

SIMULASI NUMERIK VARIASI SUDUT SUDU BERPENAMPANG V TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN *CROSSFLOW* POROS HORIZONTAL

Ilham Lantip Permadi

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: ilham.17050754004@mhs.unesa.ac.id

Priyo Heru Adiwibowo

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id

Abstrak

Energi merupakan faktor terbesar pendorong kemajuan suatu negara. Akibatnya manusia kini semakin mengembangkan energi alternatif yang ramah lingkungan dan sumbernya terbarukan (renewable). Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil yang memanfaatkan energi potensial air. Turbin *crossflow* air adalah salah satu komponen PLTMH yang berfungsi mengubah energi potensial yang dimiliki air menjadi energi kinetik sehingga menghasilkan listrik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi sudut sudu berpenampang v terhadap daya dan efisiensi turbin *crossflow* poros horizontal. Penelitian ini menggunakan metode simulasi numerik untuk mengetahui daya dan efisiensi pada turbin dengan memvariasikan sudut sudu sebesar 120°, 117,5°, 115°, 112,5° dan 110° berpenampang v. Variasi kapasitas air sebesar 9,572 L/s, 11,024 L/s, 14,322 L/s, 16,152 L/s, dan 18,113 L/s dan variasi bilangan *Reynolds* $7,94 \times 10^4$, $9,14 \times 10^4$, $1,18 \times 10^5$, $1,33 \times 10^5$, $1,50 \times 10^5$. Pada penelitian ini turbin dengan variasi sudut sudu 112,5° kapasitas 18,113 L/s memiliki daya tertinggi sebesar 5,019 Watt. Efisiensi yang paling optimum pada variasi sudut sudu 112,5° kapasitas 9,572 L/s menghasilkan efisiensi sebesar 58,60%. Pada simulasi ini juga menunjukkan hasil performa turbin melalui *velocity contour*, dan *velocity streamline*. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa dengan memvariasikan sudut sudu berpenampang v dapat mempengaruhi hasil kinerja turbin *crossflow*. Semakin besar kecepatan pada sudu maka daya yang dihasilkan akan semakin besar dan mengakibatkan pengaruh pada nilai efisien yang diberikan pada daya dan efisiensi turbin. Dari hasil *velocity contour* percepatan air disekeliling turbin berbeda-beda pada tiap variasi sudut sudu yang ditunjukkan dengan perubahan warna dari biru hingga menuju merah, masing-masing memiliki karakteristik aliran yang sama namun memiliki hasil kecepatan aliran yang berbeda. Sedangkan pada hasil *velocity streamline* menunjukkan hasil kecepatan aliran berupa garis, garis yang mengalir melewati turbin berwarna biru menunjukkan bahwa aliran tersebut mengalami *stagnasi* dan berangsur berwarna biru muda didekat turbin yang menandakan terjadinya perubahan kecepatan aliran didekat turbin, aliran yang lebih banyak menjangkau sudu-sudu turbin akan menggerakkan lebih banyak sudu sehingga kinerjanya lebih tinggi, dan ketika garis tidak saling menyatu maka menandakan pengurangan kecepatan pada aliran.

Kata Kunci: *Crossflow*, Daya, Efisiensi, Sudut sudu berpenampang v, Simulasi, Turbin.

Abstract

Energy is the biggest driving factor for the progress of a country. As a result, humans are increasingly developing environmentally friendly alternative energy sources that are renewable. Micro Hydro Power Plants (PLTMH) are small-scale power plants that harness the potential energy of water. Crossflow water turbines are components of PLTMH that convert the potential energy of water into kinetic energy, thereby generating electricity. The purpose of this study is to determine the effect of varying the blade angle with a V-shaped profile on the power and efficiency of horizontal shaft crossflow turbines. This research uses numerical simulation methods to determine the power and efficiency of turbines by varying the blade angles at 120°, 117.5°, 115°, 112.5°, and 110° with a V-shaped profile. Variations in water capacity are 9.572 L/s, 11.024 L/s, 14.322 L/s, 16.152 L/s, and 18.113 L/s, and Reynolds number variations are 7.94×10^4 , 9.14×10^4 , 1.18×10^5 , 1.33×10^5 , and 1.50×10^5 . In this study, the turbine with a blade angle variation of 112.5° and a capacity of 18.113 L/s achieved the highest power output of 5.019 Watts. The most optimal efficiency was observed at a blade angle variation of 112.5° and a capacity of 9.572 L/s, yielding an efficiency of 58.60%. The simulation also shows the turbine's performance through velocity contour and velocity streamline. The simulation results demonstrate that varying the V-shaped blade angle can influence the performance of crossflow turbines. Higher blade velocities result in greater power output and affect the efficiency values of the turbine. Velocity contour results show varying water acceleration around the turbine, indicated by color changes from blue to red, each with similar flow characteristics but different velocity outcomes. Velocity streamline results illustrate flow velocities as lines; blue lines passing through the turbine indicate stagnation, while lighter blue near the turbine signifies changes in flow velocity. Flow reaching more turbine blades moves more of them, increasing overall performance. Lines that do not converge indicate reduced flow velocity.

