

ANALYSIS OF FLUID FLOW CHARACTERISTICS ACROSS THE DARRIEUS TURBINE IN IRRIGATION CHANNELS (ANALISA KARAKTERISTIK ALIRAN FLUIDA MELINTASI TURBIN DARRIEUS PADA SALURAN IRIGASI)

Joke Pratilastiarso¹, Lohdy Diana^{1*}, Nu Rhahida Arini¹, Faris Hilmi Kurniawan¹, Firdaus
Fhudoli Putra¹

¹Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

*Corresponding author: lohdydiana@pens.ac.id

ABSTRACT

This study simulated the characteristics of the fluid flow that passes through the Darrieus turbine before installation and testing were carried out. The purpose of knowing the flow characteristics can determine the profile and position of the maximum velocity so that the design and placement of the turbine can be improved. The research method was carried out using dynamic fluid computational simulations in three-dimensional form with steady state conditions, discretization using second-order, with convergent conditions when it reached 10^{-6} . The simulation results show that the position of the flow above the turbine had the lowest value because the fluid flowed relatively without disturbance which caused the velocity to have a value almost the same as the incoming fluid velocity. The fluid velocity increased when it was in line 2 and line 3 or across the turbine. This was due to the turbulence generated by the rotation of the turbine. While the velocity on line 4 or below the turbine had a lower value than line 2 and line 3. This was due to the position below the turbine so that the turbine rotation did not have an impact on velocity.

Keyword: Darrieus turbine; flow characteristic; irrigation; simulation.

ABSTRAK

Penelitian ini melakukan simulasi karakteristik aliran fluida yang melintasi turbin Darrieus sebelum pemasangan dan pengujian dilakukan. Tujuan dengan mengetahui kearakteristik aliran dapat mengetahui profil dan posisi kecepatan maksimum sehingga desain dan peletakkan turbin dapat diperbaiki. Metode penelitian dilakukan menggunakan simulasi komputasi fluida dinamis dengan bentuk tiga dimensi dengan kondisi steady state, diskritisasi menggunakan second-order, dengan kondisi konvergen ketika mencapai 10^{-6} . Hasil simulasi menunjukkan posisi aliran di atas turbin memiliki nilai paling rendah dikarenakan fluida mengalir relatif tidak ada gangguan yang menyebabkan kecepatan memiliki nilai hampir sama dengan kecepatan fluida masuk. Kecepatan fluida mengalami peningkatan ketika berada pada posisi garis 2 dan garis 3 atau melintasi turbin. Hal tersebut disebabkan olakan yang dihasilkan oleh putaran turbin. Sedangkan kecepatan pada garis 4 atau di bawah turbin memiliki nilai lebih rendah daripada garis 2 dan garis 3. Hal tersebut diakibatkan posisi dibawah turbin sehingga putaran turbin tidak terlalu berdampak pada kecepatan. Pada keempat posisi garis

kecepatan mengalami kenaikan pada $Y=0.7$ m atau ketika fluida mengenai turbin. Kenaikan kecepatan fluida inilah yang diharapkan dapat memutar turbin. Hasil penelitian juga menyertakan distribusi aliran berupa streamline pada beberapa posisi dimana aliran yang bersinggungan dengan dinding saluran memiliki nilai kecepatan yang rendah akibat adanya gesekan dengan dinding.

Kata Kunci: Irigasi; karakteristik aliran; simulasi turbin; darrieus.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang mayoritas penduduknya bekerja di sektor pertanian atau dikenal dengan istilah negara agraris. Indonesia memiliki lahan pertanian yang luas, Menurut badan pusat statistik pada tahun 2022 mencapai 10,43 juta hektare (Badan Pusat Statistik, 2021). Berbeda dengan negara-negara maju yang sudah memanfaatkan gedung sebagai lahan pertanian (Palliwal, 2021). Luasnya lahan pertanian di Indonesia sebanding dengan jumlah sistem irigasi yang digunakan untuk keberlangsungan hasil pertanian. Sistem irigasi saat ini masih menggunakan metode manual berupa saluran yang airnya di ambil dari hulu sungai. Aliran hulu pada pertanian hanya digunakan untuk mengalir lahan. Sedangkan aliran hulu memiliki potensi untuk digunakan sebagai sumber energi baru dan terbarukan untuk memutar turbin dan menghasilkan listrik (D.Groh, 2022). Tipe turbin untuk aliran air pada saluran irigasi salah satunya adalah tipe Darrieus (Ramdhani, 2019).

