

SIMULASI NUMERIK OPTIMASI VARIASI SUDUT SUDU BERPENAMPANG PLAT LENGKUNG TERHADAP FENOMENA VELOCITY CONTOUR, PRESSURE CONTOUR, DAN VELOCITY VECTOR TURBIN CROSSFLOW POROS HORIZONTAL

Rainanda Daffa Pradana

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: rainandadaffa.21031@mhs.unesa.ac.id

Priyo Heru Adiwibowo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id

Abstrak

Karena sumber daya terbarukannya dan sifat ramah lingkungannya, energi alternatif semakin populer dan memainkan peran penting dalam mencegah bencana energi. Turbin aliran silang digunakan di pembangkit listrik mikro tenaga air (PLTA) untuk mengubah energi potensial air menjadi energi listrik. Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji bagaimana turbin aliran silang sumbu horizontal bereaksi ketika sudut kelengkungan bilah pelat lengkungnya divariasikan. Bagian lengkung digunakan pada turbin reaksi aliran silang sumbu horizontal pada studi ini, dan para peneliti menggunakan pendekatan simulasi numerik untuk memodifikasi sudut kelengkungan bilah sebesar 90°, 100°, 110°, dan 120°. Pengujian dilaksanakan pada enam bilah turbin menggunakan aliran air sebesar 9,5720 L/s, 11,024 L/s, 14,322 L/s, 16,152 L/s, dan 18,113 L/s. Dari hasil analisis *velocity contour*, *pressure contour*, dan *velocity vector* pada turbin air crossflow, dapat disimpulkan bahwa sudut 110° memberikan hasil paling baik. Pada sudut ini, aliran air menabrak sudu sebanyak dua kali secara efektif, tekanan dan kecepatan aliran lebih merata, serta putaran turbin menjadi lebih stabil. Pada sudut 90°, energi air belum digunakan secara maksimal karena terjadi turbulensi yang cukup tinggi, sedangkan pada sudut 120° aliran menjadi lebih kacau dan menyebabkan kehilangan energi.

Kata Kunci: Turbin, Crossflow, Velocity, Pressure, Sudu, Simulasi, Vector

Abstract

Because of its renewable sources and eco-friendly qualities, alternative energy is gaining popularity and playing a significant part in averting an energy catastrophe. A crossflow turbine is used in micro hydropower plants (MHPPs) to transform the potential energy of water into electrical energy. The purpose of this research is to examine how a horizontal-axis crossflow turbine reacts when the angle of curvature of its curved-plate blades is varied. The curved section is used to a horizontal-axis crossflow reaction turbine in this study, and the researchers use a numerical simulation approach to modify the blade curvature angles of 90°, 100°, 110°, and 120°. Tests are conducted on the turbine's six blades using water flows of 9.5720 L/s, 11.024 L/s, 14.322 L/s, 16.152 L/s, and 18.113 L/s. Based on the analysis of velocity contours, pressure contours, and velocity vectors in the crossflow water turbine, it can be concluded that the 110° blade angle provides the best performance. At this angle, the water flow effectively strikes the blades twice, resulting in more uniform pressure and velocity distributions and a more stable turbine rotation. At a blade angle of 90°, the water energy is not fully utilized due to relatively high turbulence, while at a blade angle of 120°, the flow becomes more chaotic, leading to increased energy losses.

Keywords: turbine, crossflow, velocity, pressure, blade, simulation, vector

PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan untuk melepaskan diri dari bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak, dan gas alam dalam beberapa tahun terakhir, promosi sumber energi terbarukan telah menjadi perhatian utama dalam wacana publik. Sumber energi terbarukan, seperti tenaga surya, angin, air, panas bumi, dan biomassa, kini mengalami pertumbuhan pesat dan sangat penting dalam peralihan menuju masyarakat yang lebih berkelanjutan (Addin Anugrah, 2023).

"Energi alternatif" adalah istilah umum untuk sumber energi terbarukan termasuk tenaga surya, angin, dan air.

