan *head* menghasilkan aliran dengan momentum yang lebih besar sehingga fluida dapat mengikuti lintasan sudu dengan lebih baik.



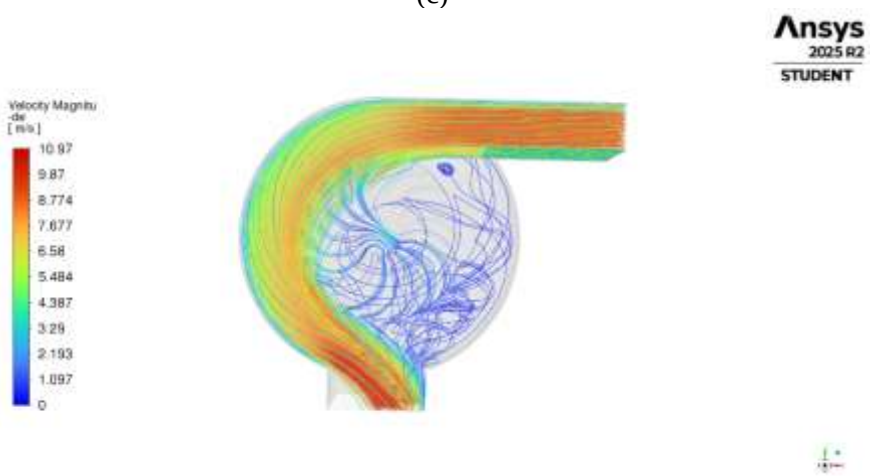
(a)



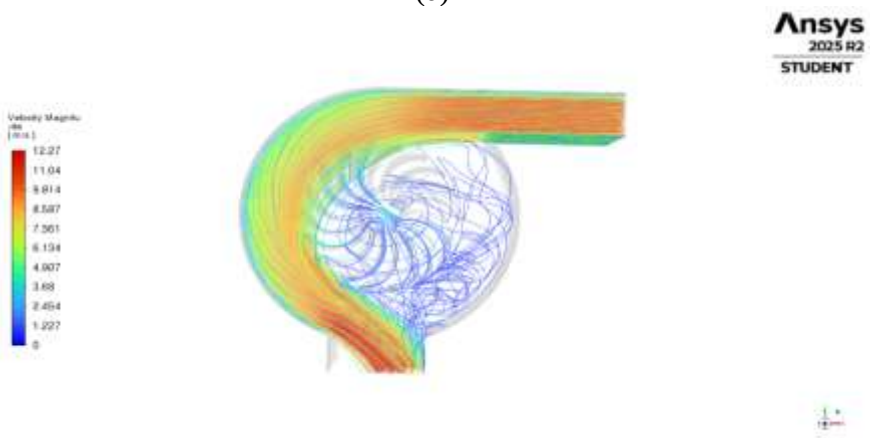
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 6. *Velocity streamline* pada variasi *head*: (a) 1 m, (b) 2 m, (c) 3 m, (d) 4 m, dan (e) 5 m

Seiring dengan penurunan *head*, intensitas aliran juga mengalami penurunan. Pada *head* 4, 3, dan 2 m, kecepatan maksimum masing-masing mencapai sekitar 10,97; 9,492; dan 7,752 m/s. Pada *head* 1 m, pola *streamline* terlihat lebih menyebar dan kurang terarah ketika memasuki area *runner*. Selain itu, terlihat daerah resirkulasi dan *vortex* yang lebih luas pada bagian interior *runner*. Kondisi tersebut mengindikasikan adanya bagian aliran yang tidak berkontribusi secara optimal terhadap transfer momentum menuju sudu.

Berdasarkan hasil visualisasi, peningkatan *head* tidak hanya memengaruhi besarnya kecepatan aliran, tetapi juga pola dan arah pergerakan fluida di dalam turbin. Kondisi *head* 5 m menghasilkan aliran yang relatif lebih terarah dengan intensitas yang lebih tinggi sehingga lebih mendukung proses transfer momentum dari fluida menuju *runner*. Sebaliknya, *head* yang lebih rendah cenderung menghasilkan aliran yang kurang terarah dan memiliki area resirkulasi yang lebih besar.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi numerik menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD), variasi *head* 1–5 m memberikan pengaruh terhadap karakteristik aliran dan kinerja turbin air *crossflow*. Peningkatan *head* menyebabkan peningkatan kecepatan aliran dan tekanan pada daerah *inlet* serta *runner*. Kecepatan maksimum meningkat dari sekitar 5,48 m/s pada *head* 1 m menjadi 12,30 m/s pada *head* 5 m, sedangkan tekanan maksimum meningkat dari $1{,}52 \times 10^4$ Pa menjadi $7{,}63 \times 10^4$ Pa.

