

Simulasi *Computational Fluid Dynamics Tunnel Diffuser Turbin Arus Laut Sumbu Vertikal*

Hardi Gunawan^{1*}, Nanang Ruhyat¹, Hadi Pranoto¹

¹Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana
Jl. Meruya Selatan, No.1 Jakarta Barat 11650

*Corresponding author: hardi97gunawan@gmail.com

Abstract

Ocean current power plants are one of the innovative solutions in producing electrical energy in a sustainable and environmentally friendly manner. However, the speed of ocean currents in Indonesia is relatively low, ranging from 0.1 m/s to 2.0 m/s and the efficiency of ocean current turbines is still low. Therefore, technology is needed to increase the speed of ocean currents so that the results are more efficient. The purpose of this study is to create a design model and simulation of a tunnel diffuser that represents the physical structure and key components of the ocean current power plants. The simulation was carried out on a tunnel diffuser of a vertical axis ocean current turbine using Solidworks Computational Fluid Dynamics software, with a variation of current velocity of 0.5 m/s and 2.0 m/s. The results of the study in the simulation of the sea current speed of 0.5 m/s, the speed increased to 0.9 m/s, while the sea current speed of 2.0 obtained an increase in the speed of the sea current to 3.5 m/s. From this tunnel construction design simulation, it is shown that the tunnel construction designed on the vertical axis ocean current turbine has an effect in increasing the speed of incoming ocean currents, and making the flow that was originally turbulent into a laminar flow after entering the tunnel. So that incoming ocean currents rotate turbines can improve turbine performance.

Keywords: ocean current turbine, design, tunnel diffuser, computational fluid dynamics

Abstrak

Pembangkit listrik tenaga arus laut (PLTAL) merupakan salah satu solusi inovatif dalam menghasilkan energi listrik secara berkelanjutan dan ramah lingkungan. Namun, kecepatan arus laut di Indonesia relatif rendah, berkisar antara 0,1 m/s hingga 2,0 m/s serta efisiensi turbin arus laut yang masih rendah. Oleh karena itu, diperlukan teknologi untuk meningkatkan kecepatan arus laut agar hasilnya lebih efisien. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat model desain dan simulasi tunnel diffuser yang mewakili struktur fisik dan komponen kunci pembangkit listrik tenaga arus laut. Simulasi dilakukan pada tunnel diffuser turbin arus laut sumbu vertikal menggunakan perangkat lunak Solidworks Computational Fluid Dynamics, dengan variasi kecepatan arus 0,5 m/s dan 2,0 m/s. Hasil penelitian pada simulasi kecepatan arus laut 0,5 m/s, kecepatan meningkat menjadi 0,9 m/s, sedangkan kecepatan arus laut 2,0 mendapatkan peningkatan kecepatan arus laut menjadi 3,5 m/s.. Dari simulasi desain konstruksi terowongan ini, menunjukkan bahwa konstruksi terowongan yang dirancang pada turbin arus laut sumbu vertikal berpengaruh dalam meningkatkan kecepatan arus laut yang masuk, dan membuat aliran yang semula turbulen menjadi aliran laminar setelah memasuki terowongan. Sehingga arus laut yang masuk memutar turbin dapat meningkatkan kinerja turbin.

Kata kunci: turbin arus laut, desain, tunnel diffuser, computational fluid dynamics.

1. Pendahuluan

Indonesia adalah salah satu negara yang paling berpotensi dalam menerapkan pembangkit listrik tenaga arus laut. Dikarenakan dua per tiga luas wilayah Indonesia adalah lautan memiliki potensi yang sangat besar untuk menghasilkan energi laut. Sebagai negara kepulauan, dengan potensi ribuan selat dapat dimanfaatkan sebagai sumber arus laut sebagai sumber energi listrik. Listrik dihasilkan diperoleh dari rotor turbin yang

berputar akibat gaya aliran arus laut [1]. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, keadaan kecepatan arus laut Indonesia umumnya kurang dari 1,5 m/s dan efisiensi turbin arus laut yang rendah akan menjadi kendala dalam penerapan turbin arus laut [2].

