

Analisis Kinerja Turbin Hidrokinetik Dengan Selubung Diffuser Pada Kondisi Yaw Misalignment Berdasarkan Variasi Kecepatan Aliran Air

Nasrullah¹, Nofriadi², Nasirwan³, Desmarita Leni^{4*}, Dytchia Septi Kesuma⁵

^{1,2,3}Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang

⁴Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat

⁵Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat

*Email: desmaritaleni@gmail.com

ABSTRACT

Yaw Misalignment condition has detrimental effects on the performance and efficiency of hydrokinetic turbines. This phenomenon occurs when the direction of water flow hitting the turbine blades is not aligned with the turbine's movement direction. In this research, an analysis is conducted on the performance of a hydrokinetic turbine equipped with a diffuser shroud under Yaw Misalignment conditions, considering variations in water flow velocity. The dataset used in this study consists of water flow velocity data, yaw angles, tip speed ratio (TSR), and power coefficient (Cp) of a 19.8 cm diameter horizontal-axis hydrokinetic turbine operating under Yaw Misalignment conditions. Experiments were conducted at three water flow velocity levels: 0.7 m/s, 0.9 m/s, and 1.1 m/s. Additionally, yaw angle variations were applied ranging from 0° to 25° at 5° intervals. Data analysis involved the application of Pearson correlation analysis and descriptive statistical analysis to identify the maximum Cp values. The analysis results indicate that the highest maximum Cp value is 0.711, with a tip speed ratio (TSR) of 4.33, achieved at a yaw angle of 0° and a water flow velocity of 0.9 m/s. This indicates that under these conditions, the turbine reaches its peak performance in converting water flow energy into mechanical power.

Keywords: Hydrokinetic Turbine, Diffuser, Yaw Misalignment, Water Flow

PENDAHULUAN

Energi hidrokinetik adalah bentuk energi alternatif yang bersumber dari arus air dan memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai sumber energi yang ramah lingkungan, salah satu cara untuk mengubah energi hidrokinetik menjadi energi listrik, yaitu menggunakan turbin [1][2]. Melalui proses ekstraksi, turbin mampu mengubah perubahan tekanan menjadi energi listrik dengan cara mengurangi kecepatan aliran fluida, sehingga menyebabkan penurunan momentum linier dari air. Menurut hukum kekekalan momentum, besarnya gaya dorong yang dihasilkan sama dengan laju penurunan momentum, sehingga semakin besar penurunan momentum, maka semakin besar pula gaya dorong yang dihasilkan [3]. Turbin hidrokinetik sumbu horizontal adalah salah satu perangkat yang digunakan untuk mengekstraksi energi hidrokinetik [4]. Turbin hidrokinetik sumbu horizontal bekerja pada prinsip yang sama dengan turbin angin. Gaya angkat yang dihasilkan akibat aliran fluida pada sudu rotor menghasilkan torsi pada poros turbin yang kemudian diubah menjadi listrik oleh generator. Berasal dari gaya gravitasi, perilaku arus air lebih dapat diprediksi daripada angin yang disebabkan oleh perubahan atmosfer. Ini mengarah pada pembangkit listrik yang andal dan dapat diprediksi dari arus air. Berbeda dengan pembangkit listrik tenaga air konvensional yang membutuhkan bendungan untuk menyediakan head air, dalam metode ini turbin ditempatkan di sungai atau aliran laut dan menghasilkan listrik tanpa membuat perubahan lingkungan yang signifikan [5]. Cara kerja turbin hidrokinetik sumbu horizontal ini sama dengan turbin angin, sehingga dapat mengalami penurunan koefisien daya (Cp) saat terjadinya yaw misalignment. Situasi ini dapat menyebabkan kemacetan dinamis dan pemuatan variabel pada bilah rotor yang mengakibatkan hilangnya stabilitas yaw yang menyebabkan beban induksi berlebihan pada struktur rotor dan turbin [6].

