

**Dwi Aries Himawanto**

Staf Pengajar  
Universitas Sebelas Maret  
Jurusan Teknik Mesin  
dwiarieshimawanto@gmail.com

**Hasan Bisri**

Staf Pengajar  
SMKN 1 Sine Ngawi  
Jurusan Teknik Kendaraan Ringan  
Hasanbisri1295@gmail.com

**Akhmad Nurdin**

Staf Pengajar  
Politeknik Manufaktur Ceper  
Prodi Teknologi Pengecoran Logam  
nurdin@polmanceper.ac.id

## PENGARUH GEOMETRI SUDU INLET BAGIAN TIP DAN HUB TURBIN PROPELLER PADA UNJUK KERJA ALIRAN HORIZONTAL

*Potential of Indonesian hydropower which has only been utilized 9% has been concern of many researchers. Hydro power, especially on streams with Ultra Low Head (ULH), has become a trend of current research as renewable energy in reducing the energy crisis as a pico scale power plant. ULH which is often identified with horizontal flow can be utilized well with reaction type turbines, which are often used are propeller turbines. Propeller turbines that have high efficiency still need to be investigated and developed in order to produce better output power, especially in horizontal flow. Modification of experimental blades at inlet section of tip and hub of blade is an effort to increase the output power of propeller turbine. Inlet tip angle variations are 19°, 23°, 29°, and 36°, while inlet hub angle variations are 33°, 36°, 40°, and 44° by being tested at a discharge of 13 l/s. This study aims to determine the effect of inlet angle of tip and hub of blade on the performance of turbine on horizontal flow in pipe. The highest results in use of 23° inlet tip and 33° inlet hub are 17.4 watts of electrical power and 50% efficiency.*

**Keywords:** Propeller Turbine, Hidropower, Ultra Low Head

### 1. PENDAHULUAN

Energi fosil menjadi salah satu penyebab polusi lingkungan yang membuat sektor energi beralih menggunakan energi terbarukan [1-3]. Bentuk energi terbarukan yang banyak dikembangkan yaitu biomass, panas bumi, panas matahari, gelombang air laut, angin, dan air [4]. Tenaga air (hidropower) sebagai *renewable energy* memiliki keuntungan efisiensi kerja lebih baik dibanding sumber energi terbarukan lainnya, dimana hidropower memiliki efisiensi antara 60% hingga 90% [5].

Hidropower dengan skala kecil dengan hasil daya keluaran dibawah 5 kW sering disebut *pico hydro* [6]. Salah satu bentuk aplikasi pico hydro dapat dikatehui pada pemanfaatan *water supplay* dengan aliran horisontal yang memanfaatkan dengan jenis turbin aksial [7]. Turbin aksial yang ideal sebagai pembangkit listrik skala *pico hydro* yang bekerja pada head sangat rendah (*ultra low head*) dengan debit tinggi yaitu turbin propeller.

Kinerja turbin propeller bagian sudu yang dapat mempengaruhi yaitu jumlah sudu, kemiringan sudu, dan kelengkungan sudu. Variasi kelengkungan dapat mempengaruhi titik tumbuk aliran air yang mengenai sudu, sehingga penumbukan terhadap sudu yang tepat akan menciptakan gaya aksial turbin yang besar dalam meningkatkan performa turbin [8]. Kelengkungan sudu dipengaruhi oleh sudut masuk dan sudut keluar sudu, sudut masuk maupun keluar dapat berada di bagian *tip* dan *hub*, pengaruh sudu bagian *inlet tip* lebih dominan dibandingkan sudut bagian *outlet tip* [8]. Dari penelitian pengaruh sudu bagian inlet hub menyebutkan penggunaan variasi *inlet hub angle* meningkatkan efisiensi turbin ( $\eta$ ) sebesar 2 % pada turbin *untwisted* [9].

