

PENGARUH VARIASI TINGGI SUDU TURBIN DARI TINGGI BASIN TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN VORTEX

EFFECT OF TURBINE BLADE HEIGHT VARIATION FROM BASIN HEIGHT ON VORTEX TURBINE POWER AND EFFICIENCY

T. Rachmanto*, Mirmanto, R.C. Lelio

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jln. Majapahit no. 62, Mataram, Nusa Tenggara Barat, 83125, Indonesia

*Corresponding author

E-mail addresses: tri.rachmanto@gmail.com

<https://doi.org/10.29303/empd.v3i1.2275>

Received 6 February 2023; Received in revised form 27 May 2024; Accepted 28 May 2024

ABSTRACT

Electrical energy is a very important need for human life in various aspects, both on a large and small scale. One of the efforts to reduce the use of fossil fuels is to use natural resources that are not limited and can be renewed. Micro Hydro Power Plant (MHP) is an alternative source of electricity for the community, one of which is a vortex turbine. The vortex turbine is one type of micro hydro turbine that utilizes a whirlpool as a blade drive. This study examines the effect of blade height variations of 25%, 30%, and 35% of the basin height on power and efficiency. The results showed that the largest turbine power at 25% blade height variation from the basin height with a discharge of $0.009 \text{ m}^3/\text{s}$ was 3.294 Watt with an efficiency of 51.10%. The largest turbine power at an angle variation of 30% of the basin height with a discharge of $0.009 \text{ m}^3/\text{s}$ is 3.364 Watt with an efficiency of 50.66%. The largest turbine power at an angle variation of 35% of the basin height with a discharge of $0.009 \text{ m}^3/\text{s}$ is 4.062 Watt with an efficiency of 62.35%. Turbine power based on two-way anova analysis shows that between variations in turbine height and flow discharge have a significant effect on the turbine power produced and turbine efficiency based on two-way anova analysis shows that between variations in turbine height and flow discharge have a significant effect on the turbine efficiency produced.

Keywords: Micro-hydro, Vortex turbine, Blade height, Flow rate, Efficiency

1. Pendahuluan

Kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan manusia di segala bidang baik dalam skala besar maupun kecil adalah energi listrik. Beberapa industri, antara lain rumah tangga, bisnis dan industri, sektor sosial, gedung pemerintah, dan penerangan jalan, menggunakan energi listrik. Dengan kemajuan teknologi dan perkembangan di bidangnya, kebutuhan akan energi listrik juga semakin meningkat.

Indonesia adalah negara agraris dengan banyak sumber air yang sangat baik untuk dimanfaatkan menjadi energi. Menurut skalanya, ada tiga kelompok pembangkit listrik tenaga air yang dapat digunakan untuk memaksimalkan potensi listrik: PLTA, PLTM, dan PLTMH. Perbedaan utama antara pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga mini hidro (PLTM), dan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) adalah PLTA memiliki kapasitas lebih dari 10 MW, PLTMH berkapasitas 1-10 MW, dan PLTMH berkapasitas kurang dari 1 MW.

Air merupakan sumber energi yang paling penting karena dapat digunakan sebagai sumber energi listrik yang murah dan tidak berpolusi. Indonesia diperkirakan memiliki banyak air sehingga sangat mampu menghasilkan energi listrik yang banyak. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan salah satu alternatif bagi masyarakat umum yang akan memberikan banyak manfaat, khususnya bagi masyarakat umum di seluruh Indonesia. Mikrohidro atau disebut juga Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah jenis pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai sumber penggerak untuk menggerakkan turbin yang telah terhubung ke generator listrik. Contoh tenaga air jenis ini antara lain saluran irigasi, sungai atau air terjun alami [1].

Menurut data dari Neraca Energi tahun 2019, Sumber Daya Air merupakan salah satu energi primer pembangkit energi listrik, potensi sumber daya air yang ada sangat besar yaitu 75.000 MW dan 769,69 MW adalah potensi PLT Mini/Mikro Hidro. Namun, sampai saat ini potensi air yang baru dimanfaatkan sebesar 5.417 MW yang mencakup PLTA sebesar 5.103 MW dan PLTMH sebesar 237 MW atau sekitar 7,2% dari potensi tenaga air. Jadi masih banyak peluang untuk memaksimalkan potensi tenaga air tersebut.