Profil kecepatan aliran masuk yang tidak seragam dapat mempengaruhi kinerja turbin sehingga efisiensinya rendah [3][4]. Karakteristik turbulensi aliran masuk dari eksperimen skala kecil dan model numerik



turbin saat ini sering kali dilaporkan mengurangi efisiensi kinerja turbin arus laut [5]. Intensitas turbulensi arus laut dapat mempengaruhi kinerja turbin tetapi, yang paling penting adalah bentuk desain rancang bangun pembangkit listrik tenaga arus laut [6]. Dalam upaya meningkatkan Head turbin dan efisiensi maka kecepatan aliran harus ditingkatkan dengan menggunakan prinsip tabung ventury [7]. Setiap metodologi pengoptimalan turbin arus laut perlu mempertimbangkan diffuser karena dapat mengintensifkan kavitas pada bilah hidrokinetik [8]. Penelitian yang ada menyimpulkan bahwa augmentasi diffuser adalah pilihan yang unggul untuk meningkatkan kinerja turbin [9].

Penggunaan diffuser pada turbin arus laut dapat meningkatkan kinerja turbin dengan meningkatkan laju aliran arus yang melalui bilah turbin [10]. Diffuser awalnya dikembangkan pada komponen turbin angin yang berfungsi untuk mempercepat dan mengarahkan aliran udara ke rotor turbin angin untuk menghasilkan putaran yang lebih tinggi dan output daya yang lebih besar dibandingkan tanpa diffuser [11]. Penelitian sebelumnya yang dilakukan tinjauan sistematis diffuser augmented diterapkan pada turbin arus laut sumbu horizontal memberikan pengetahuan bahwa turbin diffuser augmented menghasilkan efisiensi yang tinggi jika dibandingkan dengan turbin yang tidak memiliki diffuser [12][13]. Penelitian diffuser turbin horizontal mendapatkan hasil koefisien daya turbin di bawah efek diffuser dapat meningkat sekitar 55% dibandingkan dengan turbin yang sama tanpa diffuser [14]. Elemen diffuser ditambahkan untuk menguji potensi melampaui batas efisiensi teoritis dengan mempercepat arus di arah aksial [15].

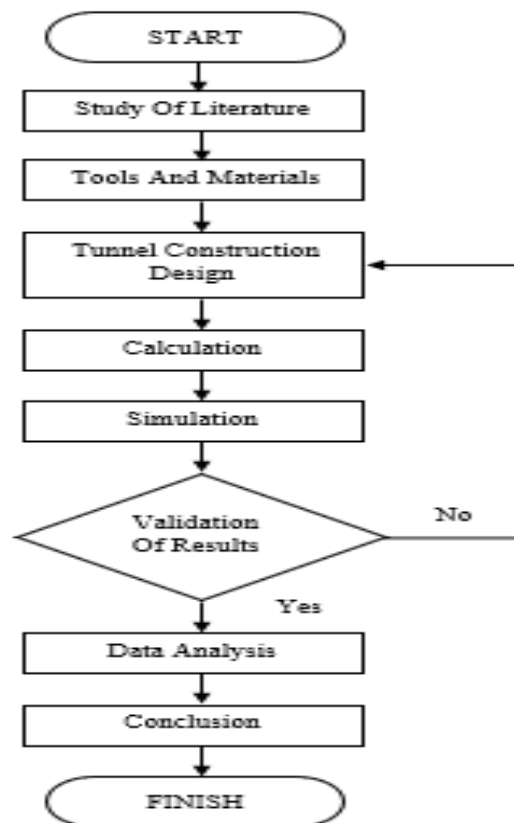
Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu dibutuhkan pengarah dalam upaya penyeragaman arus laut yang berdampak pada peningkatan efisiensi dari turbin gorlov tersebut dan *tunnel diffuser* perlu dilakukan simulasi pengujian bagaimana pengaruh perbedaan kecepatan arus laut awal yang masuk terhadap kecepatan arus yang dihasilkan. Penelitian dengan simulasi *computational fluid dynamics* dilakukan untuk mengetahui fenomena aliran arus yang masuk menuju turbin [16].

Tujuan penelitian ini adalah membuat perancangan *tunnel diffuser* pada

turbin arus laut sumbu vertikal yang memang sesuai ketika diterapkan, serta menganalisis *tunnel diffuser* diselesaikan dengan metode simulasi Computational Fluid Dynamics. Sampai saat ini, masih kurangnya pengkajian dan penelitian tentang desain *tunnel diffuser* pada turbin arus laut sumbu vertikal pembangkit listrik tenaga arus laut dengan kesesuaian kondisi geografi Indonesia. Simulasi perancangan *tunnel diffuser* turbin arus laut sumbu vertikal pembangkit listrik tenaga arus laut dibuat untuk memvisualisasikan konsep dan mekanisme operasional dari teknologi ini.