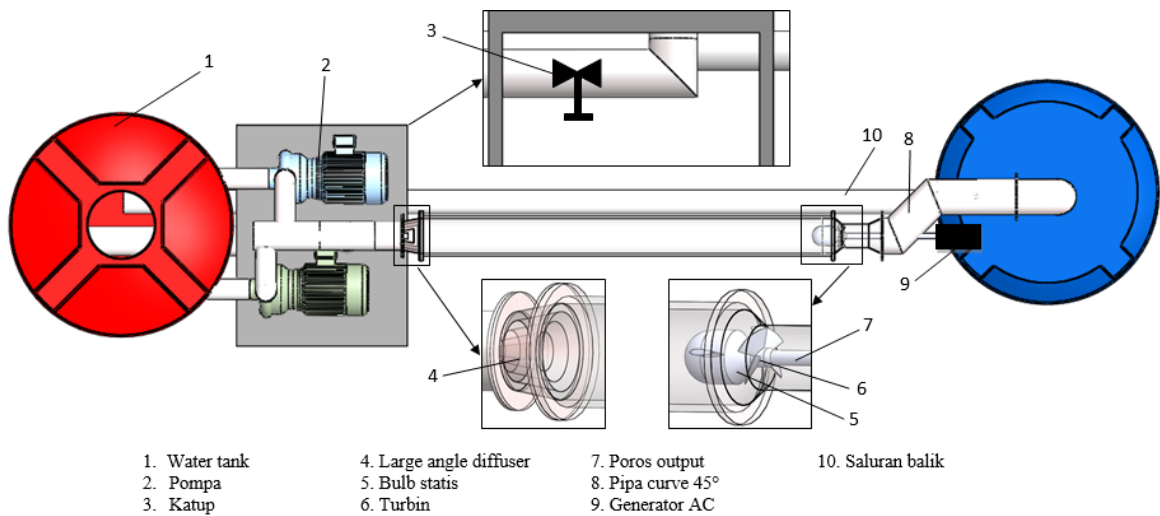
Profil turbin propeller yang diaplikasikan pada aliran air horisontal mampu menghasilkan daya maksimum [7]. Selanjutnya perubahan profil turbin propeller dengan mengurangi diameter turbin dan menghasilkan efisiensi mencapai 60% [10]. Hasil tersebut kemudian dilanjutkan dengan penelitian mengenai pengaruh perubahan besr sudut masuk bagian *tip* dan *hub* pada profil turbin, dimana perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan yaitu penggunaan *bulb* statis dan LAD pada peralatan penelitian yang sama dan didapatkan hasil bahwa penggunaan *bulb* dapat mempengaruhi kecepatan fluida masuk sudu turbin, dimana tanpa menggunakan *bulb* maka kecepatan tangensial yang terjadi adalah nol [11].

Berdasarkan pembahasan di atas, maka artikel ini memaparkan keterkaitan antara karakteristik *pico-*

tubular bulb turbine jika dilakukan perubahan *inlet angle* pada *tip* dan *hub* sudu.