Yaw misalignment adalah ketidakseimbangan sudut yaw pada rotor turbin yang dapat mempengaruhi efisiensi dan kinerja turbin dalam proses ekstraksi energi kinetik menjadi energi listrik. Sama halnya dengan turbin angin, turbin hidrokinetik menghadapi perubahan arah aliran sungai dan lautan yang mempengaruhi kinerjanya [7]. Ketidakseimbangan ini dapat menyebabkan kerugian energi dan kehilangan daya pada turbin, serta dapat menyebabkan kerusakan pada

mekanisme turbin jika tidak segera diperbaiki. Evaluasi kinerja turbin hidrokinetik dalam kondisi *yaw* diperlukan untuk memprediksi kinerja dan stabilitas daya dalam aliran off-axis. Efek *yaw* angle (sudut *yaw*) sangat penting dalam merancang mekanisme kontrol *yaw* pada desain selubung untuk mengoptimalkan kinerja turbin hidrokinetik [8]. Diffuser adalah bagian dari turbin air yang berbentuk kerucut dan terletak di belakang sudu-sudu turbin. Diffuser berfungsi untuk mengurangi kehilangan energi akibat *Yaw misalignment*, yaitu ketidaksesuaian antara arah aliran air dan arah sudu-sudu turbin. Diffuser melakukannya dengan cara memperlambat aliran air yang keluar dari sudu-sudu turbin dan meningkatkan tekanannya [9]. Hal ini mengubah energi kinetik aliran air menjadi energi potensial yang dapat dimanfaatkan oleh turbin. Dengan demikian, diffuser meningkatkan efisiensi dan kinerja turbin air.

Berdasarkan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan diffuser pada turbin hidrokinetik menghasilkan peningkatan performa dan daya yang signifikan, termasuk pada sudut *yaw* yang lebih besar [10]. Dalam kondisi *yaw*, diffuser mampu mengatasi perubahan arah aliran air yang mengurangi kinerja turbin hidrokinetik. Namun, penelitian menunjukkan bahwa kecepatan aliran air memiliki pengaruh yang signifikan pada performa turbin hidrokinetik pada kondisi *yaw* [11]. Dalam rangka meningkatkan efisiensi turbin hidrokinetik pada kondisi *yaw*, perlu dilakukan evaluasi yang mendalam terhadap selubung diffuser yang digunakan pada turbin hidrokinetik. Evaluasi tersebut harus memperhatikan faktor-faktor seperti kecepatan aliran air, ukuran turbin, dan sudut *yaw* yang dihadapi oleh turbin hidrokinetik [12, 15]. Dengan demikian, penggunaan selubung pada turbin hidrokinetik diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja turbin hidrokinetik pada kondisi operasi yang berbeda.

Berdasarkan permasalahan yang sudah diuraikan diatas, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis kinerja turbin hidrokinetik dengan menggunakan selubung diffuser dalam kondisi *yaw misalignment* pada berbagai variasi kecepatan aliran air. Pada penelitian ini, Coefficient of Power (C_p) digunakan untuk mengukur efisiensi turbin air dalam mengkonversi energi kinetik aliran fluida (air) menjadi energi mekanis (daya) yang dihasilkan oleh turbin hidrokinetik. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang berguna dalam pengembangan dan optimalisasi turbin hidrokinetik untuk memanfaatkan potensi energi terbarukan dengan lebih efektif dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah studi kuantitatif dengan menggunakan metode statistik deskriptif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja turbin hidrokinetik pada kondisi *yaw misalignment* dengan menggunakan data hasil pengujian eksperimental menggunakan turbin hidrokinetik yang diperoleh dari *Kaggle.com* [13], dan dianalisis dengan menggunakan metode statistik deskriptif yang meliputi analisis distribusi data dan analisis korelasi dengan menggunakan korelasi pearson. Selanjutnya, akan dilakukan analisis terhadap variabel C_p dan TSR pada berbagai sudut *yaw* dengan variasi kecepatan aliran air. Sehingga dapat diketahui bagaimana pengaruh variasi kecepatan air pada kondisi *yaw misalignment* pada turbin hidrokinetik yang menggunakan selubung diffuser. Tahapan penelitian ini terdiri dari tiga tahap utama, yaitu Pengumpulan data, analisis data dan interpretasi hasil.