2. Metode Penelitian

Metodologi penelitian merupakan cara atau prosedur yang berisi tahapan-tahapan yang jelas yang disusun secara sistematis dalam proses penelitian. Setiap tahapan maupun bagian yang menentukan tahapan selanjutnya sehingga harus dilalui secara teliti dengan menggunakan flowchart yang di tunjukan pada gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan adalah metode studi kepustakaan dan metode penelitian simulasi. Metode

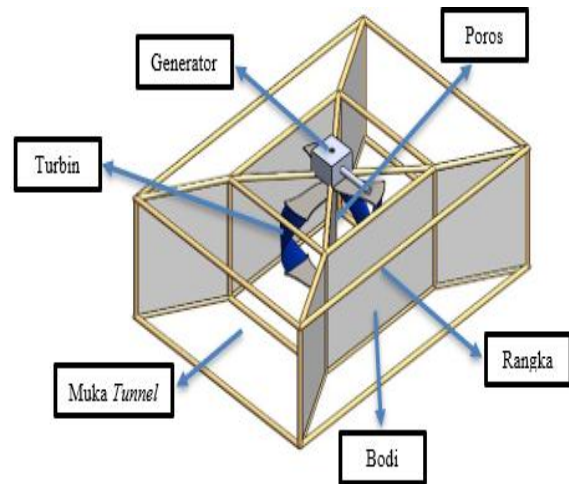
studi kepustakaan bertujuan untuk mengumpulkan, mengevaluasi, dan menganalisis literatur yang relevan dengan topik penelitian. Dalam konteks penelitian ini, studi kepustakaan digunakan untuk mencari dan mengidentifikasi materi yang mendukung serta sesuai dengan tema penelitian. Materi-materi ini digunakan sebagai bahan perbandingan dan dasar teori dalam perancangan rangkaian yang dibuat. Dengan mengkaji literatur yang ada, peneliti dapat memperoleh pemahaman lebih mendalam tentang konsep yang sudah ada, serta menemukan celah atau kekurangan yang bisa diisi oleh penelitian ini.

Sedangkan metode penelitian simulasi atau eksperimental adalah simulasi yang digunakan untuk menguji dan mengevaluasi perancangan *tunnel diffuser*, dengan fokus pada peningkatan kecepatan arus laut. Metode ini melibatkan kontrol dan pengaturan variabel-variabel tertentu untuk menilai bagaimana perubahan dalam desain atau parameter lainnya mempengaruhi hasil akhir. Simulasi ini memungkinkan peneliti untuk mengeksplorasi berbagai skenario dan memprediksi hasil tanpa harus melakukan eksperimen fisik yang mungkin memerlukan biaya tinggi atau berisiko. Dengan mengadakan simulasi pada obyek penelitian serta adanya kontrol. Pada perancangan ini dijelaskan teknik pengujian simulasi *tunnel diffuser* tersebut dilakukan hingga diperoleh peningkatan kecepatan arus laut.

2.1 Desain Tunnel Diffuser

Pada tahap ini, desain tunnel diffuser turbin arus laut sumbu vertikal dibuat menggunakan perangkat lunak *SolidWorks 2018* dan metode simulasi desain dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Desain tunnel diffuser dapat dilihat pada gambar 2.

Desain tersebut dibuat secara lengkap dan terperinci dari setiap bagian, sedangkan penjabaran dimensi dari desain *tunnel diffuser* dapat di lihat pada tabel 1.



Gambar 2. Desain Tunnel Diffuser

Tabel 1. Dimensi Tunnel Diffuser

Spesifikasi	Ukuran	Satuan
Panjang tunnel diffuser	1600	Milimeter
Lebar dalam tunnel diffuser	700	Milimeter
Lebar luar tunnel diffuser	1200	Milimeter
Tinggi tunnel diffuser	500	Milimeter
Panjang ruang arus tunnel diffuser	800	Milimeter
Sudut buka tunnel diffuser	30	Derajat (°)

2.2 Persamaan Matematik

Untuk menghitung reynold number maka perlu mengetahui massa jenis, kecepatan arus, panjang tunnel, dan viskositas dinamik. Dalam pembuatan kontruksi tunnel hal tersebut sangat mempengaruhi, maka perhitungan menggunakan persamaan satu. Sehingga bilangan reynold dapat dihitung sebesar [17]:

$$Re = \frac{\rho v p}{\mu} \quad (1)$$

Dimana:

ρ = massa jenis (Kg/m³)

v = kecepatan arus (m/s)

p = panjang (m)

μ = dinamik viskositas (Kg/ms)

Debit aliran fluida merupakan rumus yang digunakan dalam menghitung kecepatan aliran fluida, Untuk mengetahui

debit aliran fluida dapat menggunakan persamaan dua yaitu sebagai berikut:

$$Q = A \cdot V \quad (2)$$

Dimana:

Q = debit aliran (m³/s)

A = luas penampang (m²)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

Asas kontinuitas mengatur laju aliran fluida di dalam pipa. Menurut prinsip ini, fluida yang tunak dan tidak termampatkan memiliki debit yang tetap di setiap titik di sepanjang pipa, yang berarti bahwa laju aliran fluida akan berbanding terbalik dengan luas penampang pipa. Dengan kata lain, semakin besar luas penampang pipa yang dilewati fluida, semakin kecil kelajuan fluidanya, dan sebaliknya semakin kecil luas penampang pipa yang dilewati air. Asas kontinuitas dapat dirumuskan secara matematis sebagai berikut.

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (3)$$

Dimana:

A = luas penampang (m²)

1 = masuk dalam sistem

2 = keluar batas sistem

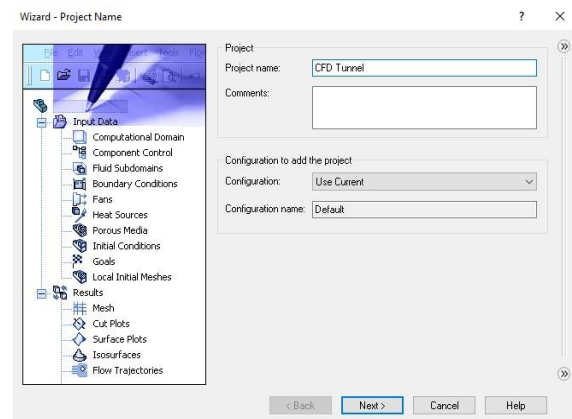
V = kecepatan aliran fluida (m/s)

2.3 Proses Simulasi *Tunnel Diffuser*

Proses simulasi alat menggunakan *Solidworks Flow Simulation Computational Fluid Dynamics (CFD)* ilmu yang mempelajari cara memprediksi pola aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika atau model matematika. Pada umumnya proses perhitungan untuk aliran fluida diselesaikan dengan menggunakan persamaan energi, momentum dan kontinuitas [18].

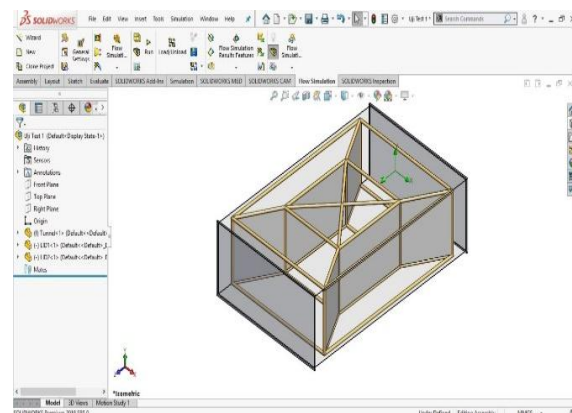
Proses simulasi desain dengan kecepatan arus yang digunakan berdasarkan data kecepatan arus laut yaitu dengan variasi kecepatan 0,5 m/s, dan 2,0 m/s. Dalam simulasi konstruksi *tunnel* parameter yang akan bekerja adalah pengujian tekanan, kecepatan arus, dan kontinuitas yang terjadi pada konstruksi *tunnel* dengan hasil yang diharapkan menggunakan konstruksi *tunnel* dapat menambah kecepatan arus sehingga dapat meningkatkan efisiensi turbin. Pada tahap simulasi ini terdiri dari empat tahapan yaitu: *Wizard*, *Setup*, *Solver* dan *Result*. Dalam menu *wizard* memasukan data

kondisi yang sesuai agar terlihat seperti melakukan pengujian secara nyata.



Gambar 3: Tampilan Menu *Wizard*

Kemudian ketahap *setup* akan dilakukan beberapa pengaturan berdasarkan permasalahan yang akan dianalisis. Mensimulasikan aliran fluida pada variasi kecepatan 0,5 m/s, dan 2,0 m/s, langkah yang dilakukan meliputi pengaturan analisis *computational domain*, *rotating region*, *boundary condition*, dan *goals* yang ingin dicapai.