Sumber daya yang berkelanjutan dan ramah lingkungan ini dapat menggantikan bahan bakar fosil yang mencemari lingkungan seperti batu bara, minyak, dan gas alam. Istilah "energi alternatif" hampir selalu digunakan secara bergantian dengan "energi terbarukan" dan "energi bersih". Istilah "terbarukan" digunakan untuk sumber energi alternatif karena sumber energi ini tidak memiliki jumlah bahan bakar fosil yang terbatas. Pengisian kembali bahan bakar fosil setelah pembakaran membutuhkan ratusan juta tahun. Setiap hari, sumber energi terbarukan seperti matahari, air, dan angin diisi kembali. (Siagian *et al.*, 2023).

Turbin *crossflow* merupakan turbin tekanan radial kecil yang disemprotkan secara tangensial dari kipas berputar dengan sumbu horizontal.. Energi mekanik fluida yang akan disuplai ke turbin setelah dikurangi gesekan dan rugi-rugi lainnya disebut Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTMH) (Saleh *et al.*, 2019).

Penelitian yang dilaksanakan oleh (Ningsih & Adiwibowo, 2022) berjudul “Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Berpenampang Lengkung Terhadap Kinerja Turbin Reaksi *Crossflow* Polos Horizontal “Berdasarkan hasil penelitian yang dilaksanakan dengan keterlambatan, dapat disimpulkan bahwa pada turbin dengan sudu yang memiliki kelengkungan sudut sebesar 120° , daya yang berhasil dihasilkan sebesar 4,008 Watt. Daya tersebut dicapai dengan beban maksimal sebesar 13.000 gram saat aliran air mencapai 18.113 L/s. Sementara itu, efisiensi yang dicapai adalah 84,96%, dengan beban yang dapat ditanggung sebesar 4.500 gram saat aliran air sebesar 11.024 L/s.

METODE

• Jenis Penelitian

Metode penelitian yang menggunakan simulasi numerik *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan aplikasi *ANSYS* untuk memodelkan perilaku aliran fluida. Analisis didasarkan pada persamaan *Navier–Stokes* untuk aliran tak termampatkan, dengan domain fluida dibagi menjadi *mesh* dan diselesaikan secara numerik pada setiap elemen.

• Tempat Penelitian

Penelitian dengan judul “Simulasi Numerik Turbin Crossflow Berpenampang Plat Lengkung” ini dilaksanakan langsung di Gedung A8 Laboratorium Mekanika Fluida lantai 2 Teknik Mesin Unesa Jl. Kentintang, Kel. Ketintang, Kec. Gayungan, Kota Surabaya, Jawa Timur.

• Variabel Penelitian

Pada Penelitian ini menggunakan beberapa variabel yaitu :

- Variabel Independen (Bebas)
Variabel Bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi sudut sudu 90° , 100° , 110° , dan 120° .
- Variabel Dependen (Terikat)
Variabel Terikat yang digunakan pada studi ini adalah *velocity contour*, *pressure contour*, dan *velocity vector* yang didapatkan dari turbin *crossflow*.
- Variabel Kontrol
Variabel kontrol yang digunakan pada penelitian ini adalah:
 - a.Fluida yang bekerja adalah air
 - b.Kapasitas / debit Aliran yang digunakan eksperimen