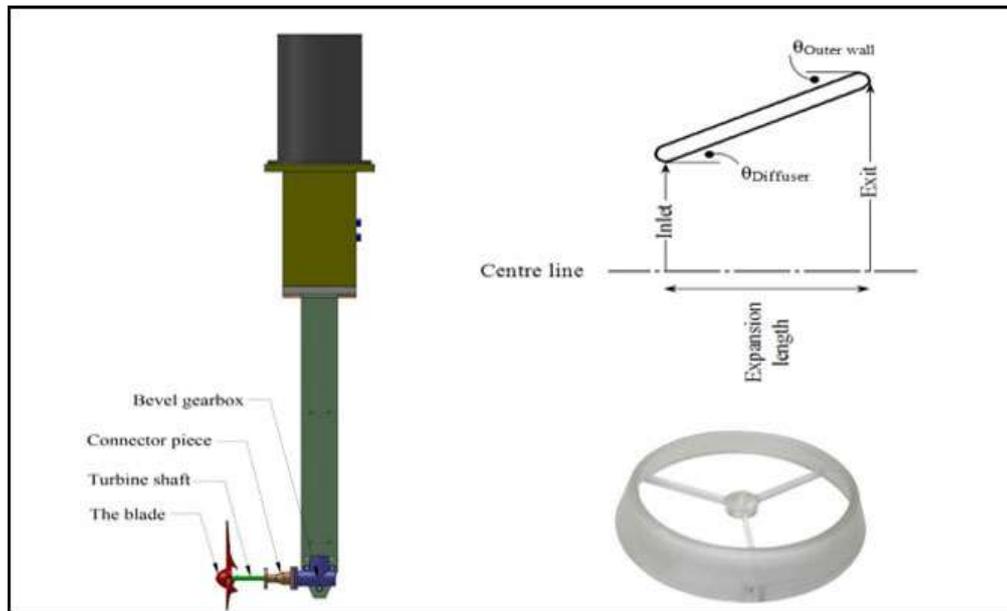
a. Pengumpulan Data

Tabel 1. Spesifikasi Diffuser

No.	Spesifikasi	Nilai
1	Diameter Saluran Masuk (cm)	20.1
2	Diameter Saluran Keluar (cm)	25
3	Panjang Ekspansi (cm)	5.2
4	Half Angle (°)	25
5	Sudut Tepi Bagian Luar (°)	25

Data dalam penelitian ini diperoleh dari sumber *Kaggle.com* [13] yang merupakan hasil dari uji coba eksperimental menggunakan turbin hidrokinetik. Dataset ini berisi informasi tentang

kecepatan aliran (V), sudut yaw (gamma), tip speed ratio (TSR), dan koefisien daya (Cp) dari turbin hidrokinetik berdiameter 19,8 cm dengan poros horizontal yang dioperasikan dalam kondisi yaw *misalignment*. Pengujian dilakukan pada tiga kecepatan aliran air, yaitu 0,7 m/s, 0,9 m/s, dan 1,1 m/s, dengan selubung tipe diffuser. Eksperimen ini juga melibatkan variasi sudut yaw dari 0° hingga 25° dengan interval 5°. Selama eksperimen, daya keluaran dari turbin dan gaya dorongnya diukur secara eksperimental di dalam water tunnel. Hasil pengukuran diperbaiki menggunakan model teoritis yang memperhitungkan efek proximity permukaan bebas dan blockage dari water tunnel. [13]. Gambar 1 merupakan desain turbin hidrokinetik yang digunakan pada penelitian ini, dan tabel 1 menunjukkan spesifikasi diffuser yang digunakan.



Gambar 1. Turbin hidrokinetik dengan selubung Diffuser

b. Analisis Data

Analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahap seperti analisis statistik deskriptif, analisis korelasi menggunakan korelasi pearson, analisis Cp dan TSR pada berbagai sudut yaw *misalignment* dengan berbagai variasi kecepatan air, dan perhitungan Cp maksimum pada berbagai sudut yaw *misalignment* dengan berbagai variasi kecepatan air. Analisis ini dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

1. Analisis korelasi pearson

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{(n-1)s_x s_y} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana r_{xy} adalah koefisien korelasi Pearson, $\sum xy$ adalah jumlah perkalian x dan y, n adalah ukuran sampel, x adalah variabel independen, y adalah variabel dependen, dan S adalah standar deviasi [14]. Nilai koefisien korelasi berkisar dari -1 hingga 1. Nilai -1 menunjukkan korelasi negatif yang kuat antara kedua variabel, nilai 0 menunjukkan tidak ada korelasi, dan nilai 1 menunjukkan korelasi positif yang kuat [15].