Keywords: *Crossflow*, Power, Efficiency, V-section blade angle, Simulation, Turbine.

PENDAHULUAN

Dengan meningkatnya permintaan akan energi terbarukan, banyak negara dan komunitas telah memulai transisi mereka ke sumber daya yang berkelanjutan (Adiwibowo & Zohri, 2023). Energi air merupakan salah satu energi yang dapat dijadikan sebagai energi terbarukan dan dapat dimanfaatkan maupun diubah menjadi energi listrik yang akan terus menghasilkan tenaga non-stop serta ketersediaannya terus dihasilkan oleh adanya siklus hidrologi. Selain itu negara Indonesia adalah negara maritim yang memiliki potensi besar untuk pengembangan listrik tenaga air, dikarenakan kondisi topografi dialiri oleh banyak sungai dan daerah-daerah tertentu mempunyai danau yang cukup potensial sebagai sumber energi air. Salah satunya pada pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Lubis, 2007).

Menurut (Adiwibowo dkk, 2022) Crossflow turbine digunakan secara luas dalam sistem pembangkit listrik skala kecil karena fleksibilitasnya yang relatif dalam berbagai tinggi dan debit air, desain sederhana, konstruksi yang kokoh, dan daya tahan yang baik. Turbin crossflow bekerja secara fundamental berbeda dari turbin Pelton dan Francis, di mana pada setiap turbin crossflow terjadi dua kali di antara bilah-bilahnya. Namun, daya yang dihasilkan oleh turbin crossflow cenderung rendah, sehingga turbin crossflow perlu dikembangkan dengan menambahkan bilah pengganggu, dengan variasi rasio panjang bilah pengganggu yang akan digunakan dalam penelitian ini memiliki nilai 0,25, 0,375, dan 0,5 dengan kapasitas dan beban yang berbeda-beda.

Pemakaian jenis turbin *crossflow* lebih menguntungkan dibandingkan dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikrohidro lain. Salah satu contohnya adalah daya guna atau efisiensi rata-rata turbin ini lebih tinggi dari pada daya guna kincir air. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik turbin *Ossberger* menyimpulkan bahwa daya guna kincir air jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70% sedangkan efisiensi turbin *crossflow* mencapai 82%. Tingginya efisiensi turbin *crossflow* ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin ini dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu saat air mulai masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan meninggalkan runner. Kerja air yang bertingkat ini ternyata memberikan keuntungan dalam hal efektifitas yang tinggi dan kesederhanaan pada sistem keluaran air dari runner. (Figueiredo & Martins, 2010).

Salah satu bentuk energi yang dapat dimanfaatkan adalah energi potensial air, dan penggunaan turbin vortex sangat berguna untuk memaksimalkan potensinya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan daya dan efisiensi yang dihasilkan dari optimum luas aliran reaksi bilah turbin tipe vortex dengan bagian lintang bilah yang lurus. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yaitu dengan membuat turbin tipe vortex dengan bagian lintang bilah lurus yang memiliki rasio area bilah (BR) 0,90, 0,95, dan 1. Variasi beban yang digunakan adalah peningkatan 5000 gram pada poros putaran turbin. Pengujian akan dilakukan untuk mendapatkan daya dan efisiensi aliran vortex. Daya tertinggi dihasilkan oleh

turbin dengan rasio bilah 0,90, yang terjadi pada kapasitas 12.341 L/s dengan beban 40.000 gram, menghasilkan daya sebesar 44,44 watt. Efisiensi tertinggi dihasilkan oleh turbin dengan rasio bilah 0,90 yang terjadi pada kapasitas 10.803 L/s dengan beban 45.000 gram, memiliki efisiensi sebesar 53,82%. (Adiwibowo & Wailanduw, 2020)

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Endarti & Adiwibowo, 2018) yang berjudul “Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Panjang Sudu Pengganggu Dengan Sudu Utama Setengah Lingkaran Terhadap Kinerja Turbin *Crossflow* Poros Horizontal” penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan memvariasikan rasio panjang sudu pengganggu dengan sudu utama setengah lingkaran terhadap turbin *crossflow* poros horizontal. Variasi rasio panjang sudu pengganggu yang akan digunakan pada penelitian ini memiliki nilai 1 : 4, 1,5 : 4, dan 2 : 4 yang akan diuji. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 memiliki daya tertinggi yang dihasilkan pada kapasitas 18,113 L/s, dengan daya turbin sebesar 4,461 Watt pada pembebanan 9000 gram. Efisiensi tertinggi juga dihasilkan oleh turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 pada kapasitas 11,024 L/s, dengan nilai efisiensi sebesar 96,20% pada pembebanan 5000 gram. Hasil eksperimental menunjukkan bahwa rasio bilah pengganggu sebesar 0,375 menghasilkan kinerja optimal dalam hal daya dan efisiensi. Daya tertinggi yang dihasilkan adalah 4,461 watt, pada beban 9000 g dan kapasitas 18,113 L/s, sedangkan efisiensi tertinggi mencapai 96,20%, dengan beban 5000 g dan kapasitas 11,024 L/s. Turbin ini mampu memanfaatkan aliran air dengan baik pada bilah utama dan bilah pengganggu sehingga menghasilkan dorongan besar dan mampu memutar turbin dengan putaran tinggi serta torsi besar.