Beberapa penelitian turbin dilakukan menggunakan metode simulasi yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik aliran (Ouro, 2019). Simulasi juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh arah turbin terhadap kinerja turbin (Bai, 2013). Simulasi juga dilakukan untuk ketika aliran turbulen

melewati turbin (Zhu, 2021). Selain itu, metode simulasi juga dilakukan untuk mengetahui noise atau kebisingan dari aliran yang melintasi turbin (Lloyd, 2014) dan juga digunakan untuk mengetahui kekuatan struktur turbin (Finnegan, 2022). Hasil simulasi pada turbin arus laut digunakan untuk mengetahui distribusi kecepatan fluida (William, 2015) dan distribusi *pressure coefficient* (Alipour, 2020).

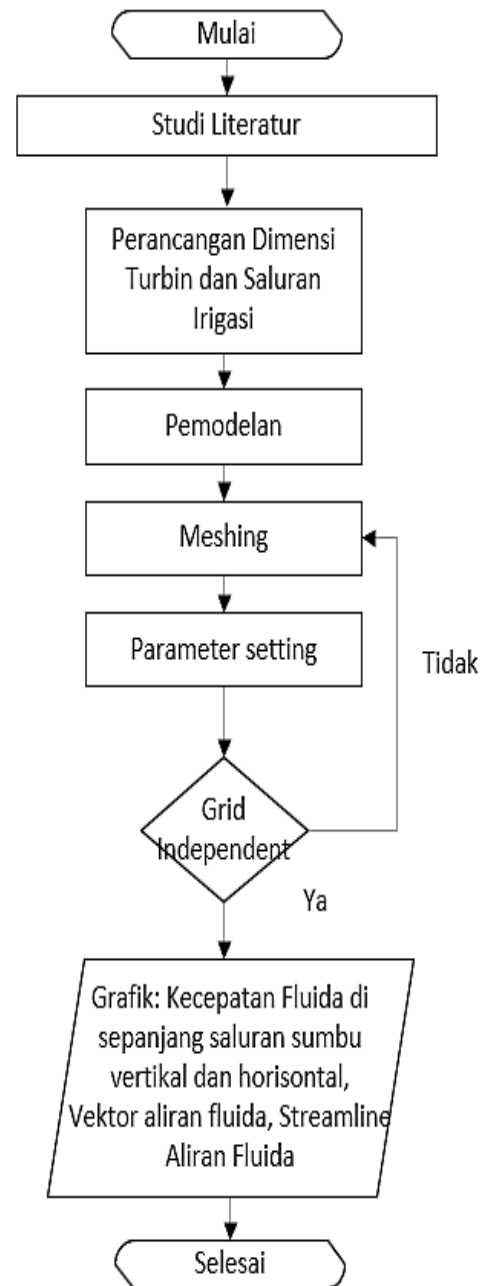
Penelitian ini dilakukan menggunakan metode simulasi dengan perangkat lunak komputasi fluida dimana pemodelan dan parameter berdasarkan studi literatur yang terdapat pada referensi yang telah disebutkan sebelumnya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa karakteristik aliran fluida yang melintasi turbin Darrieus pada saluran irigasi. Parameter simulasi disesuaikan mendekati kondisi aktual saluran irigasi seperti bentuk geometri dan ukuran serta kecepatan air yang mengalir atau kecepatan aliran fluida. Karakteristik disajikan dalam bentuk distribusi kecepatan aliran fluida pada berbagai posisi dan *pressure coefficient*. Setelah karakteristik aliran diketahui diharapkan dapat mengoptimalkan desain turbin untuk menghasilkan energi yang optimal. Diharapkan metode dan hasil penelitian ini dapat menunjang metode eksperimen yaitu ketika pemasangan turbin di saluran