2. Persamaan untuk menghitung tip speed ratio (TSR)

$$TSR=R\omega/V \dots\dots\dots(2)$$

Dimana TSR (Tip Speed Ratio) adalah rasio antara kecepatan ujung baling-baling (tip speed) dan kecepatan aliran fluida yang menggerakannya, R adalah jari-jari dari baling-baling, ω

adalah kecepatan sudut dari baling-baling dalam rad/s, dan V adalah kecepatan fluida yang mengalir melalui baling-baling.

3. Persamaan untuk menghitung koefisien daya (C_p)

$$C_p = \frac{Q\omega}{\frac{1}{2}\rho AV^3} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana C_p adalah koefisien daya, yaitu rasio daya yang dihasilkan oleh turbin dengan daya potensial maksimum yang dapat dihasilkan oleh fluida yang mengalir melaluinya, Q adalah debit fluida yang melewati turbin, ω adalah kecepatan sudut dari turbin dalam rad/s, ρ adalah massa jenis fluida yang mengalir melalui turbin, A adalah luas penampang melintang yang dilalui fluida yang mengalir melalui turbin, V adalah kecepatan fluida yang mengalir melalui baling-baling. Pada tahap ini, juga dilakukan perhitungan nilai maksimum C_p pada berbagai sudut yaw misalignment dengan berbagai variasi kecepatan air, yang bertujuan untuk membantu mengetahui potensi energi yang dapat dimaksimalkan melalui peningkatan performa turbin hidrokinetik.

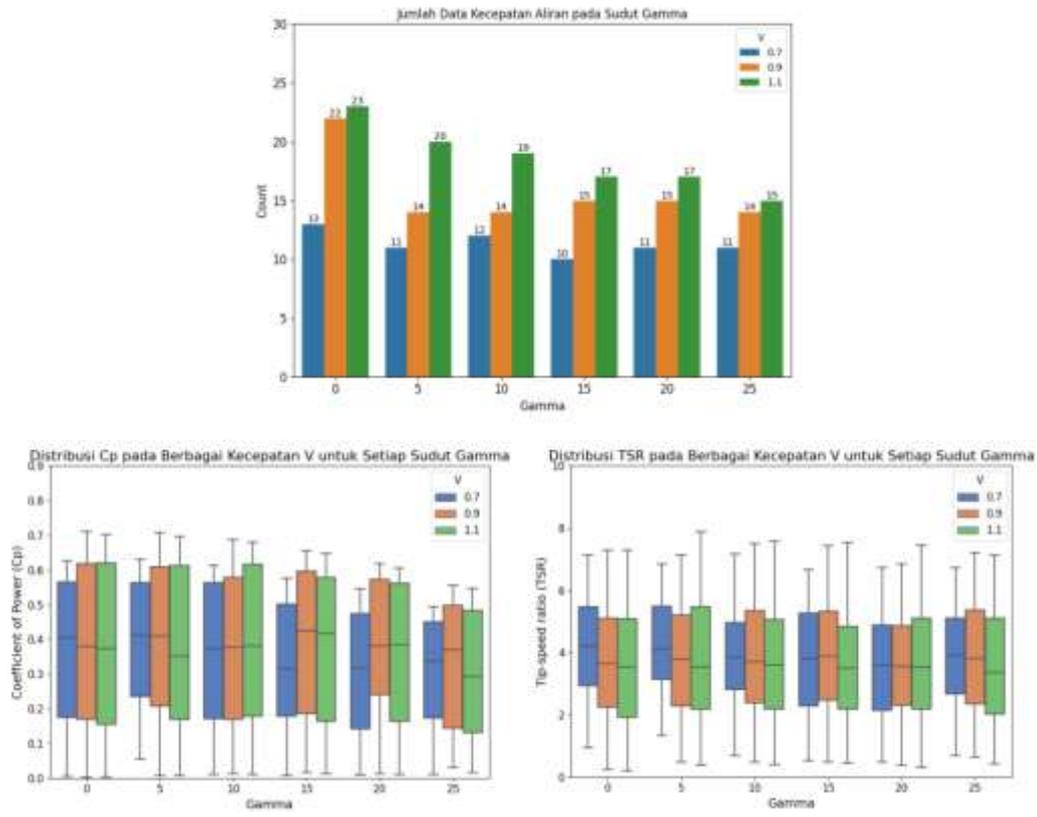
c. Interpretasi Hasil

Setelah hasil analisis diperoleh, maka langkah selanjutnya adalah melakukan interpretasi hasil analisis performa turbin untuk membuat kesimpulan dan memberikan rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengumpulan data