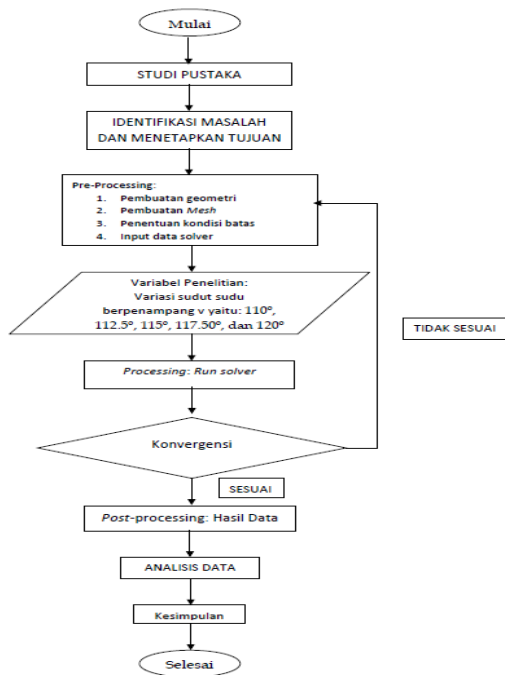
Penelitian yang dilakukan oleh (Febrianto, M., & Adiwibowo, P. 2023). Yang berjudul ” Eksperimental Pengembangan Variasi Sudut Sudu Berpenampang V Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin *Crossflow* Poros Horizontal” Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan memvariasikan sudut sudu sebesar 120°, 130°, 140°, dan 150° dengan model penampang berbentuk v pada turbin *crossflow* poros horizontal. Jumlah sudu yang digunakan adalah 6 yang akan diuji dengan variasi kapasitas air sebesar 9,5715 L/s, 11,0231 L/s, 14,3205 L/s, 16,1506 L/s, dan 18,1116 L/s dan variasi pembebanan pula. Hasil dari penelitian ini pada variasi sudut sudu 120°, 130°, 140°, dan 150° didapatkan daya turbin maksimum yang dihasilkan pada sudut sudu 120° pada kapasitas 18,1116 L/s sebesar 2,498 Watt dengan pembebanan 4000 gram dan memiliki ketahanan pembebanan hingga 1000 gram. Sedangkan efisiensi turbin optimum dihasilkan dari pada sudut sudu 120° pada kapasitas 9,5715 L/s sebesar 90,94% dengan pembebanan 4000 gram dan memiliki ketahanan pembebanan hingga 6000 gram.

Beberapa peneliti terdahulu sudah banyak yang melakukan inovasi dengan tujuan mendapatkan hasil kinerja turbin yang optimal, tetapi masih belum ada peneliti yang melakukan penelitian tentang pengaruh variasi sudut sudu berpenampang v terhadap daya dan

efisiensi turbin *crossflow* dengan poros horizontal menggunakan metode simulasi.

METODE

• **Diagram Alir Penelitian**



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

• **Jenis Penelitian**

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode simulasi numerik. dengan menggunakan simulasi numerik berbasis komputasi CFD ini mempermudah peneliti untuk mendapatkan parameter-parameter hasil pengujian tanpa eksperimen aktual dan parameter-parameter hasil yang bisa didapat lebih banyak dibanding dengan eksperimen uji aktual serta dapat memvisualisasikan karakteristik tiap aliran.

• **Variabel Penelitian**

Penelitian ini terdiri dari beberapa variabel yaitu;

Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah model turbin *crossflow* dengan variasi sudut sudu 120°, 117,5°, 115°, 112,5° dan 110°

Variabel Terikat

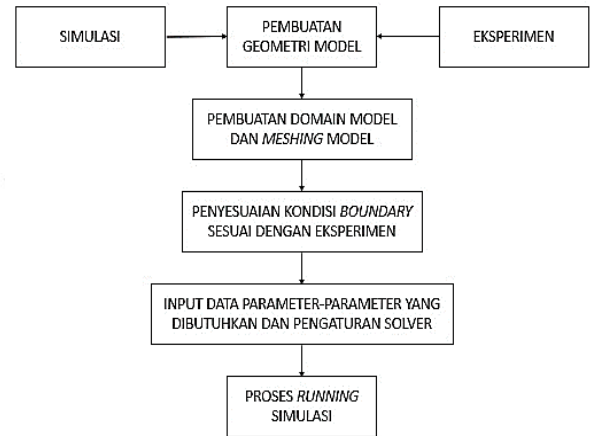
Variabel terikat dalam penelitian ini adalah daya, efisiensi yang dihasilkan oleh turbin *crossflow*, *Velocity contour* turbin *crossflow*, *Velocity streamline* turbin *crossflow*.

Variabel Kontrol

- Jumlah sudu pada turbin air.
- Kondisi fluida yang digunakan.