Sungai dan air terjun di Indonesia memiliki potensial bagi energi ini. Tenaga air adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir atau dari air terjun. Prinsip dasar *hydropower* adalah bahwa jika air dapat mengalir dari ketinggian tertentu ke tempat yang lebih rendah, maka energi aliran air tersebut dapat digunakan untuk melakukan kerja. Jika energi air digunakan untuk menggerakkan komponen mekanis maka gerakan tersebut mengakibatkan konversi energi potensial air menjadi energi mekanik. Turbin atau kincir air mengubah energi air menjadi daya poros yang dapat digunakan untuk menggerakkan generator listrik, kincir atau peralatan mekanik lain yang bermanfaat bagi kehidupan manusia [2].

Turbin *vortex* adalah jenis turbin pembangkit mikrohidro yang memanfaatkan pusaran air sebagai tenaga penggerak sudunya untuk menggerakkan turbin yang telah terhubung ke generator listrik. Turbin *vortex* memiliki ciri-ciri tinggi terjunan (*head*) yang relatif rendah yakni antara 0,7 m–3 m dengan debit air sebesar 50 L/s [3]. Penelitian yang dilakukan oleh Hakim dan Adiwibowo (2018) dalam penelitian yang berjudul “Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang Lurus Dengan Variasi Tinggi Sudu”, menyatakan bahwa dari segi daya dan efisiensi yang dihasilkan, nilai penambahan tinggi sudu pada turbin tipe sudu berpenampang lurus sangat berpengaruh. Turbin dengan tinggi sudu 21 cm menghasilkan daya dan efisiensi yang paling baik dibandingkan dengan turbin dengan tinggi sudu 15 cm, 18 cm, dan 24 cm. Daya tertinggi dihasilkan oleh turbin dengan tinggi sudu 21 cm, pada kapasitas 13.443 L/s dengan pembebanan 30000 gram, dan memiliki daya sekitar 42,97 watt. Efisiensi tertinggi dihasilkan oleh turbin dengan tinggi sudu 21 cm, pada kapasitas 11.042 L/s dengan pembebanan 30000 gram, dengan efisiensi maksimum 51,37% [4].

Berdasarkan penelitian tersebut di atas, maka penulis dalam penelitian ini akan melakukan penelitian tentang pengaruh variasi tinggi sudu turbin dari tinggi basin terhadap daya dan efisiensi turbin *vortex*. Diharapkan, nantinya dengan penelitian ini dapat digunakan untuk skala kecil atau pemukiman di daerah aliran sungai sehingga energi potensial aliran sungai dapat dimanfaatkan dengan baik.

2. Bahan dan Metode

Alat yang di gunakan dalam penelitian ini diantaranya Satu set konstruksi turbin *vortex*, Timbangan pegas, *Tachometer*, *Flowmeter*, Pelampung *Styrofoam*, *Stopwath*, Pompa air. Sedangkan bahan yang di gunakan dalam penelitian ini meliputi plat besi digunakan sebagai bahan sudu turbin, drum oli bekas, besi pejal, besi bulat *hollow*, mur dan baut, rumah bantalan, Bantalan (*Bearing*). Pengambilan data diambil dengan Langkah-langkah sebagai berikut.

Persiapan

Pada penelitian ini, ada beberapa hal yang diperlukan dan dipersiapkan dalam melakukan pengujian alat dalam instalasi turbin, diantaranya:

- a. Pemeriksaan Pipa-pipa saluran
- b. Pemeriksaan katup (*valve*)
- c. Pemeriksaan poros turbin *vortex*
- d. Pelumasan pada bantalan (*bearing*)

- e. Pemeriksaan basin
- f. Pemeriksaan debit air
- g. Menyiapkan peralatan ukur untuk mengambil data turbin.
- h. Mempersiapkan peralatan tulis untuk menulis data pengujian.