Data pengujian turbin hidrokinetik yang digunakan pada studi ini terdiri dari empat variabel, yaitu kecepatan aliran (V), sudut yaw (γ), tip speed ratio (TSR), dan koefisien daya (C_p) dari turbin hidrokinetik berdiameter 19,8 cm dengan poros horizontal yang dioperasikan dalam kondisi *yaw misalignment*. Pengujian dilakukan pada tiga kecepatan aliran air, yaitu 0,7 m/s, 0,9 m/s, dan 1,1 m/s, dengan selubung tipe diffuser. Eksperimen ini juga melibatkan variasi sudut yaw dari 0° hingga 25° dengan interval 5° . Data yang diperoleh berjumlah 272 sampel dengan jumlah variasi data pengujian pada berbagai kecepatan aliran air dan sudut yaw, seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Distribusi data

b. Analisis Data

Pada penelitian ini digunakan analisis korelasi Pearson untuk melihat hubungan linier antara variabel-variabel yang berkaitan dengan kinerja turbin hidrokinetik menggunakan selubung diffuser, seperti Gamma (sudut yaw) dan V (kecepatan aliran air). Korelasi Pearson adalah metode statistik yang digunakan untuk mengukur sejauh mana hubungan linier antara dua variabel. korelasi Pearson membantu memahami perubahan dalam satu variabel, seperti berbanding lurus atau berbanding terbalik dengan perubahan dalam variabel lainnya, serta sejauh mana kekuatan hubungan tersebut [15]. Dengan memahami hubungan antara variabel-variabel yang mempengaruhi kinerja turbin hidrokinetik, maka dapat dilakukan identifikasi faktor-faktor yang paling berpengaruh dalam mencapai efisiensi optimal. Hasil ini dapat membantu dalam merancang dan mengoptimalkan desain turbin untuk hasil yang lebih baik.