1) 9,5720 L/s

2) 11,024 L/s

3) 14,322 L/s

4) 16,152 L/s

5) 18,133 L/s

c. Kecepatan fluida

1) 0,499 m/s

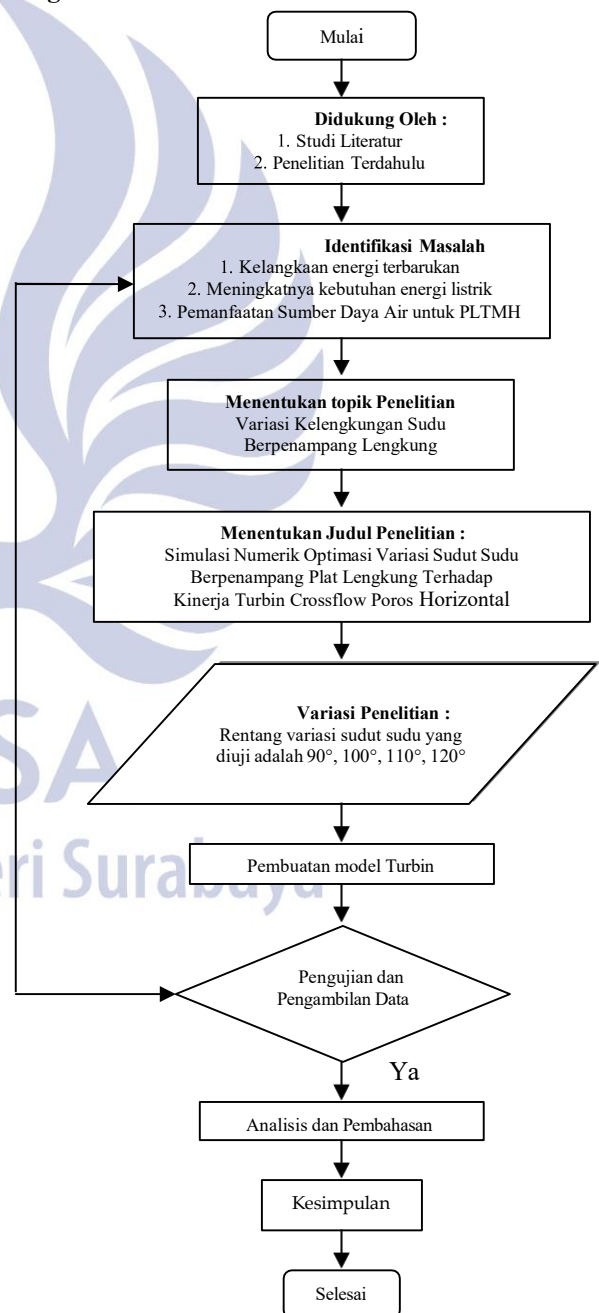
2) 0,547 m/s

3) 0,746 m/s

4) 0,841 m/s

5) 0,943 m/s

• Diagram Penelitian



Gambar 1. Flowchart Penelitian

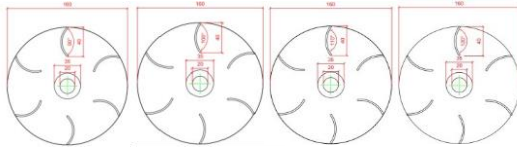
• Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada studi ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan berikut ini:

➤ Pre-processing

a. Penggambaran Geometri

Proses mendesain sebuah geometri menggunakan *software Autocad 2021* untuk membentuk desain turbin *crossflow*.



Gambar 2. Turbin *Crossflow* Berpenampang Plat Lengkung dengan variasi Sudut Sudu 90°, 100°, 110°, 120°

b. Pembuatan Domain

Proses pembuatan *domain* menggunakan *software ANSYS 2020 R1*

c. Pembuatan Meshing

Dalam simulasi ini, *Tetra Meshing* diterapkan karena tipe *mesh* ini sangat berguna untuk simulasi turbin air dan efektif dalam mengatasi bentuk geometri yang kompleks.

➤ Processing / Solving

Pada tahap solving, model turbin *crossflow* poros horizontal yang telah melalui proses *pre-processing* diselesaikan secara numerik menggunakan perangkat lunak CFD dengan memecahkan persamaan konservasi massa dan momentum (*Navier-Stokes*) yang telah didiskretisasi pada domain fluida. Model turbulensi yang digunakan berperan penting dalam merepresentasikan karakteristik aliran turbulen di sekitar sudu turbin (Rantererung, 2023).