irigasi pada kondisi sesungguhnya dilakukan. Hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi untuk memanfaatkan energi yang terbuang pada sistem irigasi lahan pertanian sehingga menghasilkan energi yang nantinya dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan termasuk sistem irigasi itu sendiri.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dilakukan secara simulasi menggunakan *software* komputasi komersial. Tahapan simulasi disajikan dalam diagram alir seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Pemodelan objek yang dilakukan telah dirancang dan telah dibuat sebelumnya berupa turbin Darrieus seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Metode simulasi dipilih karena dapat membantu untuk mengetahui performa atau karakteristik aliran yang nantinya dapat mengoptimalkan proses pemasangan turbin.

Simulasi terdiri dari tiga tahapan antara lain: *pre-processing*, *pro-processing*, dan *post processing*. Tahapan *pre-processing* terdiri dari penggambaran objek yang akan disimulasikan pada penelitian ini adalah turbin Darrieus yang terbuat dari *fiberglass* komposit. Turbin diletakkan di sebuah saluran irigasi dengan pemodelan mendekati bentuk sebenarnya yaitu berupa balok yang juga berperan sebagai *surrounding*. Saluran irigasi tersebut dimodelkan terisi penuh oleh fluida berupa air dalam kondisi *liquid* atau cair.



Gambar 1. Diagram alir tahap penelitian.

Persamaan - persamaan yang digunakan dalam perhitungan antara lain:

Persamaan konservasi momentum dan massa (1),

$$\frac{\delta \bar{u}_i}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x_j} (\bar{u}_i \bar{u}_j) = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\delta \bar{p}}{\delta x_i} + \delta i1 \frac{\delta \langle P \rangle}{\delta x_1} \right) + 2\vartheta \frac{\delta}{\delta x_j} \bar{S}_{ij} - \frac{\delta \tau_{ij}}{\delta x_j} + \rho g_i + \bar{F}_s + \bar{F}_b \quad (1)$$

Persamaan kontinuitas (2),

$$\frac{\delta \bar{u}_i}{\delta x_i} = 0 \quad (2)$$

Dimana adalah \bar{u} kecepatan, \bar{p} adalah tekanan, adalah ν viskositas kinematik.



Gambar 2. Turbin Darrieus yang akan digunakan pada saluran irigasi.

Langkah selanjutnya yaitu menentukan kondisi batas atau dikenal dengan istilah *boundary condition*. Kondisi batas penelitian simulasi penelitian ini yaitu turbin pada saluran irigasi ditunjukkan pada Gambar 3. Kemudian, pada tahapan pre-processing yaitu membuat meshing atau membagi objek menjadi bagian-bagian kecil. Jenis mesh yang digunakan pada simulasi penelitian ini yaitu tetrahedral dengan elemen

size 0.002 m seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Meshing pada penelitian ini memiliki nilai skewness 0.24 dan nilai orthogonal 0.72. Berdasarkan kedua hasil tersebut menandakan mesh memiliki kualitas bagus dan dapat diterima. Tahap selanjutnya dikenal dengan istilah pro-processing yaitu tahapan parameter yang digunakan pada simulasi. Simulasi dilakukan pada kondisi *steady* dengan mengaktifkan percepatan gravitasi pada sumbu vertikal negatif atau sumbu z. Adapun propertis material yaitu *fiberglass* dan fluida air (water) yang digunakan disajikan pada Tabel 1. Kemudian, parameter-parameter yang diaplikasikan pada tahapan *pro-processing* disajikan pada Tabel 2.