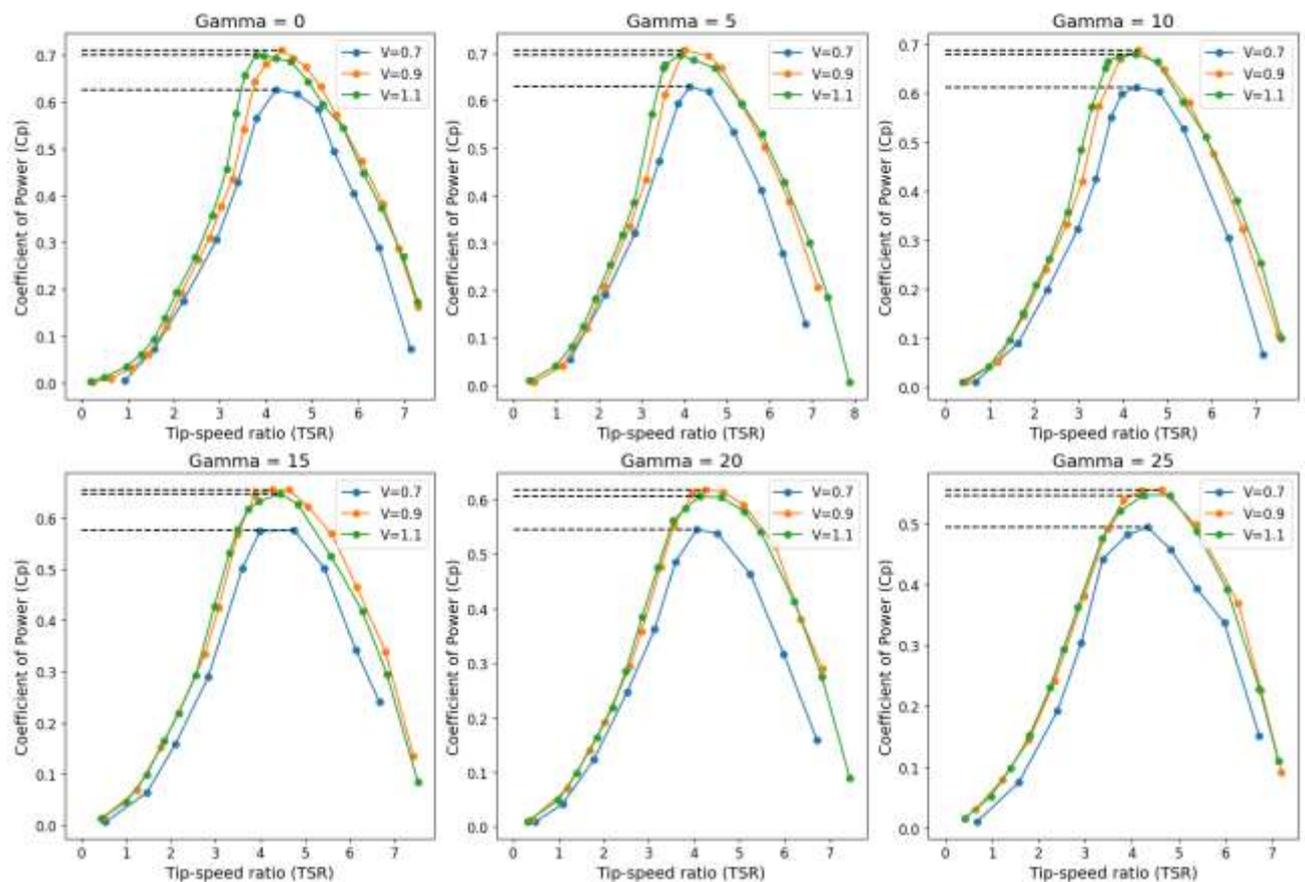
Berdasarkan hasil korelasi pearson antara Cp dengan Gamma sekitar -0.09 menunjukkan adanya korelasi negatif dan rendah antara koefisien daya (Cp) dengan sudut yaw (Gamma). hasil ini mengindikasikan bahwa perubahan dalam sudut yaw tidak memiliki keterkaitan yang signifikan dengan perubahan nilai Cp. Namun, dengan hasil negatif ini mengindikasikan bahwa peningkatan sudut yaw dapat menurunkan nilai Cp. Selain itu, korelasi antara Cp dengan aliran air (V) sekitar 0.03 menunjukkan adanya korelasi yang sangat rendah dan positif antara Cp dengan V, yang mengindikasikan peningkatan nilai Cp cenderung terjadi seiring dengan peningkatan nilai kecepatan aliran air. Hasil analisis korelasi pearson dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil korelasi pearson

	Cp	Gamma	V
Cp	1	-0.088	0.032
Gamma	-0.088	1	-0.030
V	0.032	-0.030	1

Coefficient of Power (C_p) adalah salah satu parameter penting dalam menganalisis efisiensi turbin, terutama dalam konteks turbin energi terbarukan seperti turbin hidrokinetik. C_p menggambarkan sejauh mana turbin dapat mengubah energi kinetik dari aliran fluida menjadi energi mekanis yang dapat digunakan untuk menggerakkan generator. C_p dihitung dengan membandingkan daya yang dihasilkan oleh turbin dengan daya potensial yang dapat diambil dari aliran fluida yang melewatinya [16]. Nilai C_p yang lebih tinggi menunjukkan bahwa turbin mampu mengubah lebih banyak energi kinetik menjadi energi mekanis. Oleh sebab itu, pada tahap ini dilakukan analisis nilai C_p dengan TSR pada berbagai sudut yaw, analisis ini bertujuan untuk melihat bagaimana pengaruh nilai C_p dan TSR pada selubung diffuser pada berbagai sudut yaw dengan variasi kecepatan aliran air, seperti yang dapat dilihat pada gambar 3.