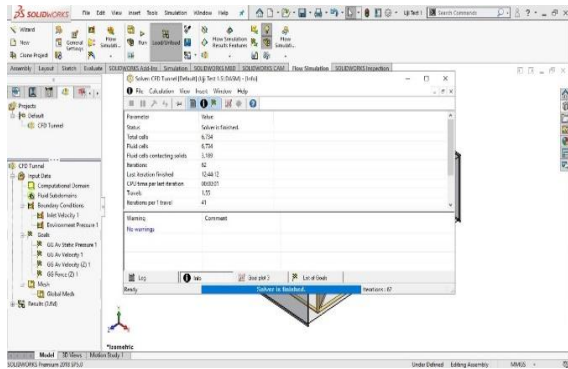
Gambar 4: Tahap *Setup*

Selanjutnya memasuki tahap *solver* adalah tahap perhitungan numeris oleh aplikasi *Solidworks Flow Simulation*, pada tahap ini, langkah yang dilakukan adalah menjalankan proses simulasi alat dengan mengklik *run*.

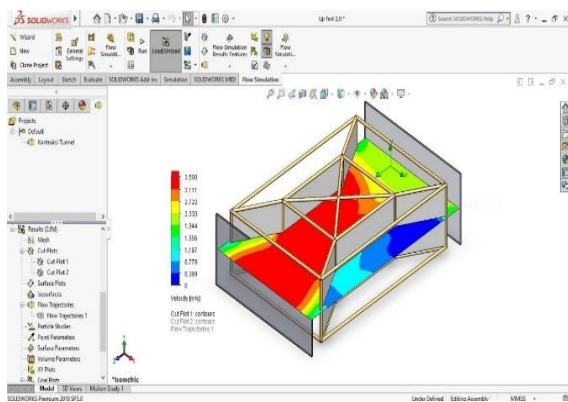
Tahap yang terakhir ini adalah tahap *result* yaitu untuk menampilkan hasil dari perhitungan numeris.

Beberapa hal yang dapat dilakukan untuk melihat hasil pada tahap ini adalah menampilkan *Cut Plot*, *Flow Trajectories*, *Surface Plot*, *Goals*, dan yang lainnya sesuai

kebutuhan. *Goals* yang sudah kita inginkan dapat dipindahkan secara otomatis ke *MS excel* dengan mudah.



Gambar 5. Tahap Solver



Gambar 6. Tahap Result

3 Hasil dan Pembahasan

Dalam perhitungan teknis, langkah-langkah penyelesaian dimulai dengan menerapkan persamaan matematis yang relevan dengan masalah yang dihadapi. Setiap variabel dalam persamaan diisi dengan nilai-nilai yang sesuai, berdasarkan data atau kondisi yang diberikan dalam soal. Setelah nilai-nilai tersebut dimasukkan ke dalam persamaan, dilakukan proses perhitungan yang cermat untuk memastikan bahwa setiap langkah penghitungan dijalankan dengan tepat dan konsisten.

Selanjutnya terdapat beberapa tahapan dalam proses perhitungan, hasil sementara diperiksa untuk menghindari kesalahan sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya. Dengan cara ini, hasil akhir yang diperoleh dapat dijamin keakuratannya dan sesuai dengan tujuan penyelesaian masalah. Hasil perhitungan dilakukan dengan rumus persamaan matematis yang digunakan

sehingga mendapatkan jawaban dari persoalan yang akan diselesaikan.

3.1 Hasil Perhitungan Matematik

Dari perhitungan yang menggunakan rumus satu mencari nilai reynold number maka hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Reynold Number

No.	Kecepatan Arus	Nilai Re
1	Arus 0,5 m/s	501,253
2	Arus 2,0 m/s	200,501

Maka didapatkan nilai reynold number sebesar 501,253 dari kecepatan arus 0,5 m/s, dan pada kecepatan arus 2,0 m/s mendapatkan hasil sebesar 200,501. Dapat disimpulkan jenis aliran yang terdapat pada *tunnel* adalah jenis aliran fluida laminar dikarenakan bilangan Reynold kurang dari 2000.