➤ Post-Processing

Tahap *post-processing* dilaksanakan untuk menganalisis hasil simulasi yang diperoleh, meliputi visualisasi kontur kecepatan (*velocity contour*), kontur tekanan (*pressure contour*), vektor kecepatan (*velocity vector*), dan garis aliran (*streamline*) guna memahami pola interaksi fluida dengan sudu turbin (Sardjono *et al.*, 2020). Data hasil *post-processing* ini digunakan sebagai dasar evaluasi performa turbin serta perbandingan pengaruh variasi desain atau sudut sudu terhadap turbin *crossflow* secara keseluruhan (Setiawan *et al.*, 2022).

➤ Validasi Data

Pada fase validasi data, hasil dari perhitungan disajikan dalam format visual atau gambar yang berbentuk *velocity contour*, *pressure contour*, dan *velocity vector*.

Tabel 1. *Grid Independence Test*

GRID INDEPENDENCE TEST			
MESH	JUMLAH ELEMENT	AVERAGE Velocity	ERROR (%)
80	777625	0,82403	7,2892
90	874213	0,82675	2,5892
100	990445	0,83569	2,5884
110	1136567	0,83483	2,8069
120	1324337	0,83549	2,5884

Tabel 2. Validasi Data

NO	Penelitian	Variasi Sudut sudu 110°	
		Mass Flow Rate (kg/s)	Error (%)
1	<i>K-epsilon Standart</i>	0,0011	0,9875
2	<i>K-omega Standart</i>	0,0066	0,9250
3	<i>SST</i>	0,0052	0,9409

• Teknik Analisa Data

Penelitian ini akan memanfaatkan teknik analisis data yang dihasilkan dari *ANSYS* untuk mengevaluasi hasil simulasi numerik. Hasil simulasi yang diperoleh melalui *ANSYS* akan menjadi dasar dalam menganalisis performa turbin *crossflow* dengan menganalisa 3D dalam bentuk:

a. distribusi *velocity contour*

analisa kecepatan fluida sepanjang sudu turbin, berdampak pada aliran fluida dan kecepatan.

b. distribusi *pressure contour*

hasil simulasi distribusi tekanan didalam turbin.

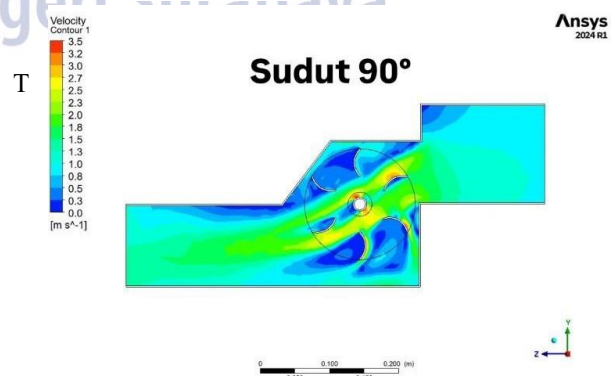
c. distribusi *velocity vector*

Mengacu pada bagaimana *vector* kecepatan fluida atau benda berubah dalam ruang dan waktu.