Hubungan TSR dan C_p pada Berbagai Kecepatan V untuk Setiap Sudut Gamma



Gambar 3. Perbandingan nilai C_p pada setiap sudut yaw pada berbagai variasi kecepatan air

Berdasarkan hasil visualisasi pada Gambar 5, dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya sudut yaw, terjadi penurunan yang signifikan pada nilai C_p . Adanya penurunan tersebut mengindikasikan bahwa efisiensi turbin hidrokinetik menggunakan selubung diffuser mengalami penurunan dalam mengonversi energi aliran air menjadi daya mekanis seiring dengan peningkatan sudut yaw. Fenomena ini dapat dijelaskan dengan adanya perubahan aliran fluida yang mengenai sudu-sudu turbin pada sudut yang berbeda. Peningkatan sudut yaw mengakibatkan aliran fluida yang mengenai sudu-sudu turbin menjadi tidak optimal atau tidak sejajar dengan arah pergerakan sudu-sudu turbin [17]. Hal ini dapat mengakibatkan berkurangnya efisiensi interaksi antara sudu-sudu turbin dan aliran fluida, yang mengakibatkan aliran fluida tidak dapat dimanfaatkan secara efektif oleh turbin untuk menghasilkan daya mekanis [9]. Hasil ini, mengindikasikan semakin tidak sejajar arah aliran fluida dengan sudu-sudu turbin, semakin rendah efisiensi konversi energi aliran air menjadi daya yang dihasilkan oleh turbin.

Pada kecepatan aliran air diperoleh hasil pengamatan yang berbeda, dimana dengan peningkatan kecepatan aliran air tidak selalu mengakibatkan peningkatan nilai koefisien daya (C_p). Ditemukan bahwa terdapat kondisi dimana nilai C_p maksimal tidak tercapai pada kecepatan aliran air yang lebih tinggi. Secara spesifik, nilai C_p maksimal yang ditemukan sebesar 0.711 dengan tip speed ratio (TSR) sebesar 4.33 pada sudut yaw 0° dan kecepatan aliran air sebesar 0.9 m/s. Selain itu, dapat dilihat bahwa hampir pada semua sudut yaw yang diamati, turbin hidrokinetik menghasilkan kinerja yang lebih baik pada kecepatan aliran air sebesar 0.9 m/s daripada pada kecepatan aliran air 1.1 m/s. Ini menunjukkan bahwa, peningkatan kecepatan aliran air tidak selalu menghasilkan peningkatan efisiensi turbin dalam menghasilkan daya. Hal ini disebabkan oleh desain diffuser yang berbentuk kerucut, ketika aliran air meninggalkan sudu-sudu turbin. Air mengalir dengan kecepatan yang tinggi dan tekanan yang rendah, terutama ketika aliran air mengalir melalui penampang yang lebih sempit. Prinsip ini didasarkan pada hukum Bernoulli, yang menyatakan bahwa total tekanan fluida, kecepatan fluida, dan ketinggian fluida adalah tetap [18]. Oleh karena itu, ketika aliran air memasuki diffuser, yang memiliki bentuk yang meluas, kecepatan aliran akan mengalami penurunan sementara tekanan fluida akan mengalami kenaikan. Hal ini sesuai dengan prinsip konservasi energi dalam dinamika fluida. Selain itu, diffuser juga membantu dalam mengurangi kerugian energi yang disebabkan oleh efek turbulensi dan perpindahan fluida dalam turbin. Dengan memberikan peningkatan tekanan, diffuser dapat membantu meningkatkan efisiensi keseluruhan turbin air dan memaksimalkan penyerapan energi dari aliran air.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa, dengan meningkatnya sudut yaw maka terjadi penurunan pada nilai koefisien daya (C_p) pada turbin hidrokinetik dengan selubung diffuser. Penurunan ini menunjukkan bahwa efisiensi turbin mengalami penurunan seiring peningkatan sudut yaw. Fenomena ini muncul akibat perubahan aliran fluida yang tidak optimal mengenai sudu-sudu turbin pada sudut yaw yang lebih besar. Selain itu, pengamatan terhadap variasi kecepatan aliran air mengungkapkan bahwa peningkatan kecepatan aliran air tidak selalu mengakibatkan peningkatan nilai C_p . Terdapat kondisi dimana nilai C_p maksimal tidak tercapai pada kecepatan aliran air yang lebih tinggi. Hasil ini dipengaruhi oleh diffuser yang memainkan peran penting dalam kinerja turbin hidrokinetik. Dengan mengubah energi kinetik aliran air menjadi energi potensial serta mengurangi kerugian energi akibat turbulensi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Antomo, T., Kamiana, I. M., & Nindito, D. A. Analisis pengembangan hidrokinetik turbin gorlov akibat penambahan luas bidang tangkap. *Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 16(2), 159-170. 2020.
- [2] Putra, F. D., Effiandi, N., & Leni, D. Pengoperasian dan Perawatan PLTMH pada Pembangkit Listrik Mikro Hidro (PLTMH) di Sungai Batang Geringging Kota Padang. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(2), 25-30. 2017.
- [3] Wuwung, V., Wandani, P., & Bintoro, C. Aplikasi CFD Dalam Penentuan Performa Mesin Turbopan Model CFM56-5b Yang Mengalami Cacat Pada Kipas Untuk Keputusan Maintenance. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 14(1), 25-36. 2018.
- [4] Oktiawan, R. A. (2021). Eksperimental turbin air sumbu horizontal menggunakan bilah datar untuk sistem pembangkit energi terbarukan (Doctoral dissertation, Universitas Mercu Buana Jakarta).
- [5] Jasa, L., & Ardana, I. P. Disain Turbin Model Nest-Lie Untuk Mikro Hidro. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 17(02). 2018.
- [6] Chumaidy, A. Analisa Gangguan Pemutus Tenaga Mesin Cane Cutter I. *Sainstech: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Sains Dan Teknologi*, 28(2). 2018.
- [7] Alzahrani, A., Ramu, S. K., Devarajan, G., Vairavasundaram, I., & Vairavasundaram, S. A review on hydrogen-based hybrid microgrid system: Topologies for hydrogen energy