Prosedur Pengujian

Adapun prosedur dalam pengujian turbin *vortex* sebagai berikut:

- a. Pengujian pertama dilakukan dengan menggunakan turbin *vortex* berpenampang lurus variasi tinggi sudu 25% dari tinggi basin dengan debit air yang disesuaikan dilapangan.
- b. Katup air dibuka dan dialirkan menuju wadah air kemudian air akan mengalir ke dalam basin.
- c. Pengukuran debit air hingga didapatkan yang disesuaikan dilapangan.
- d. Dilakukan monitoring terhadap ketinggian air di dalam basin hingga konstan.
- e. Pengambilan data terhadap:
 - Pengukuran ketinggian *vortex* di dalam basin.
 - Pengukuran putaran (rpm) pada poros turbin *vortex* dengan menggunakan *tachometer*.
 - Pengukuran torsi yang dihasilkan dari pembebanan pengereman dengan menggunakan timbangan pegas pada poros turbin hingga turbin berhenti berputar.
- f. Setelah data didapat tutup katup air.
- g. Kemudian debit air dinaikkan dengan yang disesuaikan dilapangan.
- h. Lakukan prosedur b-f.
- i. Setelah itu debit dinaikkan dengan yang disesuaikan dilapangan.
- j. Lakukan prosedur b-f.
- k. Setiap pengambilan data dalam 1 kali percobaan, dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan untuk mendapat data pengujian yang lebih akurat.
- l. Setelah pengujian pada turbin *vortex* variasi tinggi sudu 25% dari tinggi basin selesai, maka dilakukan pergantian turbin dengan variasi tinggi sudu 30% dari tinggi basin dan dilanjutkan dengan variasi tinggi sudu 35% dari tinggi basin dengan melakukan prosedur dan variabel yang sama.



Plat besi



Turbin

Gambar 1 Plat besi dan turbin

Performansi turbin adalah daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin. Untuk mendapatkan nilai, data yang diperlukan adalah torsi (T) dan kecepatan sudut (ω) [5].

Torsi

Torsi biasa disebut juga dengan momen atau gaya yang menyatakan benda berputar pada suatu sumbu. Torsi bisa juga didefinisikan sebagai ukuran keefektifan gaya dalam menghasilkan putaran atau rotasi yang mengelilingi sumbu tersebut. Dalam penerapannya, torsi digunakan untuk memutar benda. Dalam satuan Internasional (SI), torsi memiliki satuan Newton-meter (Nm) dan dalam satuan British

(satuan imperial) adalah torsi memiliki satuan pound-foot (lb-ft). Newton atau pound adalah satuan gaya yang diterapkan, sedangkan meter (atau feet) adalah satuan jarak dimana gaya diberikan dari titik pusat putaran [6]. Besar torsi (T) dapat dihitung dengan menggunakan rumus: [5].

$$\begin{aligned} T &= F \times g \times r \\ T &= (m_2 - m_1) \times g \times r \end{aligned} \quad (1)$$

T adalah torsi (Nm) yang mempengaruhi daya dan efisiensi turbin; F adalah gaya yang terjadi pada proses pembebanan; g adalah gravitasi (m/s^2); r adalah jari-jari poros (m); m_1 adalah massa pembebanan 1 (kg); dan m_2 adalah massa pembebanan 2 (kg).

Kecepatan Sudut

Kecepatan sudut adalah perubahan posisi sudut dari benda melingkar yang bergerak per satuan waktu. Kecepatan sudut juga disebut kecepatan anguler dan dilambangkan sebagai ω (omega). Menghitung kecepatan sudut (ω) dapat menggunakan rumus sebagai berikut [7].

$$\omega = (2 \times \pi \times n)/60 \quad (2)$$

ω adalah kecepatan sudut (rad/s) yang mempengaruhi daya turbin; n adalah putaran turbin (rpm); π adalah phi (3,14).