## 2. METODE DAN BAHAN

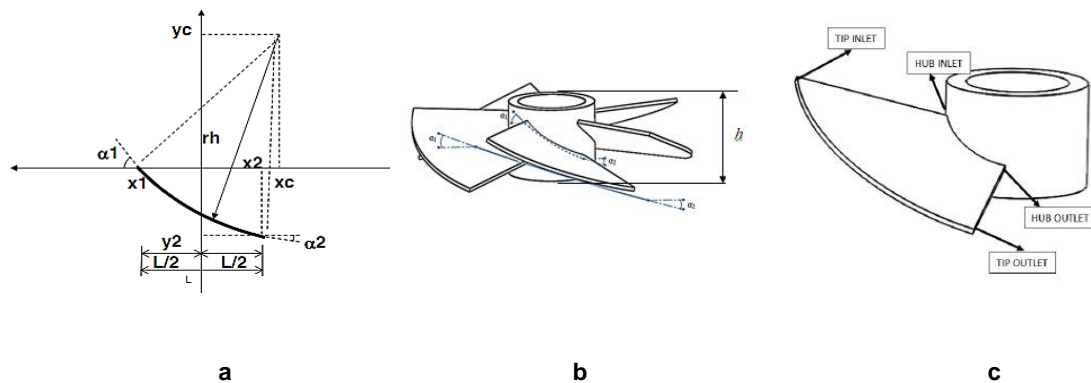
Pengumpulan data penelitian ini berdasarkan hasil penelitian di lapangan dengan variabel bebasnya berupa *inlet tip angle* dan *inlet hub angle* dengan variasi masing-masing  $19^\circ$ ,  $23^\circ$ ,  $29^\circ$ ,  $33^\circ$  dan  $33^\circ$ ,  $36^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $44^\circ$ . Dengan variabel terikat berupa daya hidrolik dan daya listrik. Besar debit air yang digunakan sebagai kontrol dalam artikel ini adalah 13 l/s pada semua variasi. Aparatus tes yang digunakan menyerupai dengan penelitian yang dilakukan oleh Samora et al [10], dimana perbedaan terjadi pada penggunaan jenis *bulb*. Jenis *bulb* yang digunakan yaitu *bulb* statis yang memiliki rasio 0,6. Sumber aliran fluida pada penelitian ini didapatkan dari 2 buah pompa dan aliran diseragamkan menggunakan perangkat *large angle diffuser* (LAD). Besar diameter pipa utama dan pipa yang terinstal turbin masing-masing yaitu 127 mm (5 inci) dan 76,2 mm (3 inci). Pipa buangan yang berada di belakang turbin dibuat belokan sebesar  $45^\circ$ , hal itu dibuat supaya tidak terjadi hambatan aliran. Gambar 1 menunjukkan peralatan yang digunakan untuk pengujian.



**Gambar 1:** Peralatan yang digunakan

### 2.1 Desain sudu turbin

Pembuatan sudu turbin mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh [7], dimana perancangan sudu telah ditetapkan. Gambar 2a menunjukkan aturan koordinat desain rancang bangun sudu propeller, sedangkan Gambar 2b menunjukkan sudut bagian *inlet tip* dan *inlet hub*, dengan  $\alpha_1$  merupakan *inlet* dan  $\alpha_2$  merupakan *outlet*. Sedangkan bagian masing-masing *outlet* dibuat konstan, yaitu *outlet tip*  $\alpha_2 = 38^\circ$  dan *outlet hub*  $\alpha_2 = 68^\circ$ .



**Gambar 2:** Desain rancang bangun turbin (a. koordinat perancangan b. sudut bagian *tip* dan *hub* c. *hub* dan *inlet*)

Spesifikasi turbin dibuat dengan banyak sudu berjumlah 5 dengan kemiringan sudu dibuat konstan  $25^\circ$

pada semua variasi. Diameter ( $\varnothing$ ) sudu sebesar 84,8 mm dengan tinggi *hub* 25,6 mm. Sudu turbin dibuat dengan bahan ABS dengan alat 3D printing dengan ketebalan sudu 2 mm.

**Tabel 1:** Variasi profil sudu bagian *hub* dan *tip* sebagai variabel bebas

<b>Hub</b>									
Profil	r (m)	$\alpha_1$ (°)	$\alpha_2$ (°)	rh (m)	L (m)	$x_1$ (m)	$x_2$ (m)	$x_c$ (m)	$y_c$ (m)
1	0,0128	44	62	0,0538	0,0174	0,0087	0,0087	-0,0272	0,0402
2	0,0128	40	62	0,0759	0,0174	0,0087	0,0087	-0,0374	0,0603
3	0,0128	36	62	0,0878	0,0174	0,0087	0,0087	-0,0423	0,0713
4	0,0128	33	62	0,0160	0,0174	0,0087	0,0087	-0,0786	0,1339