- storage, integration, and energy management with solar and wind energy. *Energies*, 15(21), 7979. 2022.
- [8] Hosanova, R. Simulasi Numerik Karakteristik Pembakaran Pada Tangentially Fired Boiler Dengan Variasi Sudut Yaw. *SPECTA Journal of Technology*, 3(3), 44-56. 2019.
- [9] Nunes, M. M., Mendes, R. C., Oliveira, T. F., & Junior, A. C. B. An experimental study on the diffuser-enhanced propeller hydrokinetic turbines. *Renewable energy*, 133, 840-848. 2019.
- [10] Niebuhr, C. M., Van Dijk, M., Neary, V. S., & Bhagwan, J. N. A review of hydrokinetic turbines and enhancement techniques for canal installations: Technology, applicability and potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113, 109240. 2019
- [11] Gish, L. A., Carandang, A., & Hawbaker, G. Experimental evaluation of a shrouded horizontal axis hydrokinetic turbine with pre-swirl stators. *Ocean Engineering*, 204, 107252. 2020.
- [12] Wang, X., Yan, Y., Wang, W. Q., & Hu, Z. P. Evaluating energy loss with the entropy production theory: A case study of a micro horizontal axis river ducted turbine. *Energy Conversion and Management*, 276, 116553. 2023.
- [13] Kaggle, 2020. <https://www.kaggle.com/search?q=Yaw+Misalignment+turbine>
- [14] Leni, D. Analisis Heatmap Korelasi dan Scatterplot untuk Mengidentifikasi Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pelabelan AC efisiensi Energi. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 6(1). 2023.
- [15] Eswanto, Eswanto, Hanapi Hasan, and Z. M. Razlan. "An Analysis on Performance of Pico-hydro with Archimedes Screw Model Viewed from Turbine Shaft Angle." *International Journal of Engineering*, 36, no. 1, pp. 10-18. 2023. <https://doi.org/10.5829/IJE.2023.36.01A.02>
- [16] Adler, J., & Parmryd, I. Quantifying colocalization by correlation: the Pearson correlation coefficient is superior to the Mander's overlap coefficient. *Cytometry Part A*, 77(8), 733-742. 2010.
- [17] Astro, R. B., Ngapa, Y. D., Toda, S. G., & Nggong, A. Potensi energi air sebagai sumber listrik ramah lingkungan di Pulau Flores. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 4(2), 125-133. 2020
- [18] Wang, X., Yan, Y., Wang, W. Q., & Hu, Z. P. Evaluating energy loss with the entropy production theory: A case study of a micro horizontal axis river ducted turbine. *Energy Conversion and Management*, 276, 116553. 2023
- [19] Jalalisendi, M., Zhao, S., & Porfiri, M. Shallow water entry: modeling and experiments. *Journal of Engineering Mathematics*, 104, pp.131-156. 2017.