- Variasi bilangan *Reynolds* yang digunakan adalah $7,94 \times 10^4$, $9,14 \times 10^4$, $1,18 \times 10^5$, $1,33 \times 10^5$, $1,50 \times 10^5$.
- Kapasitas atau debit aliran air selama pengujian yaitu sebesar 9,572 L/s, 11,024 L/s, 14,322 L/s, 16,152 L/s, dan 18,113 L/s.
- Kecepatan aliran pada simulasi ini adalah 0,499 m/s, 0,574 m/s, 0,746 m/s, 0,841 m/s, dan 0,943 m/s.

• **Skema Simulasi**

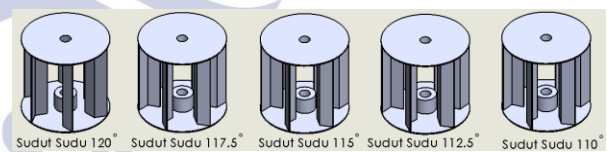


Gambar 2. Skema Simulasi

• **Teknik Pengumpulan Data**

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan tahap-tahapan sebagai berikut:

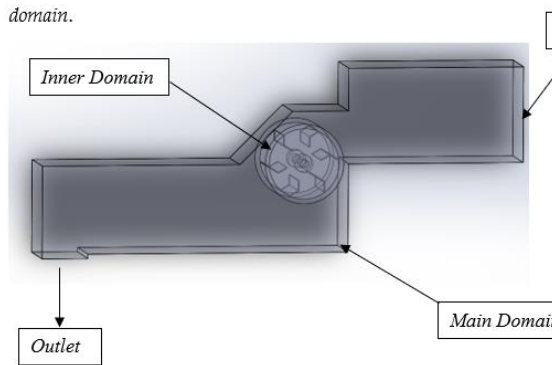
- *Pre-processing*
 - Penggambaran geometri
Proses penggambaran geometri menggunakan software *Solidworks* 2016 untuk pembuatan model turbin *crossflow*.



Gambar 1. Hasil Pemodelan Turbin *Crossflow*

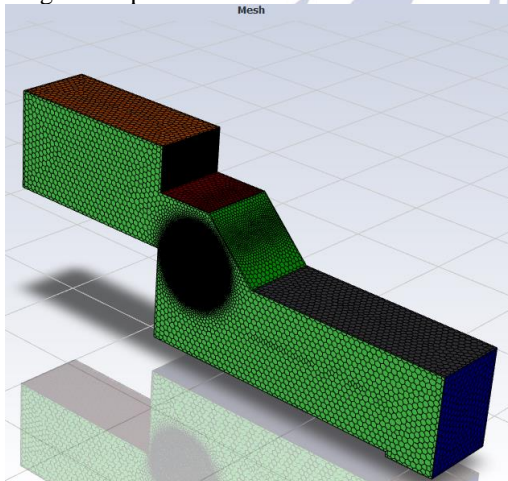
Pembuatan Domain

Proses pembuatan *domain* dengan software *ansys* 2020 R1 serta memanfaatkan fitur software tambahan yaitu *SpaceClaim Geometry*,



Gambar 2. Domain Turbin Crossflow

- Pembuatan *Meshing*
Meshing yang digunakan pada simulasi ini berbentuk *polyhexcore* dimana tipe *mesh* ini sangat baik pada simulasi turbin air.



Gambar 3. Hasil Volume Mesh Turbin Crossflow

- Penentuan *Solver*
Solver setting pada simulasi ini menggunakan tipe *solver* 3D. Model turbulensi yang digunakan adalah *k-omega standart*. Pada kondisi *boundary*, *inlet* dianggap sebagai “*velocity inlet*”, sedangkan *outlet* dianggap sebagai “*outflow*”.

- *Processing/Solving*
Pada tahap *processing*, semua kondisi sudah di *setting* sedemikian rupa dan kemudian akan dilakukan proses iterasi hingga tercapainya hasil yang *convergen*,
- *Post-processing*
Pada tahap *post-processing* hasil yang ditampilkan berupa data perhitungan terkait data distribusi gaya dan tekanan.
- Validasi Data
Pada tahap validasi data ini hasil dari perhitungan ditampilkan dalam bentuk visual atau gambar berupa kontur kecepatan dan garis *streamline* kecepatan

- Validasi Model Turbulensi

Tabel 1. Validasi Model Turbulensi

No	Penelitian	Variasi Sudut Sudu 110 ^o	
		Daya Turbin (Watt)	Error (%)
1	Eksperimen	0,52	
2	Kepsilon Standard	0,47	9,61
3	Kepsilon RNG	0,45	13,46
4	Kepsilon Reliaezble	0,46	11,53
5	Komega Standard	0,55	5,76
6	Komega BSL	0,60	15,38
7	Komega STT	0,56	7,69

- *Grid Independence Test*

Tabel 2. Validasi *Grid Independence Test*

No	Grid	Jumlah Nodes	Daya Turbin (Watt)	Error (%)
1	1	178157	0,39	24,97
2	2	177371	0,40	23,07
3	3	176484	0,57	9,61
4	4	159113	0,35	32,69
5	5	133895	0,33	36,53