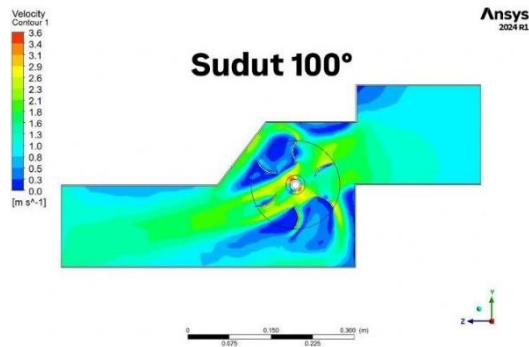
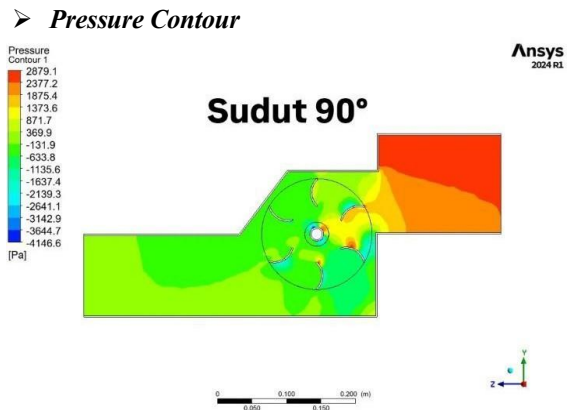
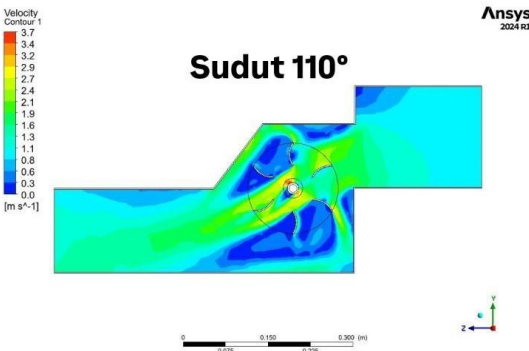
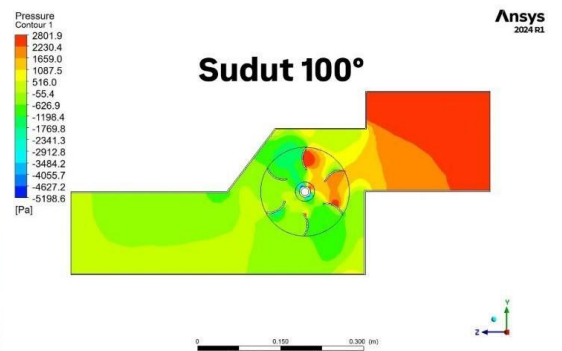
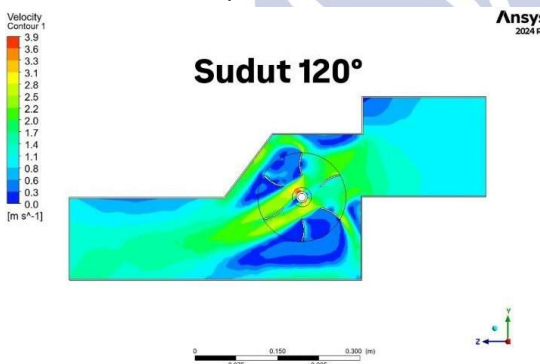
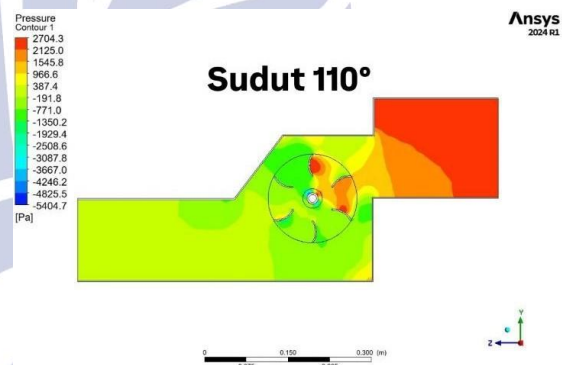
HASIL DAN PEMBAHASAN

• Hasil Penelitian

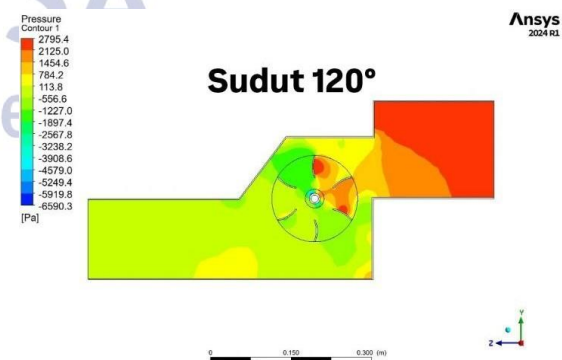
➤ *Velocity Contour*



Gambar 3. *Velocity Contour* sudut sudu 90°

Gambar 4. *Velocity Contour* sudut sudu 100°Gambar 7. *Pressure Contour* sudut sudu 90°Gambar 5. *Velocity Contour* sudut sudu 110°Gambar 8. *Pressure Contour* sudut sudu 100°Gambar 6. *Velocity Contour* sudut sudu 120°Gambar 9. *Pressure Contour* sudut sudu 110°