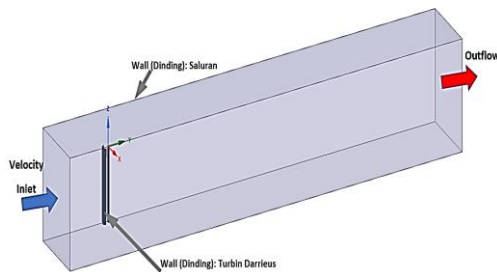
Tabel 1. Properties Material dan Fluida

Material	Propertis	Nilai
Fiberglass	Density	2.60 g/cc
	Specific heat	0.810 J/g-°C pada Temperatur 23.0 °C
	Thermal conductivity	1.30 W/m-K
Air (Water)	Density	998.2 kg/m ³
	Viscosity	0.001003 kg/m.s

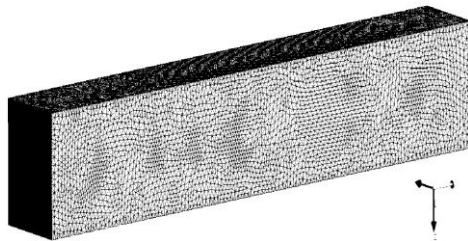
Tahapan selanjutnya yaitu menggunakan parameter simulasi pada penelitian yang serupa yang serupa yaitu simulasi aliran fluida pada turbin Darrieus. Hal tersebut dilakukan agar hasil mendekati relevan. Adapun beberapa parameter yang digunakan disajikan pada Tabel 2 (Fertahiabd, 2018).

Tabel 2. Parameter pada *Pro-processing*

Parameter	Keterangan
Solver type	Pressured-Based SIMPLE
Viscous	Realizable k-epsilon SST
Discretization	Second order upwind
Continuity	10^{-6}
Velocity inlet	1.5 m/s



Gambar 3. Kondisi batas pemodelan.



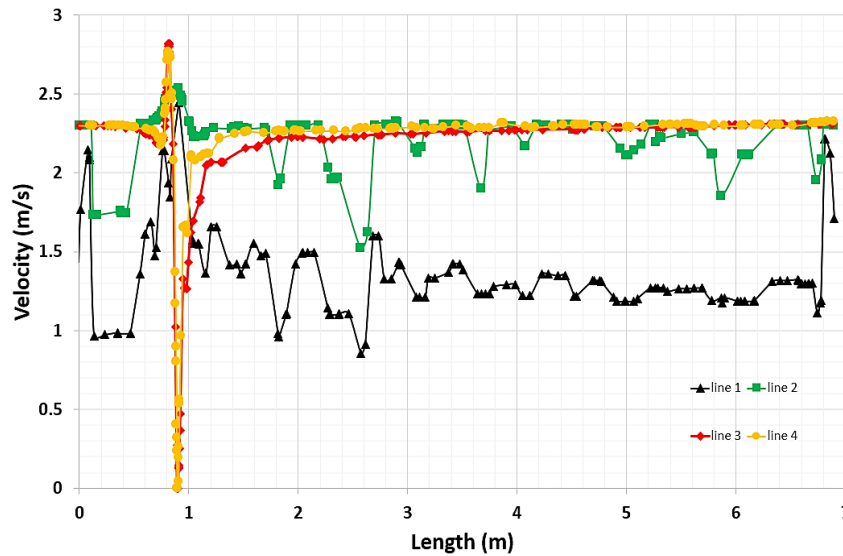
Gambar 4. Meshing.

HASIL DAN PEMBAHASAN

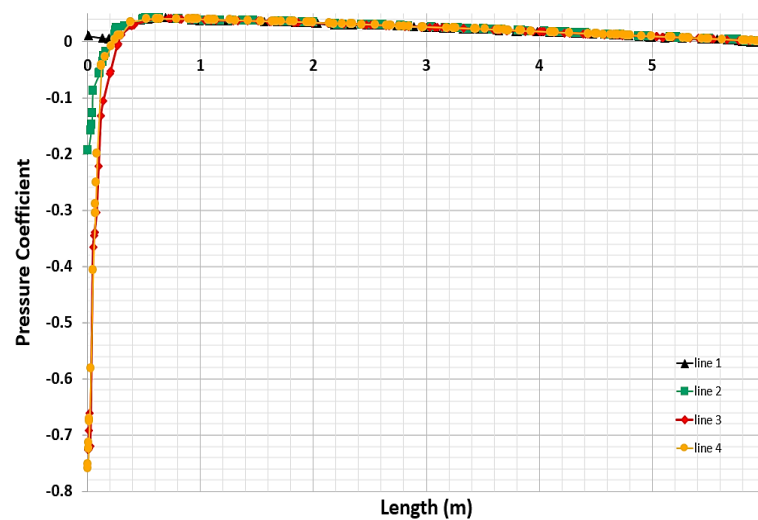
Gambar 5 menunjukkan kecepatan fluida dari saluran masuk hingga sepanjang saluran. Terdapat empat garis atau garis pengambilan data. Garis 1 yaitu berada paling mendekati permukaan fluida atau $z=0.2\text{m}$. Garis 2 yaitu berada di bawah garis 1 dan menyentuh turbin atau $z=0.35\text{ m}$.