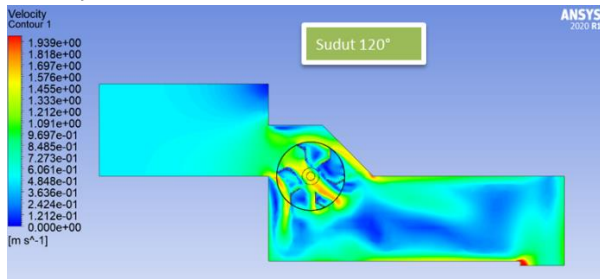
- **Teknik Analisa Data**

Penelitian ini diadakan guna mengetahui pengaruh variasi sudut sudu berpenampang v terhadap daya dan efisiensi turbin *crossflow* poros horizontal tersebut dengan menganalisa dalam bentuk 3D kemudian disajikan dalam bentuk kontur distribusi kecepatan dan garis *streamline* aliran.

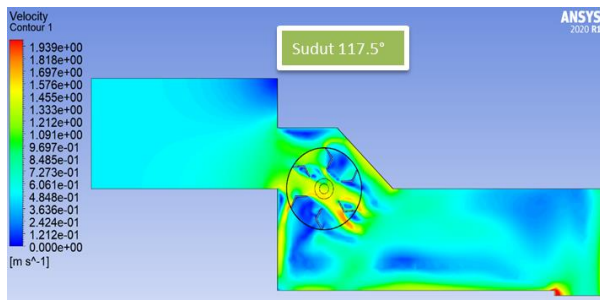
HASIL DAN PEMBAHASAN

• Hasil Penelitian

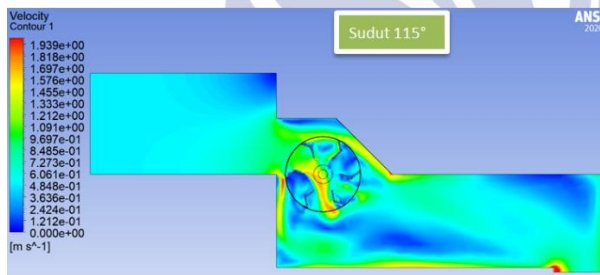
Velocity Contour



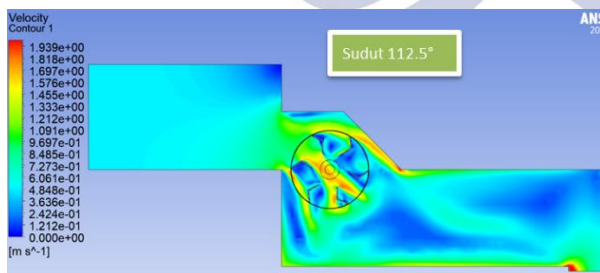
Gambar 4. *Velocity Contour* Sudut Sudu 120°



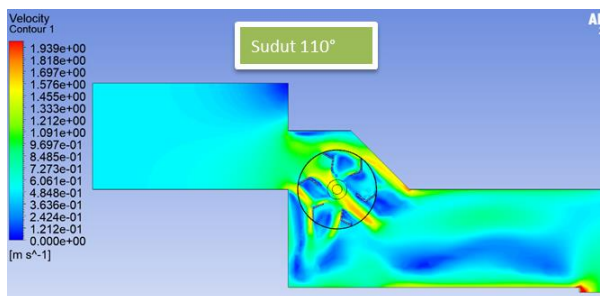
Gambar 5. *Velocity Contour* Sudut sudu 117,5°



Gambar 6. *Velocity Contour* Sudut sudu 115°



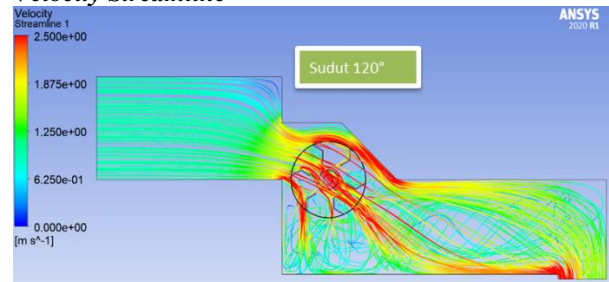
Gambar 7. *Velocity Contour* Sudut sudu 112,5°



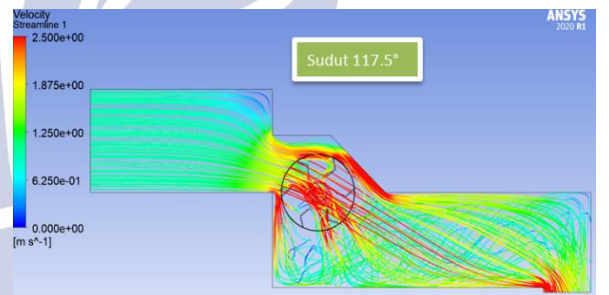
Gambar 8. *Velocity Contour* Sudut sudu 110°