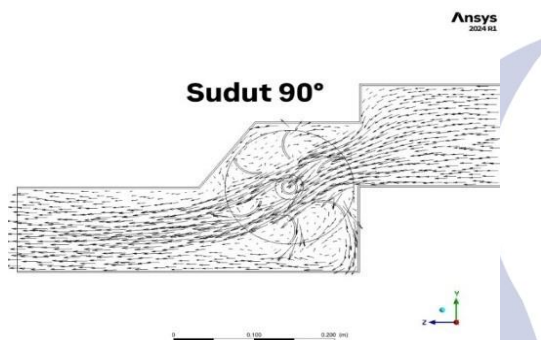
Pada sisi cekung (*pressure side*), fluida mendapat dorongan langsung dari sudu, namun kecepatan aliran yang terlalu tinggi menunjukkan energi kinetik belum sepenuhnya dikonversi menjadi energi mekanik sehingga dapat menurunkan efisiensi jika arah aliran tidak mengikuti bentuk sudu. Sebaliknya, pada sisi belakang sudu (*suction side*), aliran melambat akibat kelengkungan sudu, yang menurut prinsip *Bernoulli* menyebabkan perubahan tekanan dan berperan dalam membentuk perbedaan tekanan antara kedua sisi sudu. Perbedaan tekanan inilah yang menghasilkan gaya hidrodinamis utama untuk memutar turbin.

Gambar 10. *Pressure Contour* sudut sudu 120°

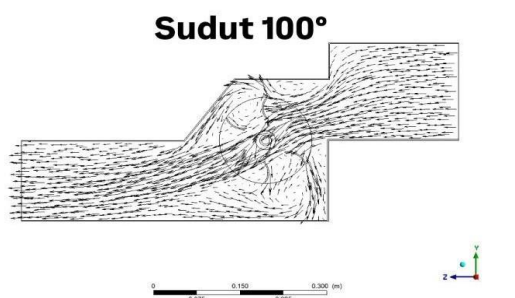
Pada sisi cekung (*pressure side*), fluida mengenai permukaan sudu secara langsung sehingga menghasilkan tekanan yang lebih tinggi, yang berperan sebagai gaya utama untuk mengonversi energi kinetik fluida menjadi

energi mekanik pada poros turbin, meskipun tekanan dan kecepatan yang terlalu tinggi dapat menimbulkan kehilangan energi jika tidak sesuai dengan kontur sudu. Sebaliknya, pada sisi punggung sudu (*suction side*), aliran mengikuti kelengkungan sudu, mengalami percepatan dan perubahan arah sehingga tekanan statis menjadi lebih rendah, perbedaan tekanan antara kedua sisi sudu inilah yang menghasilkan gaya angkat hidrodinamis sesuai prinsip *Bernoulli*, yang memungkinkan sudu turbin berputar secara berkelanjutan.

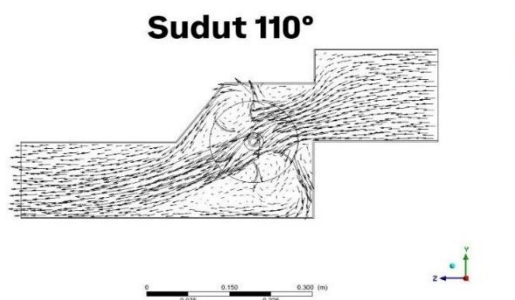
➤ Velocity Vector



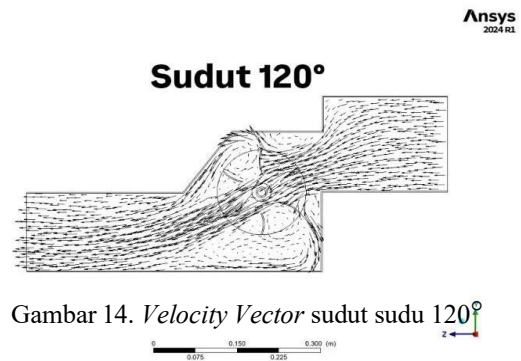
Gambar 11. Velocity Vector sudut sudu 90°