Garis 3 yaitu berada pada posisi tengah turbin atau $z=0.5\text{m}$, dan garis 4 berada di posisi paling bawah mendekati permukaan dasar atau $z=0.7\text{m}$. Berdasarkan Gambar 5, kecepatan pada garis 1 memiliki nilai paling rendah di antara variasi yang lain yaitu sekitar $1-2\text{ m/s}$. Kecepatan fluida disepanjang saluran mengalami peningkatan. Ketika berada pada posisi garis 2 dan garis 3. Hal tersebut disebabkan olakan yang dihasilkan oleh putaran turbin. Sedangkan kecepatan pada garis 4 memiliki nilai lebih rendah daripada garis 2 dan garis 3. Hal tersebut diakibatkan posisi dibawah turbin sehingga putaran turbin tidak terlalu berdampak pada kecepatan di posisi garis 4. Pada keempat posisi garis kecepatan mengalami kenaikan pada $y=0.7\text{m}$ atau ketika fluida mengenai turbin. Kenaikan kecepatan fluida inilah yang diharapkan dapat memutar turbin.

Gambar 6 menunjukkan *pressure coefficient* (C_p) fluida disepanjang saluran, sama dengan pembahasan sebelumnya yaitu berada pada empat posisi. Berdasarkan gambar 6 *pressure coefficient* memiliki nilai relative sama yaitu perlahan meningkat sehingga mendekati posisi turbin yaitu $Y=0.7\text{m}$ kemudian *pressure coefficient* bernilai relatif konstan disepanjang saluran dimana profil C_p cenderung parabolik atau mirip dengan hasil simulasi pada turbin air tipe Darrieus (Fertahiabd, 2018) dan pada tipe Savonius (Fakhrul, 2021).



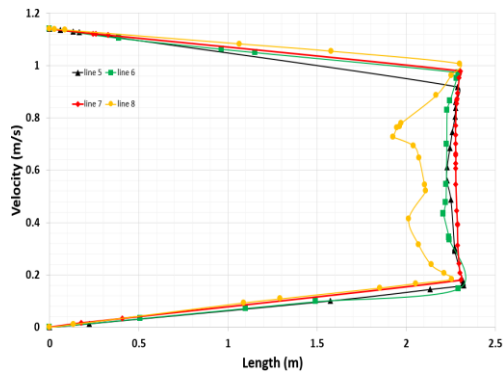
Gambar 5. Grafik kecepatan fluida di sepanjang saluran pada sumbu horizontal



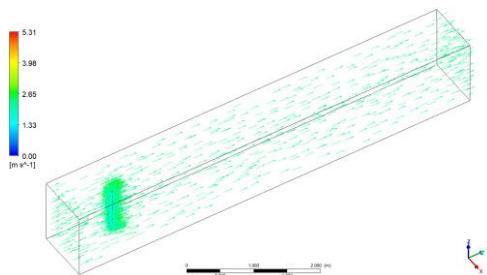
Gambar 6. Grafik *pressure coefficient* di sepanjang saluran pada sumbu horizontal.