Kontur percepatan air disekeliling turbin berbeda-beda pada tiap variasi sudut sudu, ditunjukkan dengan warna hijau setelah air masuk dari inlet dan mengalami putaran mengakibatkan perubahan warna yaitu dari kuning menuju oranye berangsur merah, masing-masing memiliki karakteristik aliran yang hampir sama namun memiliki kecepatan aliran yang berbeda-beda. Dapat dilihat pada variasi sudut sudu 120° aliran masuk tidak merata ke seluruh bagian turbin sehingga percepatan yang terjadi tidak maksimal dan daya yang dihasilkan juga kecil seperti pada variasi sudut sudu 110°, sedangkan pada variasi sudut sudu 117,5°, 115° dan sudut sudu 112,5° aliran fluida masuk secara menyeluruh pada tiap sudu *runner* yang mengakibatkan daya yang dihasilkan lebih tinggi.

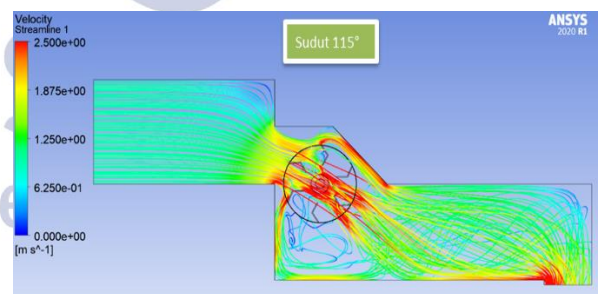
Velocity Streamline



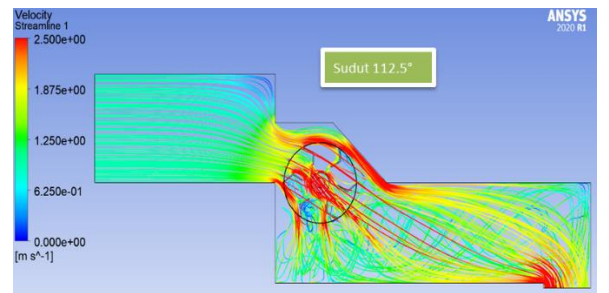
Gambar 9. *Velocity Streamline* Sudut Sudu 120°



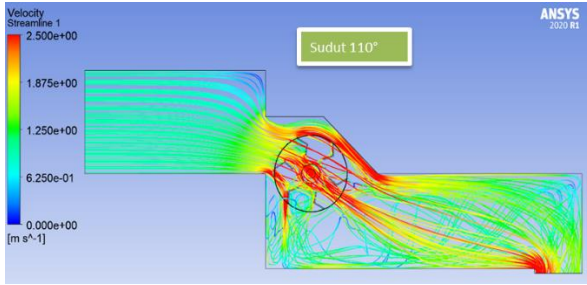
Gambar 10. *Velocity Streamline* Sudut Sudu 117,5°



Gambar 11. *Velocity Streamline* Sudut Sudu 115°



Gambar 12. *Velocity Streamline* Sudut Sudu 112,5°

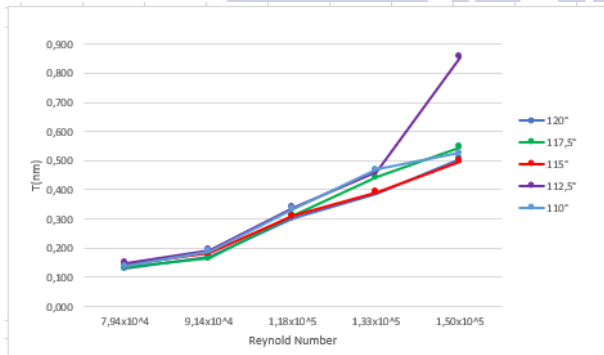


Gambar 13. Velocity Streamline Sudut Sudu 110°

Dapat dilihat pada variasi sudut sudu 120°, 117,5°, 115°, 112,5°, dan 110° *velocity streamline* pada tiap variasi bilangan *Reynolds* mirip dengan satu sama lain karena memiliki karakteristik aliran yang sama untuk tiap variasi, akan tetapi pada variasi sudu 115° aliran yang telah melewati sudu-sudu *runner* menjadi tidak beraturan dikarenakan pada *wall* atas aliran sangat menumpuk yang ditandai dengan garis aliran menjadi sangat rapat dan warna garis menjadi merah, sehingga tekanan yang dihasilkan tinggi dan kecepatan yang dihasilkan menjadi lebih rendah dibandingkan dengan variasi sudut sudu yang lain. Pada sudut sudu 112,5° yang memiliki daya paling tinggi dibanding dengan variasi sudut sudu yang lain.