Gambar 12. Velocity Vector sudut sudu 100°



Gambar 13. Velocity Vector sudut sudu 110°

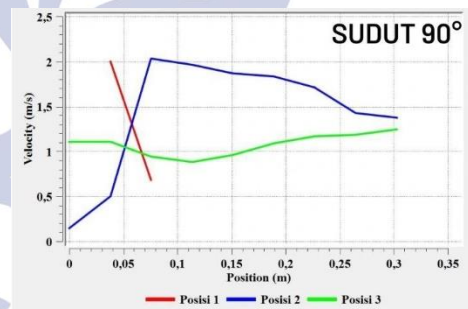


Gambar 14. Velocity Vector sudut sudu 120°

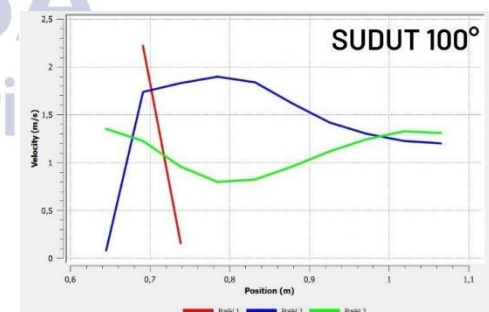
Dapat dilihat pada *velocity vector* sudut sudu 90°, 100°, 110°, dan 120° turbin *crossflow*. hasil simulasi menunjukkan gambaran gabungan dari *velocity contour* dan *velocity vector* pada turbin air *crossflow*. *Velocity contour* ditampilkan dengan perubahan warna yang menunjukkan tingkat kecepatan, sedangkan *velocity vector* menunjukkan arah serta besarnya kecepatan aliran fluida di setiap titik dalam daerah aliran. Ketika aliran masuk melalui *inlet*, terjadi titik *stagnasi* pada *boundary wall* bagian depan turbin yang ditunjukkan dengan warna biru tua pada *contour* dan panjang vektor yang sangat pendek hingga nol

• Pembahasan

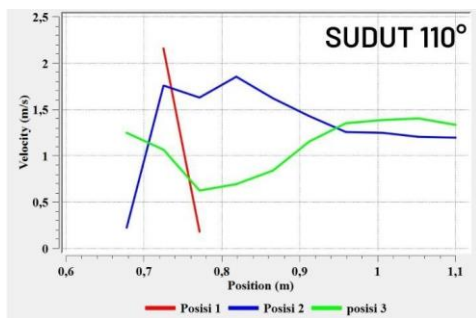
➤ Grafik Chart



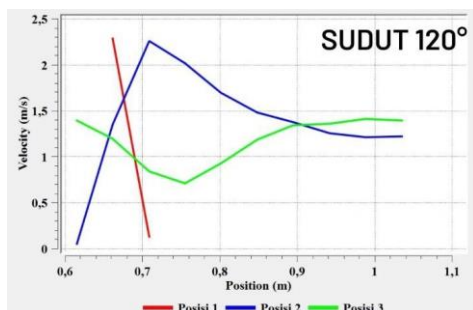
Gambar 15. Grafik Chart sudut sudu 90°



Gambar 16. Grafik Chart sudut sudu 100°



Gambar 17. Grafik Chart sudut sudu 110°



Gambar 18. Grafik Chart sudut sudu 120°

Berdasarkan hasil simulasi pada variasi sudut turbin air *crossflow*, diperoleh bahwa pada sudut 90° terjadi pelemahan aliran akibat energi fluida belum dimanfaatkan secara optimal. Pada sudut 100° dan 110°, turbin *crossflow* masih mengalami dua kali tabrakan antara fluida dan sudu. Namun, pada sudut 110° tabrakan yang terjadi lebih efektif sehingga energi fluida dapat dimanfaatkan secara maksimal dengan kehilangan energi (*losses*) yang sangat kecil. Sementara itu, pada sudut 120° aliran mengalami dua kali tabrakan, tetapi aliran yang terjadi terasa lemah