Daya Air

Daya hidrolis yang dapat dihasilkan oleh turbin sesuai dengan kapasitas tinggi jatuh yang diketahui adalah [5].

$$Pa = \rho \times g \times Q \times Hv + \frac{1}{2} \times \rho \times Q \times v^2 \quad (3)$$

Pa adalah daya air (Watt); ρ adalah massa jenis air (kg/m^3); g adalah gravitasi (m/s^2); Q adalah debit aliran (m^3/s); Hv adalah ketinggian *vortex* (m); v adalah kecepatan aliran (m/s). Untuk mengetahui daya pada turbin yang digunakan, maka menggunakan rumus sebagai berikut: [5].

$$Pt = T \times \omega \quad (4)$$

Pt adalah daya turbin (Watt); T adalah torsi (Nm); ω adalah kecepatan sudut (rad/s)

Efisiensi Turbin

Menyatakan performansi suatu mesin biasanya dinyatakan dalam efisiensi yang merupakan perbandingan antara efek manfaat yang digunakan dengan pengorbanan yang dilakukan [8]. Rumus efisiensi adalah sebagai berikut:

$$\eta_t = \frac{Pt}{Pa} \times 100\% \quad (5)$$

η_t adalah efisiensi turbin (%); Pt adalah daya turbin (Watt); Pa adalah daya air (Watt).

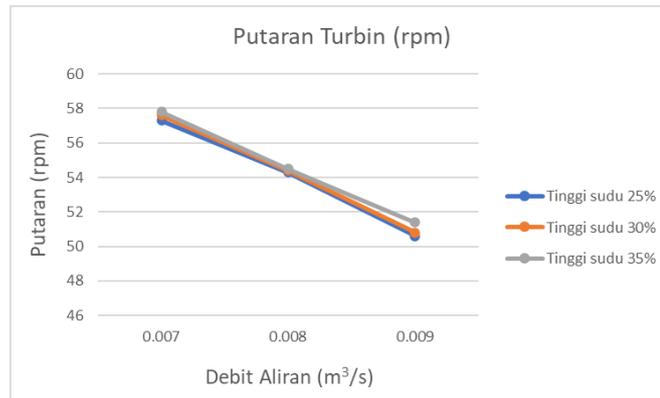
Analisis Anova

Anova sebenarnya sebuah bentuk yang lebih umum dari t-test yang sesuai digunakan dengan tiga atau lebih kelompok (juga dapat digunakan dengan dua kelompok). Tujuan dan pengujian anova dua arah adalah untuk mengetahui apakah ada pengaruh dari berbagai kriteria yang diuji terhadap hasil yang diinginkan [9].

3. Hasil dan Pembahasan

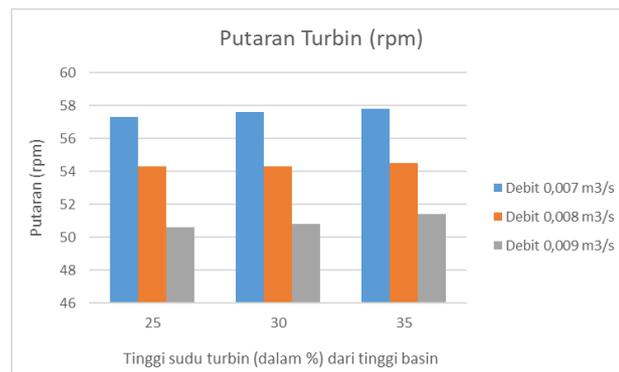
Pada grafik hubungan debit aliran dan putaran turbin mengalami penurunan. Semakin besar debit aliran, maka nilai putaran turbin semakin rendah di setiap variasi tinggi sudu turbin dari tinggi basinya. Debit aliran $0,007 m^3/s$ dengan variasi tinggi sudu 35% dari tinggi basin memiliki nilai putaran turbin

tertinggi sebesar 57,8 rpm. Pada debit aliran 0,009 m³/s dengan variasi tinggi sudu 25% dari tinggi basin memiliki nilai putaran turbin terendah sebesar 50,6 rpm.