• **Pembahasan**

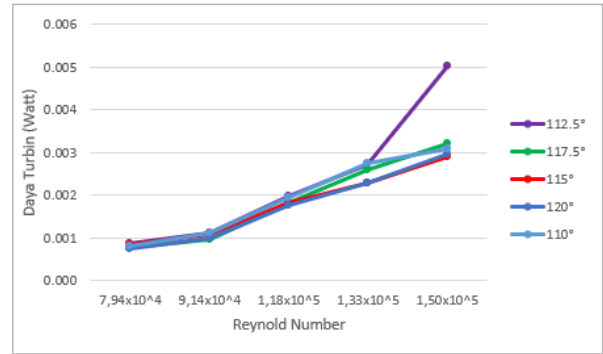
Pengaruh Variasi bilangan *reynolds* Terhadap hasil Torsi



Gambar 14. Grafik Hasil Perolehan Torsi

Dilihat dari grafik diatas bahwa rata – rata hasil perolehan torsi menunjukkan tren menaik secara stabil. tetapi terjadi kenaikan hasil torsi yang besar pada turbin sudut sudu 112,5° pada variasi *Reynolds Number* 1,50x10⁵ dengan nilai 0,856 N.m. perubahan ini terjadi karena luas penampang pada sudu yang ditabrak aliran air yang besar pada setiap sudu nya sehingga hasil torsi yang dihasilkan tinggi dibandingkan dengan variasi sudut sudu yang lain.

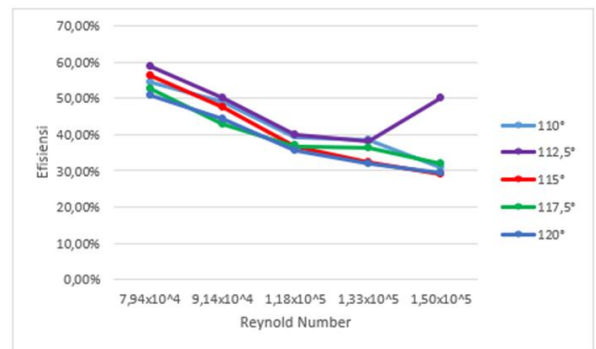
Pengaruh Variasi *Reynolds Number* Terhadap Daya



Gambar 15. Grafik Hasil Perhitungan Daya Turbin

Dari grafik diatas rata – rata hasil daya turbin menunjukkan tren menaik secara konstan. Daya turbin mengalami peningkatan dari variasi *Reynolds Number*, daya tertinggi terjadi pada sudut sudu 112,5° variasi *Reynolds Number* 1,50x10⁵ dengan daya sebesar 5,019 watt. Daya turbin dengan sudut sudu 120° mengalami peningkatan dengan daya turbin tertinggi terjadi pada variasi *Reynolds number* 1,50x10⁵ dengan daya turbin sebesar 2,970 watt. Daya turbin dengan sudut sudu 115° mengalami peningkatan dengan daya tertinggi terjadi pada variasi *Reynolds number* 1,50x10⁵ dengan daya turbin sebesar 2,916 watt. Daya turbin dengan sudut sudu 110° mengalami peningkatan dengan daya tertinggi terjadi pada variasi *Reynolds number* 1,50x10⁵ dengan daya turbin sebesar 3,091 watt.

Pengaruh Variasi *Reynolds Number* Terhadap Efisiensi Turbin



Gambar 16. Grafik Hasil Perhitungan Efisiensi Turbin

Dari analisis yang sudah diberikan diatas maka dapat disimpulkan bahwa variasi sudut sudu 112,5° pada *Reynolds Number* 7,94x10⁴ memiliki hasil efisiensi yang paling tinggi dibandingkan yang lain. Hasil ini terjadi karena pada turbin dengan sudut itu arah aliran air ketika menabrak sudu turbin pada arah yang baik atau optimal. Sedangkan pada turbin dengan sudut sudu yang lain hasil nilai efisiensi yang dihasilkan lebih kecil dibanding dengan sudut sudu 112,5° dikarenakan aliran air menabrak turbin tidak pada kondisi yang baik sehingga mengakibatkan penurunan kinerja.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa yang telah dilakukan, kesimpulan yang dihasilkan sebagai berikut:

- Daya maksimum dihasilkan dari pengujian turbin dengan sudut sudu 112.5 lebih besar dibandingkan turbin dengan sudut sudu 120, 117.5, 115, dan 110. Variasi sudut sudu 112.5 menghasilkan daya sebesar 5,019 Watt pada kapasitas 18,113 L/s.
- Efisiensi yang paling optimum dihasilkan dari turbin dengan variasi sudut sudu 112,5 , lebih besar dibandingkan turbin dengan sudut sudu 120, 117.5, 115, dan 110. Variasi sudut sudu 112,5 menghasilkan efisiensi sebesar 58,60% pada kapasitas 9,572 L/s
- Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa dengan memvariasikan sudut sudu dapat mempengaruhi hasil kinerja turbin crossflow. dengan memvariasikan sudut sudu berpenampang v akan didapatkan hasil daya dan efisiensi yang optimum pada turbin reaksi aliran crossflow poros horizontal.