Perhitungan yang menggunakan rumus dua mencari nilai debit aliran fluida maka hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini:

Tabel 3. Hasil Perhitungan Debit Aliran Fluida

No.	Kecepatan Arus	Nilai Q
1	Arus 0,5 m/s	0,31 m ³ /s
2	Arus 2,0 m/s	1,22 m ³ /s

Sedangkan perhitungan yang menggunakan rumus tiga mencari persamaan kontinuitas maka hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4 dibawah ini:

Tabel 4. Hasil Perhitungan Persamaan Kontinuitas

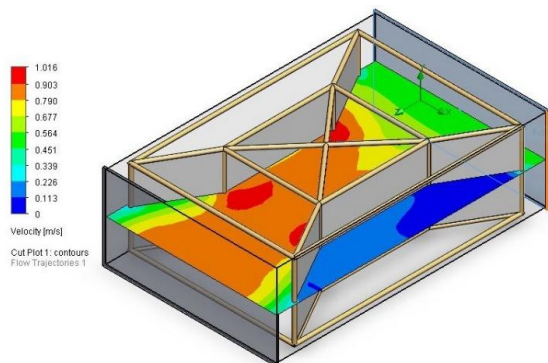
No.	Kecepatan Arus	Nilai
1	Arus 0,5 m/s	0,94 m/s
2	Arus 2,0 m/s	3,42 m/s

Hasil perhitungan persamaan kontinuitas menunjukkan bahwa kecepatan arus yang masuk mengalami peningkatan dengan arus awal yaitu 0,5 m/s meningkat menjadi 0,94 m/s. Sedangkan pada kecepatan arus 2,0 m/s meningkat menjadi 3,42 m/s. Maka *tunnel diffuser* turbin arus laut sumbu vertikal yang dibuat dapat meningkatkan kecepatan arus laut.

3.2 Hasil Simulasi *Tunnel Diffuser*

Dari hasil semua perhitungan dapat dilihat pada tahap *Result*, dibagian ini dapat menunjukkan *contour* dari beberapa parameter hasil simulasi dan juga *flow trajectories* sebagai penunjuk arah dari Bergeraknya arus yang melalui *tunnel diffuser*. Desain *tunnel diffuser* dilakukan simulasi yang serupa dengan kondisi dan *setup* yang sama tanpa ada perubahan *goals* yang di cari, *Flow Simulation* menjadi perangkat lunak yang digunakan sebagai alat penelitian penulis. Berikut adalah *goals* yang dicari mulai dari simulasi *tunnel diffuser* turbin arus laut sumbu vertikal.

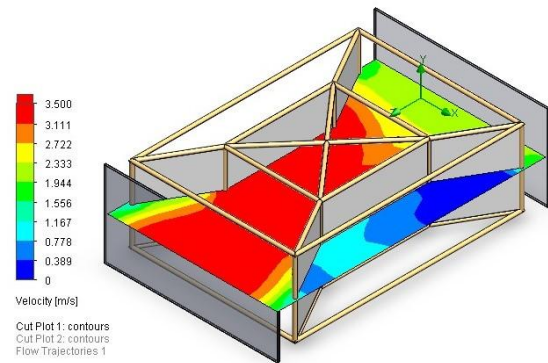
Hasil simulasi *tunnel diffuser* dengan kecepatan arus 0.5 m/s dari simulasi *Computational Fluid Dynamic tunnel diffuser* maka didapatkan *cut-plot velocity* yang ditunjukkan pada gambar 7 dibawah ini:



Gambar 7. Simulasi Arus 0,5 m/s.

Simulasi menunjukkan terjadi peningkatan kecepatan arus laut setelah masuk kedalam *tunnel diffuser*, arus awal sebesar 0,5 m/s mengalami peningkatan kecepatan arus hingga 0,9 m/s setelah memasuki *tunnel diffuser*.

Sedangkan pada hasil simulasi *tunnel diffuser* dengan kecepatan arus 2,0 m/s dari simulasi *Computational Fluid Dynamic* konstruksi *tunnel* maka didapatkan *cut-plot velocity* yang ditunjukkan pada gambar 8 dibawah ini:



Gambar 8. Simulasi Kecepatan Arus 2,0 m/s.

Simulasi menunjukkan terjadi peningkatan kecepatan arus laut setelah masuk kedalam *tunnel diffuser*, arus awal sebesar 2,0 m/s mengalami peningkatan kecepatan arus hingga 3,5 m/s setelah memasuki *tunnel diffuser*. Hasil simulasi dalam penelitian tersebut memberikan data bahwa dari kedua percobaan dengan variasi kecepatan arus laut yang berbeda, dapat dianalisis bahwa dari keduanya terjadi peningkatan kecepatan arus laut yang masuk ke dalam *tunnel diffuser* sehingga berpotensi meningkatkan kinerja sumbu vertikal turbin arus laut yang terpasang di dalamnya.