Gambar 2 Hubungan putaran turbin dan debit aliran

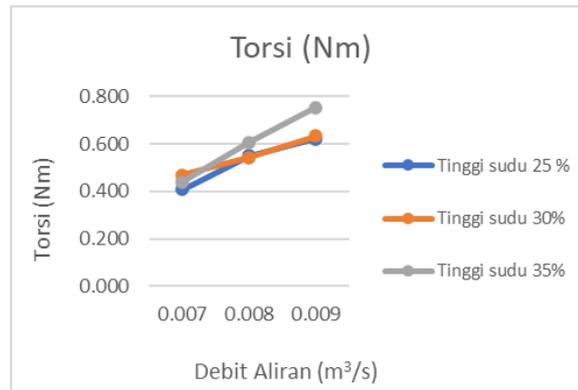
Pertambahan debit aliran sangat berpengaruh terhadap putaran poros turbin, dikarenakan jika semakin besar debit aliran, maka volume air yang ada didalam basin akan mengalami penambahan sehingga badan turbin akan tenggelam dalam air dan perbedaan tinggi sudu pada turbin juga akan berpengaruh terhadap putaran turbin dimana semakin tinggi sudu turbin maka akan semakin banyak pula hantaman air pada sudu turbin. Dikarenakan perbedaan ketinggian *vortex* pada setiap tinggi sudu turbin menyebabkan luasan hantaman air pada sudu turbin semakin besar, sehingga akan berpengaruh terhadap putaran turbin.



Gambar 3 Hubungan putaran turbin dan tinggi sudu turbin dari tinggi basin

Pada gambar 3 hubungan putaran turbin dan tinggi sudu turbin dari tinggi basin mengalami kenaikan. Semakin bertambahnya tinggi sudu dari tinggi basin maka nilai putaran turbin semakin tinggi di setiap debitnya. Pada variasi tinggi sudu turbin 35% dari tinggi basin dengan debit aliran sebesar 0,007, m³/s didapat hasil nilai putaran turbin tertinggi sebesar 57,8 rpm. Pada variasi tinggi sudu 25% dari tinggi basin dengan debit 0,009 m³/s, didapat nilai putaran tertinggi turbin terendah yaitu 50,6 rpm. Pertambahan nilai putaran turbin dengan variasi tinggi sudu turbin dari tinggi basin disebabkan karena bertambahnya tinggi sudu turbin dari tinggi basin sangat berpengaruh terhadap putaran turbin. Dari gambar 4 hubungan torsi dan debit aliran pada debit 0,007 m³/s, bisa dilihat bahwa tinggi sudu 30% dari tinggi basin dengan nilai torsi sebesar 0,470 Nm, dan yang terendah adalah pada tinggi sudu 25% dari tinggi basin dengan nilai torsi sebesar 0,407 Nm. Dari grafik diatas, pada debit 0,007 m³/s dapat dikatakan bahwa semakin bertambahnya tinggi sudu maka semakin tinggi juga nilai torsinya. Tetapi, penerunan torsi pada tinggi sudu 35% dari tinggi basin disebabkan karena beban pengereman yang dilakukan untuk menghentikan putaran dari poros turbin besar. Untuk debit 0,008 m³/s, nilai torsi tertinggi pada tinggi sudu 35% dari tinggi basin dengan nilai torsi 0,607 Nm, diikuti dengan tinggi sudu

25% dari tinggi basin dengan nilai torsi sebesar 0,549 Nm dan nilai torsi terendah pada tinggi sudu 30% dari tinggi basin dengan nilai sebesar 0,543 Nm.



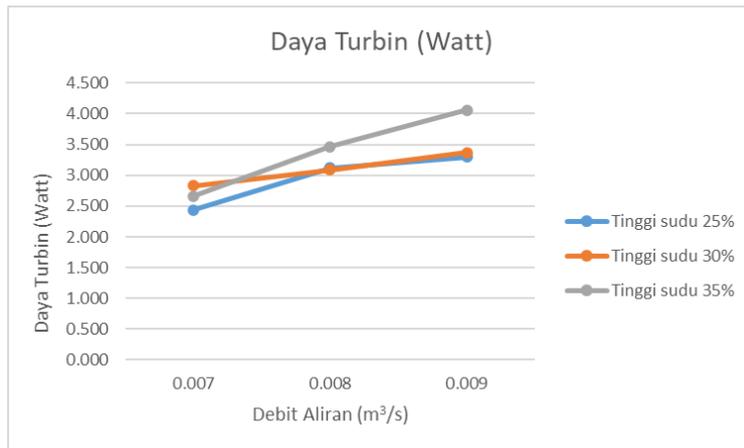
Gambar 4 Hubungan torsi dan debit aliran