Saran

- Perlu adanya penelitian lanjutan untuk variasi sudut sudu pada turbin dengan variasi sudut sudu yang berbeda.
- Pada penelitian berikutnya diharapkan peralatan dan komponen yang mendukung proses penelitian lebih baik agar mempermudah dan memperlancar proses pengambilan data selama masa penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Adiwibowo, P. H., & Zohri, M. (2023). Mathematical Modeling of a Novel PVT-Fin System for Maximum Energy Yield. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 10(5), 1743–1750. <https://doi.org/10.18280/mmep.100525>

Ahmad, S. (2019). Analisa Numerik Sudut Sudu Masuk Dan Keluar Turbin Pelton Terhadap Efisiensi Turbin.

Ali, M. (2018). Computational Fluid Dynamics Computational Fluid Dynamics CSE-801. In *Fluid Mechanics*. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B978012405935100006X>

Adiwibowo P. H., Soeryanto S., Kurniawan W. D., Arsana I. M. (2022). Crossflow Hydro Turbine with the Interference Blade Improve Turbine Performance

Adiwibowo P. & Wailanduw, G. (2020). Experimental Performance of Turbine Reaction Flow Type Straight with Blade Ratio Variation

Endarti, H., & Adiwibowo, P. H. (2018). Abstrak uji eksperimental pengaruh variasi rasio panjang sudu pengganggu dengan sudu utama setengah lingkaran terhadap kinerja turbin. 2018.

Febrianto, M. I., & Adiwibowo, P. H. (2021). Eksperimental Pengembangan Variasi Sudut Sudu Berpenampang V Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Crossflow Poros Horizontal. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(03), 17-26.

Figueiredo, J., & Martins, J. (2010). Energy Production System Management - Renewable energy power supply integration with Building Automation System. *Energy Conversion and Management*, 51(6), 1120–1126. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.12.020>

Hidayat, N., & Adiwibowo, P. (2020). Pengaruh Inlet Notch Kedua Terhadap Dayaadaefisiensi Turbin Air Crossflowporoslhorizontal. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(2), 111-122.

Hidayat, R., & Adiwibowo, P. H. (2021). Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Dengan Sudu Utama Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja Turbin Crossflow. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(03), 85-92.

Imidap. (2008). Pedoman Studi Kelayakan Pltmh. Direktorat Jenderal Listrik Dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral.

Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (2005). *A Textbook Of Machine Design (S.I. Units)*, Ram Nagar, New Delhi, Eurasia Publishing House (PVT.) LTD. *Machine Design*, 1(I), 200. <https://docs.google.com/file/d/0B7OQo6ncgyFjBW53VEJecIzuSzQ/edit>

Lubis, A. (2007). Energi Terbarukan Dalam Pembangunan Berkelanjutan. *Teknologi Lingkungan*, 8(2), 156–163.

Mafruddin, M., & Irawan, D. (2014). Pembuatan Turbin Mikrohidro Tipe Cross-Flow Sebagai Pembangkit Listrik Di Desa Bumi Nabung Timur. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 3(2), 7–12. <https://doi.org/10.24127/trb.v3i2.12>

Nuruddin, M., & Adiwibowo, P. H. (2022). Studi Eksperimental Pengaruh Sudu Berpenampang V Terpancung Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Crossflow Poros Horizontal. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(01), 129-140.

Prasetyo, Y., & Adiwibowo, P. H. (2021). Eksperimental Pengaruh Variasi Sudut Sudu Berpenampang Segitiga Terhadap Dayaadaefisiensi Turbin Crossflowporoslhorizontal. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(03), 35-46.

Philip J. and Leylegian, J. C. (2011). *Fox and McDonald's introduction to Fluid Mechanics*. Jhon Wiley & Sonc Inc.

Purga, A. K. (2018). Rancang Bangun Turbin Aliran Silang (Crossflow) Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Di Sungai Desa Talang Mulya Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran

Purnama, A. (2011). Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Studi Kasus: Pltmh Minggir Pada Saluran Irigasi Minggir Di Padukuhan Klagaran Desa Sendangrejo Kecamatan Minggir Kabupaten Sleman. *Jurnal Unsa Progress*, 10(15).

Purnama, A. (2018). Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Studi Kasus: Pltmh Minggir Pada Saluran Irigasi Minggir Di Padukuhan Klagaran Desa Sendangrejo Kecamatan Minggir Kabupaten Sleman. *Jurnal Unsa Progress*,

93–111.

- Putra, D. U. (2016). Pengujian Alat Simulasi Turbin Air Cross Flow. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 1(2).
- Simamora, S. (2012). Perancangan Alat Uji Tekuk Sederhana. *Menara Ilmu*, 11(74).
https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=Spd6bv8aaaaj&pagesize=100&citation_for_view=Spd6bv8aaaaj:U5hmvd_Uo8c
- Sugiyono, D. (2013). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, Dan Tindakan*.
- Sutrimo, D., & Adiwibowo, P. H. (2019). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Berpenampang L Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Crossflow Poros Horizontal. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(1).
- Waskito, A., & Wailanduw, G. (2022). Simulasi Numerik Sayap dengan Airfoil NACA 4412 dengan Variasi Sweep Angle Terhadap Gaya Angkat dan Gaya Hambat. *Abstrak adit ansys.pdf*.