Gambar 7 menunjukkan kecepatan fluida disepanjang sumbu z yaitu dari permukaan fluida hingga permukaan dasar saluran, terdapat empat posisi pengambilan data. Garis 5 yaitu berada paling dekat dengan saluran masuk sebelum mengenai turbin. Garis 6 yaitu berada mendekati turbin atau $y = 0.9\text{m}$. garis 7 yaitu berada dibelakang turbin atau

$y = 1.5\text{m}$ dan garis 8 yaitu berada di belakang garis 6 atau $y = 2.5\text{m}$. Berdasarkan Gambar 9, keempat grafik mengalami kenaikan kecepatan fluida pada saat berada di posisi sepanjang turbin atau posisi $y = 2,45\text{m}$. Hal tersebut dikarenakan terjadi aliran balik pada posisi turbin yang diperjelas pada Gambar 8.



Gambar 7. Grafik kecepatan fluida di sepanjang saluran pada sumbu vertikal.

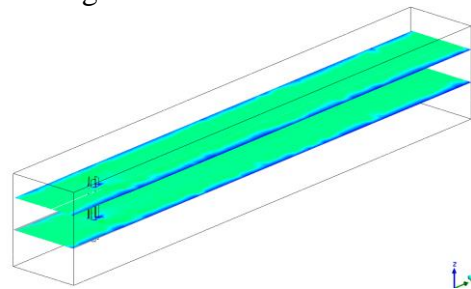


Gambar 8. Vektor kecepatan fluida di sepanjang saluran

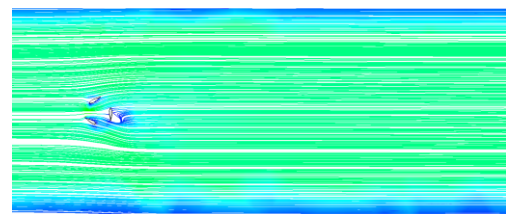
Gambar 8 menunjukkan vektor kecepatan fluida disepanjang saluran dengan kecepatan maksimum sekitar 2.8 m/s. Sedangkan, aliran balik fluida setelah melewati turbin dapat dilihat pada Gambar 9 yang disajikan pada dua posisi. Gambar 10 menunjukkan pola aliran fluida pada bidang XY.

Pada Gambar 10 disajikan streamline aliran pada beberapa posisi bidang sumbu y antara lain: $y=0.2\text{m}$, $y=0.7\text{m}$, $y=1.4\text{m}$, dan 2.1m . Gambar 10 menunjukkan terjadi olakan fluida ketika dan setelah melewati turbin. Kecepatan fluida memiliki nilai tinggi dibagian tengah saluran ditandai dengan warna hijau dan memiliki nilai rendah pada sisi tepi saluran ditandai warna biru. Olakan aliran atau aliran balik atau dikenal dengan vortex terjadi setelah

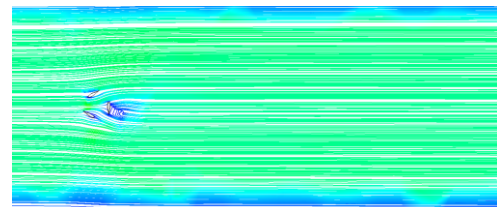
aliran fluida melewati benda yaitu turbin. Hal serupa terjadi pada simulasi turbin arus laut ketika aliran melintasi disk (Badoe, 2022). Rendahnya nilai kecepatan diakibatkan adanya gesekan dengan dinding.



(a)