Penurunan nilai torsi pada tinggi sudu 30% dari tinggi basin dengan debit 0,008 m³/s disebabkan karena volume yang masuk di antara celah bilah turbin semakin sedikit dan luasan hantaman air pada bilah turbin ini semakin sedikit. Untuk debit 0,009 m³/s nilai torsi tertinggi pada tinggi sudu 35% dari tinggi basi dengan nilai torsi sebesar 0,753 Nm dan nilai torsi terendah pada tinggi sudu 25% dari tinggi basin dengan nilai torsi sebesar 0,622 Nm. Pertambahan debit aliran sangat berpengaruh terhadap torsi dikarenakan jika semakin besar debit maka volume air yang ada didalam basin akan mengalami penambahan sehingga badan turbin akan tenggelam dalam air dan pertambahan tinggi sudu turbin maka akan semakin tinggi pula hantaman air pada bilah turbin. Penurunan nilai torsi dapat terjadi juga karena beban pengereman yang dilakukan untuk menghentikan putaran dari poros turbin besar.

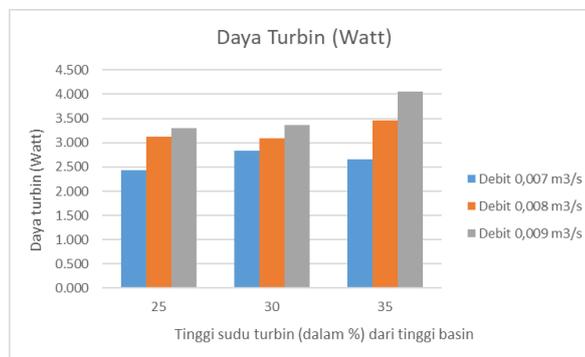


Gambar 5 Hubungan torsi dan tinggi sudu turbin dari tinggi basin

Pada grafik 5 hubungan torsi dan variasi tinggi sudu turbin dari tinggi basin bisa dilihat bahwa semakin bertambahnya tinggi sudu turbin dari tinggi basin maka semakin besar nilai torsi di setiap pertambahan debit aliran. Tetapi, pada tinggi sudu 30% dari tinggi basin mengalami penurunan pada debit 0,008 m³/s dan tinggi sudu 25% dari tinggi basin mengalami penurunan pada debit 0,009 m³/s. Hal ini disebabkan karena beban pengereman yang dilakukan untuk menghentikan putaran dari poros turbin yang semakin besar. Pada gambar 6 hubungan daya turbin dan tinggi sudu turbin dari tinggi basin mengalami kenaikan. Terlihat bahwa semakin tinggi sudu turbin dan semakin besar debit aliran maka daya turbin juga semakin besar di setiap tinggi sudu turbin dari tinggi basinnya. Debit aliran 0,009 m³/s dengan variasi tinggi sudu 35% dari tinggi basin mendapatkan nilai daya turbin tertinggi sebesar 4,062 Watt dan daya turbin terendah didapatkan pada debit 0,007 m³/s dengan variasi tinggi sudu 25% dari tinggi basin dengan nilai terendah 2,439 Watt. Tetapi, pada debit 0,008 m³/s dengan variasi tinggi sudu 30% dari tinggi basin mengalami penurunan daya, hal ini di di sebabkan karenan nilai dari torsi menurun.

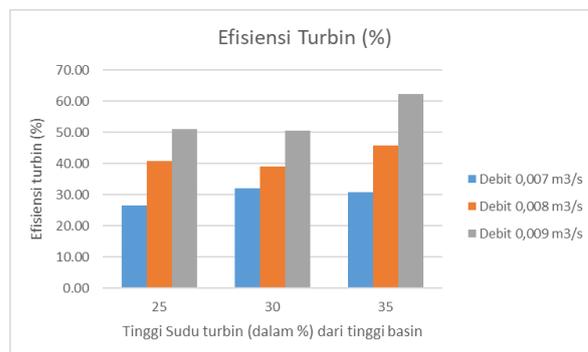


Gambar 6 Hubungan daya turbin dan debit aliran



Gambar 7 Hubungan daya turbin dan tinggi sudu turbin daritinggi basin

Pada gambar 7 hubungan variasi tinggi sudu turbin terhadap putaran mengalami kenaikan. Semakin besar tinggi sudu turbin dari tinggi basin, maka nilai daya air semakin besar. Daya turbin tertinggi didapat pada variasi tinggi sudu 35% dari tinggi basin dengan debit 0,009 m³/s sebesar 4,062 Watt dan daya turbin terendah pada variasi tinggi sudu 30% dengan debit 0,007 m³/s nilai terendah 2,439 Watt. Tetapi, pada variasi tinggi sudu 35% dari tinggi basin dengan debit 0,007 m³/s mengalami penurunan nilai daya turbin, hal ini disebabkan karena nilai torsi kecil.