Peningkatan kecepatan arus laut ini berfungsi sebagai pendorong utama untuk kinerja turbin, karena energi kinetik yang lebih besar dapat diubah menjadi energi mekanik secara lebih efisien oleh sumbu vertikal turbin. Dengan demikian, turbin mampu menghasilkan keluaran energi yang lebih tinggi. Data eksperimen juga menunjukkan bahwa variasi kecepatan arus laut memiliki korelasi positif dengan kinerja turbin, dimana semakin tinggi kecepatan arus, semakin optimal kinerja turbin dalam menghasilkan listrik.

3.3 Pembahasan

Hasil penelitian ini semakin didukung oleh data simulasi. Kecepatan arus meningkat secara konsisten saat memasuki *tunnel diffuser*, dari dua simulasi analisis eksperimen yang memiliki variasi kecepatan arus laut berbeda. Akselerasi ini sangat penting ketika kecepatan arus laut meningkat, energi kinetik yang dapat diubah menjadi energi mekanik oleh turbin

meningkat, sehingga menghasilkan keluaran energi yang lebih besar. Data simulasi juga menunjukkan bahwa ada korelasi positif antara kinerja turbin dan kecepatan arus laut, kecepatan arus yang lebih tinggi dapat menghasilkan lebih banyak energi dengan cara yang lebih efisien.

Hasil analisis data *tunnel diffuser* digambarkan dalam grafik simulasi yang membandingkan berbagai variasi kecepatan arus laut. Grafik-grafik simulasi ini penting untuk menginterpretasikan data simulasi secara visual karena memungkinkan pemahaman yang lebih mudah tentang bagaimana *tunnel diffuser* mempengaruhi kecepatan arus laut dalam berbagai kondisi. Grafik perbandingan dari dua hasil simulasi, yang dilakukan pada kecepatan awal arus laut yang berbeda, mengungkapkan pola peningkatan kecepatan yang menarik. Untuk kecepatan awal pada arus laut 0,5 m/s menghasilkan peningkatan kecepatan yang relatif sederhana namun signifikan menjadi 0,9 m/s. Sedangkan ketika kecepatan awal arus laut 2,0 m/s mendapatkan hasil peningkatan menjadi 3,5 m/s simulasi menunjukkan akselerasi yang lebih jelas. Fenomena ini menjelaskan bahwa arus yang semakin kuat cenderung mengalami akselerasi yang lebih besar di dalam *tunnel diffuser*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian simulasi *tunnel diffuser* turbin arus laut sumbu vertikal dapat disimpulkan bahwa, *tunnel diffuser* yang di desain pada turbin arus laut sumbu vertikal memiliki pengaruh dalam meningkatkan kecepatan arus laut yang masuk. Pada kecepatan arus laut 0,5 m/s mendapatkan peningkatan kecepatan menjadi 0,9 m/s, sedangkan kecepatan arus laut 2,0 m/s mendapatkan peningkatan kecepatan arus laut menjadi 3,5 m/s.

Dari simulasi desain *tunnel diffuser* ini, menunjukkan penggunaan *tunnel diffuser* dapat membuat aliran arus laut lebih seragam dengan bilangan reynold sebesar 501,253 pada kecepatan arus laut 0,5 m/s sedangkan bilangan reynold 200,501 pada kecepatan arus laut sebesar 2,0 m/s, bilangan

reynold kurang dari 2000, maka dapat disimpulkan bahwa jenis aliran yang terdapat pada *tunnel diffuser* merupakan jenis aliran fluida laminer. Sehingga arus laut yang masuk memutar turbin dapat membuat performa turbin meningkat.