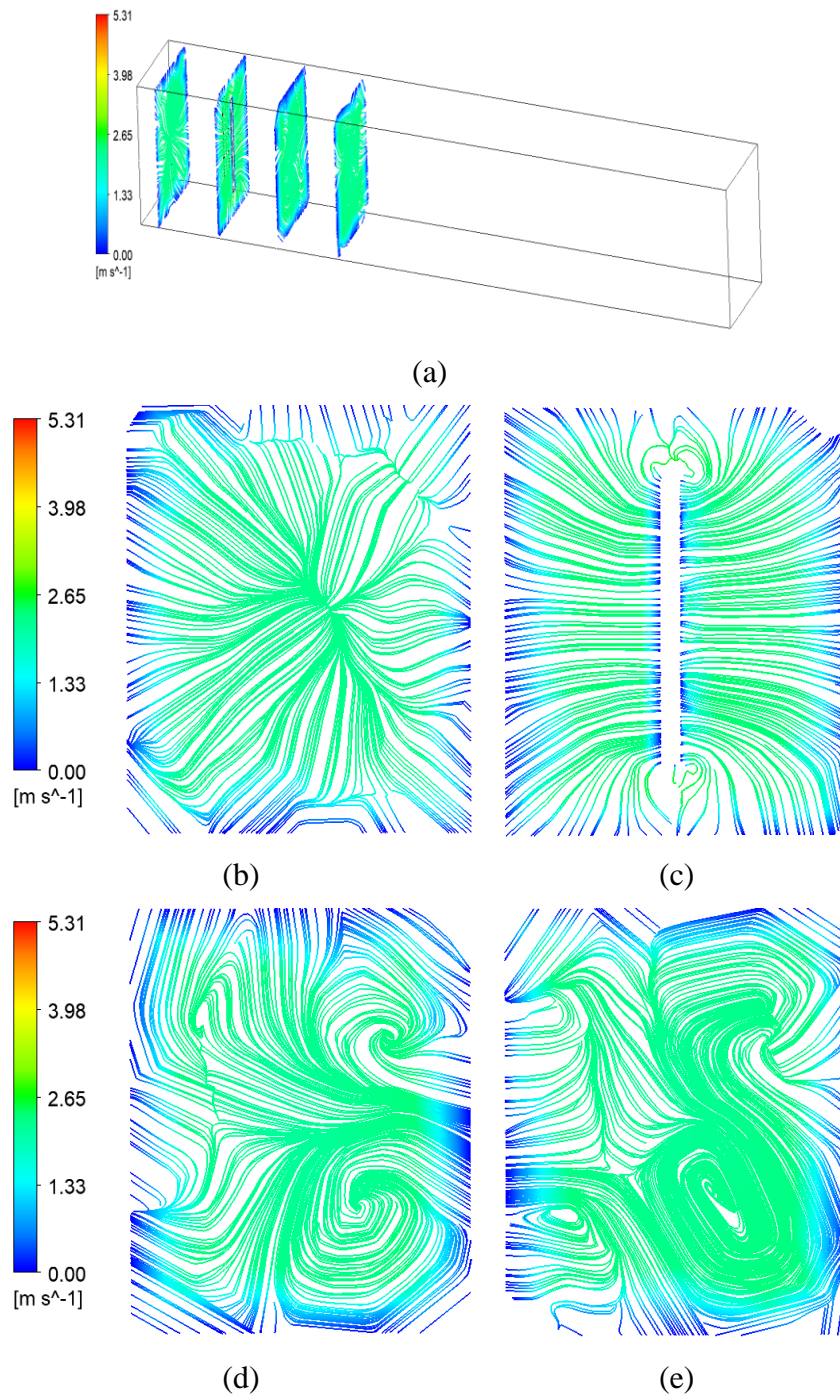
(b)



(c)

Gambar 9. Streamline aliran fluida di sepanjang saluran bidang horizontal pada pandangan (a) isometris, (b) $z=0.2\text{m}$, (c) $z=0.35\text{m}$.

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan peletakan turbin yang tidak terlalu dekat dengan saluran masuk aliran fluida sudah dapat dikatakan cukup baik. Hal tersebut terlihat dari tidak terbentuknya aliran balik di depan turbin. Diharapkan setelah penelitian ini pengujian eksperimen dapat dilakukan.



Gambar 10. Streamline aliran fluida di sepanjang saluran bidang vertikal pada pandangan (a) isometris, (b) $y= 0.2\text{m}$, (c) $y= 0.7\text{m}$, (d) $y= 1.4\text{m}$, (e) 2.1m .

KESIMPULAN

Pada keempat posisi garis kecepatan mengalami kenaikan pada $y=0.7\text{ m}$ atau ketika fluida mengenai turbin.

Kenaikan kecepatan fluida inilah yang diharapkan dapat memutar turbin. Hasil penelitian juga menyertakan distribusi aliran berupa

streamline pada beberapa posisi dimana aliran yang besinggungan dengan dinding saluran memiliki nilai kecepatan yang rendah akibat adanya gesekan dengan dinding.