Gambar 8 Hubungan efisiensi turbin dan tinggi sudu turbin dari tinggi basin

Pada gambar 8 hubungan efisiensi turbin dan tinggi sudu turbin dari tinggi basin mengalami kenaikan. Semakin besar tinggi sudu maka nilai efisiensi turbin semakin besar. Efisiensi tertinggi terdapat pada tinggi sudu 35% dari tinggi basin sebesar 62,35% dan efisiensi terendah didapatkan oleh

tinggi sudu 25% dari tinggi basin dengan nilai terendah yaitu 26,53%. Tetapi, pada tinggi sudu 30% dari tinggi basin dengan debit 0,008 m³/s dan tinggi sudu 35% dari tinggi basin dengan debit 0,007 m³/s penurunan, hal ini disebabkan karena daya turbin yang dihasilkan menurun, sehingga daya turbin berpengaruh terhadap efisiensi turbin.

Tabel 1 Tabel analisis anova untuk daya turbin

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	3.974538	2	1.987269	95.71867	2.56E-10	3.554557
Columns	0.924157	2	0.462079	22.25645	1.36E-05	3.554557
Interaction	0.6495	4	0.162375	7.820938	0.000776	2.927744
Within	0.373708	18	0.020762			
Total	5.921903	26				

Tabel 1 menunjukkan bahwa variasi debit aliran hasilnya diperoleh $F_{hitung} > F_{tabel} = 3,554$ maka H_0 ditolak. Sehingga, hal ini menunjukkan bahwa variasi debit aliran berpengaruh signifikan terhadap daya turbin yang dihasilkan. Sementara untuk variasi tinggi sudu turbin hasilnya diperoleh $F_{hitung} > F_{tabel} = 3,554$ maka H_0 ditolak. Sehingga, hal ini menunjukkan bahwa variasi tinggi sudu turbin dari tinggi basin berpengaruh signifikan terhadap daya turbin yang dihasilkan. Kesimpulannya adalah terdapat interaksi antara tinggi sudu turbin dari tinggi basin dan debit aliran dalam mempengaruhi daya turbin.

Tabel 2 Tabel analisis anova untuk efisiensi turbin

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	2790,913	2	1395,456	261,0902	5,07E-14	3,554557
Columns	245,87	2	122,935	23,00116	1,1E-05	3,554557
Interaction	145,9783	4	36,49457	6,828143	0,001583	2,927744
Within	96,20512	18	5,344729			
Total	3278,966	26				

Tabel 2 menunjukkan bahwa variasi debit aliran hasilnya diperoleh $F_{hitung} > F_{tabel} = 3,554$ maka H_0 ditolak. Sehingga, hal ini menunjukkan bahwa variasi debit aliran berpengaruh signifikan terhadap daya turbin yang dihasilkan. Sementara untuk variasi tinggi sudu turbin hasilnya diperoleh $F_{hitung} > F_{tabel} = 3,554$ maka H_0 ditolak. Sehingga, hal ini menunjukkan bahwa variasi tinggi sudu turbin dari tinggi basin berpengaruh signifikan terhadap daya turbin yang dihasilkan. Kesimpulannya adalah terdapat interaksi antara tinggi sudu turbin dari tinggi basin dan debit aliran dalam mempengaruhi daya turbin.