Referensi

- [1] V. Jayaram dan B. Bavanish, "Design and analysis of gorlov helical hydro turbine on index of revolution," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 47, no. 77, hal. 32804–32821, 2022, doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.07.181.
- [2] S. E. Yulianto dan S. A. Irfan, "Analisa Putaran Dan Torsi Turbin Arus Laut Akibat Pengaruh Variasi Diameter Dan Jumlah Blade," hal. 112, 2015, [Daring]. Tersedia pada: <http://repository.its.ac.id/59704/>
- [3] M. M. Naji dan B. A. Jabbar, "Diffuser Augmented Wind Turbine: A Review Study," *AIP Conf. Proc.*, vol. 3051, no. 1, 2024, doi: 10.1063/5.0191895.
- [4] R. S. Iliev, G. Todorov, K. Kamberov, dan B. Zlatev, "Review on the Axial Hydrokinetic Turbines . Field of Application and Efficiency Enhancement Methods Review on the Axial Hydrokinetic Turbines . Field of," 2024, doi: 10.20944/preprints202405.0520.v1.
- [5] E. E. Ambarita, I. Harinaldi, dan Nasruddin, "Computational study on multi-objective optimization of the diffuser augmented horizontal axis tidal turbine," *J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 26, no. 4, hal. 1237–1250, 2021, doi: 10.1007/s00773-021-00812-2.
- [6] N. Nithesh, R. Samant, P. Shenoy, B. Shivamurthy, dan V. Vardhan, "Computational analysis of the effect of diffuser and swirl inducers on the performance of ocean current turbine," *Int. J. Mech. Prod. Eng. Res. Dev.*, vol. 9, no. Special Issue 2, hal. 656–662, 2019.
- [7] W. Khalid, S. Sherbaz, A. Maqsood, dan Z. Hussain, "Design and

- optimization of a diffuser for a horizontal axis hydrokinetic turbine using computational fluid dynamics based surrogate modelling,” *Mechanika*, vol. 26, no. 2, hal. 161–170, 2020, doi: 10.5755/j01.mech.26.2.23511.
- [8] H. P. Picanço, A. K. F. de Lima, D. A. T. D. R. Vaz, E. F. Lins, dan J. R. P. Vaz, “Cavitation Inception on Hydrokinetic Turbine Blades Shrouded by Diffuser,” *Sustain.*, vol. 14, no. 12, 2022, doi: 10.3390/su14127067.
- [9] A. I. Kamil, Harinaldi, dan R. Irwansyah, “A study on the use of brim on a tidal turbine with diffuser augmentation,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2749, no. 1, hal. 170–177, 2023, doi: 10.1063/5.0136150.
- [10] E. J. Limacher, P. O. C. da Silva, P. E. S. Barbosa, dan J. R. P. Vaz, “Large exit flanges in diffuser-augmented turbines lead to sub-optimal performance,” *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 204, no. July, hal. 104228, 2020, doi: 10.1016/j.jweia.2020.104228.
- [11] A. Ilhan, B. Sahin, dan M. Bilgili, “A review: diffuser augmented wind turbine technologies,” *Int. J. Green Energy*, vol. 19, no. 1, hal. 1–27, 2022, doi: 10.1080/15435075.2021.1914628.
- [12] E. E. Ambarita, Harinaldi, R. Azhari, dan R. Irwansyah, “Experimental study on the optimum design of diffuser-augmented horizontal-axis tidal turbine,” *Clean Energy*, vol. 6, no. 5, hal. 776–786, 2022, doi: 10.1093/ce/zkac039.
- [13] H. Wei dan W. Su, “Low-flow ocean current turbine diffuser shroud concentrated and accelerated flow technical research,” *Energy Reports*, vol. 9, hal. 85–93, 2023, doi: 10.1016/j.egyr.2023.05.100.
- [14] J. R. P. Vaz, A. K. F. de Lima, dan E. F. Lins, “Assessment of a Diffuser-Augmented Hydrokinetic Turbine Designed for Harnessing the Flow Energy Downstream of Dams,” *Sustain.*, vol. 15, no. 9, hal. 1–15, 2023, doi: 10.3390/su15097671.
- [15] M. Barbarić dan Z. Guzović, “Investigation of the possibilities to improve hydrodynamic performances of micro-hydrokinetic turbines,” *Energies*, vol. 13, no. 17, 2020, doi: 10.3390/en13174560.
- [16] S. Sudirman dan B. Surono, “Simulasi Aliran Fluida Pada Turbin Savonius Dua Sudu Menggunakan Cfd,” *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 2, hal. 385–390, 2023, doi: 10.24127/trb.v12i2.2926.
- [17] S. Ke, W. Wen-Quan, dan Y. Yan, “The hydrodynamic performance of a tidal-stream turbine in shear flow,” *Ocean Eng.*, vol. 199, no. February, hal. 107035, 2020, doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.107035.
- [18] K. Song, W. Q. Wang, dan Y. Yan, “Numerical and experimental analysis of a diffuser-augmented micro-hydro turbine,” *Ocean Eng.*, vol. 171, no. December 2018, hal. 590–602, 2019, doi: 10.1016/j.oceaneng.2018.12.028.