Peningkatan *head* juga menghasilkan peningkatan torsi dan daya mekanis. Torsi meningkat dari 0,4400 Nm pada *head* 1 m menjadi 2,2723 Nm pada *head* 5 m, sedangkan daya mekanis meningkat dari 8,1187 Watt menjadi 93,7778 Watt. Efisiensi turbin berturut-turut sebesar 6,7661%, 6,8902%, 6,9436%, 6,9750%, dan 6,9899%, sehingga *head* 5 m merupakan kondisi dengan kinerja terbaik pada rentang variasi yang diteliti.

Analisis *velocity streamline* menunjukkan bahwa *head* 5 m menghasilkan aliran yang lebih terfokus dan terarah menuju *runner*, sedangkan pada *head* 1 m terdapat daerah resirkulasi dan *vortex* yang lebih luas. Kondisi tersebut mengindikasikan adanya pengaruh karakteristik aliran internal terhadap kinerja turbin. Meskipun *head* 5 m menghasilkan performa tertinggi, efisiensi maksimum masih berada di bawah 7%, sehingga optimasi geometri turbin dan sistem pengarah aliran masih dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Ahyadi, H., Prasetyo, D. A., Belakang, L., & Air, P. T. (2022). ANALISA RANCANG BANGUN TURBIN CROSS-FLOW SALURAN TERBUKA DENGAN DEBIT AIR 14 LITER / MENIT SKALA LABORATORIUM. *Presisi*, *24*(2), 1–10.

Haryadi, D. S., Mahmudi, A., dan Sugianto. 2023. "Studi Pengaruh Debit dan Jenis Runner terhadap Efisiensi Turbin Vorteks PLTPH." *Jurnal Permadi Perancangan, Manufaktur, Material dan Energi*, Vol. 5, No. 2, pp. 66–77.

Ho-Yan, B., & Lubitz, W. D. (2011). Performance Evaluation of Cross-Flow Turbine for Low Head Application. *Proceedings of the World Renewable Energy Congress – Sweden, 8–13 May, 2011, Linköping, Sweden*, *57*, 1394–1399. https://doi.org/10.3384/ecp110571394

IESR, "Indonesia Energy Transition Outlook 2023: Tracking Progress of Energy Transition in Indonesia: Pursuing Energy Security in the Time of Transition," 2023, p. Please cite this report as: IESR (2022). Indonesia. [Online]. Available: www.irena.org

Irawan, H. (2016). Unjuk Kerja Turbin Air Cross Flow Dengan Metode Taguchi. *Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Roda Jalan Terhadap Unjuk Kerja Turbin Air Cross Flow Dengan Metode Taguchi*, *02*(01), 16–23.

Kitahora, T. (1997). Application Head. Turbomachinery(TSJ), 25(4), 200-204.

Mafrudin, dan Irawan, D. 2014. "Pembuatan Turbin Mikrohidro Tipe Cross-Flow sebagai Pembangkit Listrik di Desa Bumi Nabung Timur." *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 3(116), 7–12.

Prasetyo, A., Sihole, A. T. P., Khairunisa, M. D., Najibbulloh, M., & Atmayati, Ra. (2025). Implementasi Software Solidworks dalam Perancangan Produksi Lemari untuk Efisiensi Waktu Produksi. *SCIENTIFIC JOURNAL OF REFLECTION : Economic, Accounting, Management and Business*, *8*(1), 164–169. https://doi.org/10.37481/sjr.v8i1.1030

Rao, G. J., Prasad, R., & Rao, J. K. S. (1988). Investigation of an axial flow runner for micro hydro power development. In Proceedings of 8th fluid machinery conference, Budapest, Hungary (pp. 616-23).

Setiawan, D., Rahman, Y. A., Vauzia, F., dan Kurnia, D. 2023. "Pelatihan Perencanaan dan Pengujian Performa Turbin *Crossflow* Offgrid pada Pelatihan Perencanaan PLTMH Program ISED di Laboratorium Hidro Hycom Pemerintah Republik Indonesia."

Suripto, H., et al. 2020. "Analisis Kecepatan Masuk Sudut Runner Turbin *Cross Flow* dengan Simulasi CFD." *Jurnal Aptek*, No. 1, pp. 39–44.

Suryono, E., & Nusantara, A. E. B. (2017). Simulasi Turbin Crossflow Dengan Jumlah Sudu 18 Sebagai Pembangkit Listrik Picohydro. *Simetris : Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, *8*(2), 547. https://doi.org/10.24176/simet.v8i2.1412

Tirono, M. (2012). Pemodelan Turbin Cross-Flow Untuk Diaplikasikan Pada Sumber Air Dengan Tinggi Jatuh dan Debit Kecil. Jurnal Neutrino.

Triyono, B., Yudrika, M. A., & Setiawan, D. (2024). Simulasi Turbin Portabel Jenis Cross Flow Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH). *Jurnal Crankshaft*, *7*(1), 45–55. https://doi.org/10.24176/crankshaft.v7i1.11975