• Penutup

➤ Kesimpulan

- Berdasarkan hasil analisis *velocity contour* pada berbagai sudut sudu tampilan legenda, disimpulkan sudu 110° menunjukkan performa aliran yang terbaik. Pada sudut ini, distribusi kecepatan aliran menunjukkan area kecepatan tinggi di bagian cekung (*pressure side*) dan area tekanan rendah di bagian punggung (*suction side*). Sebaliknya, pada sudut 90° dan 100° terlihat distribusi kecepatan yang belum merata, sedangkan pada sudut 120° arah aliran mulai menyimpang dari bentuk sudu, sehingga mengurangi efektivitas penggunaan energi kinetik.
- Berdasarkan hasil analisis garis kontur tekanan dengan merujuk pada tampilan legenda, disimpulkan sudu 110° merupakan kondisi yang paling tepat. Pada sudut tersebut, distribusi tekanan menunjukkan perbedaan yang terbaik antara bagian cekung (*pressure side*) dan bagian punggung (*suction side*), dicirikan dengan

tekanan yang tinggi dan optimal di bagian cekung serta tekanan rendah yang merata di bagian punggung. Dibandingkan sudut 90° dan 100° yang masih menunjukkan penumpukan tekanan tinggi di beberapa area serta sudut 120° yang cenderung mengalami penurunan gradien tekanan secara efektif.

c. Dari hasil simulasi *Velocity Vector*, Pada variasi sudut sudu 110°, arah dan kecepatan aliran fluida lebih stabil dan menyebabkan tabrakan ganda yang efektif. Sedangkan pada sudut 90° terjadi dua kali tabrakan dan energi belum terpakai sepenuhnya, pada sudut 100° kehilangan (*losses*) yang sangat tinggi, dan sudut 120° aliran kurang stabil dan menyebabkan kerugian energi yang lebih besar.

➤ Saran

- perlu adanya penelitian lanjutan untuk memvariasikan sudut sudu pada turbin *crossflow* dengan variasi sudut sudu yang berbeda.
- Disarankan menggunakan PC pada saat melakukan simulasi *ANSYS*, hal ini untuk mempercepat dari proses pengumpulan data selama penelitian.
- Disarankan pada saat melakukan simulasi *ANSYS* menggunakan 6 *DOF* Dapat menampilkan interaksi langsung antara fluida dan turbin, sehingga hasil simulasi lebih sesuai dengan kondisi sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Azwirur, A., & Zulkifli, Z. (2019). Kaji eksperimental pengaruh baffle pada alat penukar panas aliran searah dalam upaya optimasi sistem pengering. *Sintek Jurnal: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 13(1), 8-14.
- Ningsih, D., & Adiwibowo, P. (2022). Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Berpenampang Lengkung Terhadap Kinerja Turbin Crossflow Poros Horizontal. *Journal teknik mesin*, 10(03), 93-104
- Ranterung, C. L. & Buku, A. Comparison of Crossflow Turbine Performance through Nozzle Position Variations Using ANSYS Simulation (2023) — contoh post-processing berupa kontur dan animasi.
- S, A. A. (2023). *Perkembangan Teknologi Energi Terbarukan di Masa Kini*. 1–6.
- Sardjono, J. A., Darmawan, S., & Tanujaya, H. Flow investigation of cross-flow turbine using CFD method (iopconf, 2020) — tahapan CFD: pre-processing, solving, post-processing.
- Setiawan, J., Darmawan, S., & Tanujaya, H. Komparasi Simulasi CFD pada Turbin Cross-Flow dengan Model Turbulen k-ε STD dan RNG k-ε (2022) — pengaruh model turbulensi pada hasil CFD.
- Siagian, P. *Energi Baru Terbarukan Sebagai Energi Alternatif*. 2023.