DAFTAR PUSTAKA

- Badoe, C.E., Edmunds, M., Williams A.J., Nambiar, A., Sellar B., Kiprakis, A. & Masters I. (2022), Robust validation of a generalised actuator disk CFD model for tidal turbine analysis using the FloWave ocean energy research facility. *Renewable Energy*, Vol 190 pp 232-250. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.109>
- Bai, G., Fan, J., Pengfei, Li & Guojun, (2013), Numerical investigations of the effects of different arrays on power extractions of horizontal axis tidal current turbines. *Renewable Energy*, Vol. 53. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.10.048>
- Elke, D.G. (2022). Exposure to wind turbines, regional identity and the willingness to pay for regionally produced electricity. *Resource and Energy Economics*, Vol. 70. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2022.101332>
- Data Badan Pusat Statistik, 2021.
- Widyantama, F., Suanggana, D. & Gunawan, G. (2021). Simulasi CFD Pengaruh Penggunaan Deflektor Pelat Lengkung terhadap Performa Turbin Air Savonius Sumbu Vertikal Dua Sudu. *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol. 16, No. 2, pp 234-240. <http://dx.doi.org/10.32497/jrm.v16i2.2577>
- Fertahiabd, S., Bouhalabd, T., Omar, R., Kousksou, T., Arida, A., Rhafiki, T., Jamil, A. & Benbassou, A. (2018). CFD performance enhancement of a low cut-in speed current Vertical Tidal Turbine through the nested hybridization of Savonius and Darrieus. *Energy Conversion and Management*, Vol. 169, pp 266-278. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.027>
- Finnegan, W., Jiang, Y., Meiera, P., Hung, L.C., Fagan, E., Wallace F., Glennon, C., Flanagan, M., Flanagan, T. & Goggins, J. (2022). Numerical modelling, manufacture and structural testing of a full-scale 1 MW tidal turbine blade. *Ocean Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112717>
- Lloyd, T.P., Turnock, S.R. & Humphrey, V.F. (2014). Assessing the influence of inflow turbulence on noise and performance of a tidal turbine using large eddy simulations. *Renewable Energy*, Vol. pp 742-754. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.06.011>
- Ouro, P., Ramírez, L. & Harrold, M. (2019), Analysis of array spacing on tidal stream turbine farm performance using Large-Eddy Simulation. *Journal of Fluids and Structures*, Vol. 91. <https://doi.org/10.1016/j.jfluidsstructs.2019.102732>

- Palliwal, A., Song, S., WahTan, T. & Biljecki, F. (2021). 3D city models for urban farming site identification in buildings. *Computers, Environment and Urban Systems*, Vol. 86. <https://doi.org/10.1016/j.compeuvrbsys.2020.101584>
- Ramdhani, M.A., Nugroho, S., & Diana, L. (2019). Performance Analysis of Helical Savonius River Current Turbine Using Computational Fluid Dynamic. *International Electronics Symposium: The Role of Techno-Intelligence in Creating an Open Energy System Towards Energy Democracy*, Proceedings, pp. 595–600. [DOI:10.1109/ELECSYM.2019.8901584](https://doi.org/10.1109/ELECSYM.2019.8901584)
- Ramin, A., Roozbeh, A., Fardian, F., Kolor, S., Saeid, R. & Petrú, M. (2020). Performance improvement of a new proposed Savonius hydrokinetic turbine: a numerical investigation. *Energy Reports*, Vol. 6, pp 3051–3066. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.10.072>
- William, H., Takafumi, N. & Richard, H.J. (2015). Investigation of tidal turbine array tuning using 3D Reynolds-Averaged Navier–Stokes Simulations, *International Journal of Marine Energy*. Vol. 10, pp 39-51. <https://doi.org/10.1016/j.ijome.2015.01.002>
- Zhu, Q. & Yan, J. (2021). A moving-domain CFD solver in FEniCS with applications to tidal turbine simulations in turbulent flows. *Computers & Mathematics with Applications*. Vol. 81. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2019.07.034>