4. Kesimpulan

Penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh variasi tinggi sudu turbin dari tinggi basin terhadap daya dan efisiensi turbin *vortex*. Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai putaran turbin tertinggi terdapat pada variasi tinggi sudu 35% dari tinggi basin pada debit 0,007 m³/s sebesar 57,8 rpm. Pertambahan nilai putaran turbin dengan variasi tinggi sudu turbin dari tinggi basin disebabkan karena bertambahnya tinggi sudu turbin dari tinggi basin sangat berpengaruh terhadap putaran turbin. Nilai torsi tertinggi terdapat pada variasi tinggi sudu 35% dari tinggi basin dengan debit 0,009 m³/s sebesar 0,753 Nm. Pertambahan nilai putaran turbin dengan variasi tinggi sudu turbin dari tinggi basin disebabkan karena bertambahnya tinggi sudu turbin dari tinggi basin

sangat berpengaruh terhadap putaran turbin. Daya turbin terbesar terdapat pada variasi tinggi sudu 35% dari tinggi basin dengan debit 0,009 m³/s sebesar 4,062 Watt. Semakin besar tinggi sudu turbin dari tinggi basin, maka nilai daya air semakin besar. Efisiensi turbin terbesar terdapat pada variasi tinggi sudu 35% dari tinggi basin dengan debit 0,009 m³/s sebesar 62,35. Semakin besar tinggi sudu maka nilai efisiensi turbin semakin besar. Daya turbin dan efisiensi turbin berdasarkan analisa ANOVA dua arah (*One Way Analysis of Variance*) terlihat bahwa antara variasi tinggi turbin dan debit berpengaruh signifikan terhadap daya turbin dan efisiensi turbin yang di hasilkan.

Daftar Notasi

<i>Vortex</i>	pusarann air
Rpm	rotasi per menit
v	kecepatan aliran (m/s)
ρ	massa jenis air (kg/m ³)
Q	debit air (m ³ /s)
Hv	ketinggian <i>vortex</i> (m)
T	torsi (Nm)
F	gaya (N)
m ₁	pembebanan massa 1 (kg)
m ₂	pembebanan massa 2 (Kg)
Pa	daya air (Watt)
g	percepatan gravitasi 9,81 (m/s ²)
ω	kecepatan sudut (rad/s)
n	putaran turbin (rpm)
r	jari-jari poros (m)
Pt	daya turbin (Watt)
η_t	efisiensi turbin (%)

Daftar Pustaka

- [1] Dwiyanto, V., Kusumastuti, D., I., Tugiono, S., Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Studi Kasus: Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai), *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 4 (3) (2016) 407-422.
- [2] Budiartawan, K., Suryawan, A., A., A., Suarda, M., Pengaruh Variasi Sudut Sudu Segitiga Terhadap Performansi Kincir Air Piko Hidro, *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika*, 6 (3), (2017) 294-298.
- [3] Mohanan, A., M., 2016, Power Generation with Simultaneous Aeration Using A Gravity Vortex Turbine, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 7, Issue 2
- [4] Hakim, M., F., R., Adiwibowo, P., H., Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang Lurus Dengan Variasi Tinggi Sudu, *Jurnal Teknik Mesin*, 6 (1) (2018) 85-95.
- [5] Prasetyo, W., D., “Rancang Bangun Turbin Vortex Skala Kecil Dan Pengujian Pengaruh Bentuk Penampang Sudu Terhadap Daya” (skripsi), Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia, 2018.
- [6] Ryanto, Agus, N., Wigraha, N.A., Dantes, K.R., Pengaruh Pemotongan Permukaan Penutup Ruang Bakar pada Kepala Silinder terhadap Daya dan Torsi pada Motor Jupiter Z, *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 6 (1) (2018) 31-40.
- [7] Marpaung, F., J., “Uji Performansi Turbin *Vortex* Menggunakan Variasi Dimensi Sudu 2 dan 3 dan Luas Saluran Buang serta Ketinggian dari Dasar Casing” (skripsi), Medan: Universitas Sumatera Utara, 2013.
- [8] Ully, D., N., Bernadus, W., Purnawarman, G., Pengaruh Pemasangan Sudu Pengarah dan Variasi Jumlah Sudu Rotor Terhadap Performance Turbin Angin Savonius Tipe L, *Journal of Flywheel*, PNK, 8 (1) (2017) 27-28.
- [9] Rahmawati, A. S., Erina, R., Rancangan acak lengkap (RAL) dengan uji anova dua jalur, *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 4 (1) 2020 54-62.