<b>Tip</b>									
Profil	r (m)	$\alpha_1$ (°)	$\alpha_2$ (°)	rh (m)	L (m)	$x_1$ (m)	$x_2$ (m)	$x_c$ (m)	$y_c$ (m)
1	0,0424	36	38	0,2150	0,0514	0,0257	0,0257	-0,0972	0,1764
2	0,0424	29	38	0,2857	0,0514	0,0257	0,0257	-0,1096	0,2518
3	0,0424	23	38	0,5060	0,0514	0,0257	0,0257	-0,1720	0,4658
4	0,0424	19	38	0,7177	0,0514	0,0257	0,0257	-0,2144	0,6764

## 2.2 Perhitungan daya hidrolis

Penelitian ini menggunakan analisis data deskriptif kuantitatif dan uji statistik dalam membandingkan hasil dari 2 variabel bebas. Data yang didapatkan pada penelitian ini berupa daya hidrolis dan daya listrik. Daya hidrolis pada aliran horisontal didapatkan dari kecepatan aliran dengan luasan area pada pipa. Persamaan daya hidrolis sebagaimana terlihat dalam persamaan (1) tidak berdasarkan rumus Bernoulli, hal ini terjadi karena penggunaan pompa, turbin, kipas angin, dan mesin akan menghancurkan garis aliran dan interaksi partikel fluida dengan energi [12]. Oleh karena itu pada penelitian ini daya hidrolis dapat didefinisikan sebagai kecepatan aliran pada penampang dengan volume tertentu. Daya hidrolis dapat dihitung dengan persamaan (1) berikut:

$$P_i = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1)$$

Dimana  $P_i$  merupakan daya hidrolis (watt),  $\rho$  adalah massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ ),  $A$  adalah luas penampang area di depan turbin ( $\text{m}^2$ ), dan  $v$  adalah kecepatan fluida air (m/s).

Diketahui:

$$\begin{aligned} \text{Diameter Pipa} &= 0,085 \text{ m} \\ \text{Diameter Hub Turbin} &= 0,000514 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas aliran air} &= \text{Diameter pipa} - \text{luas hub turbin} \\ &= (3,14 \cdot 0,085^2) - (3,14 \cdot 0,000514^2) \\ &= 0,0052 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

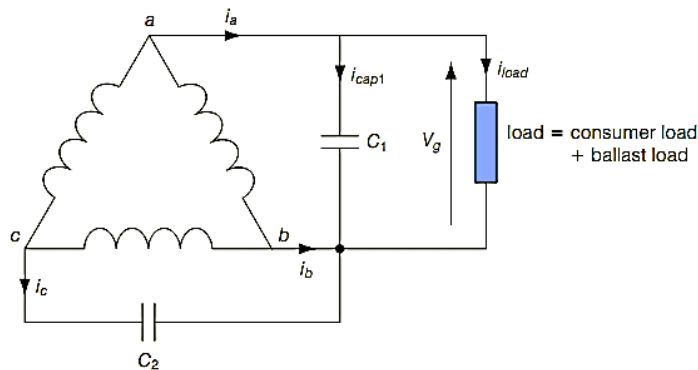
$$\begin{aligned} \text{Kecepatan alir air} &= \frac{\text{Debit Aliran}}{\text{Luasan Area Sudu}} \\ &= \frac{0,013}{0,052} \\ &= 2,534 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai daya hidrolis, } P_i &= \frac{1}{2} \rho A v^3 = 0,5 \cdot 996,45 \cdot 0,0052 \cdot 2,534^3 \\ &= 41,733 \text{ Watt} \end{aligned}$$

## 2.3 Perhitungan daya listrik

Penelitian yang dilakukan oleh [13] menjelaskan bahwa generator 3 fasa dapat dijadikan menjadi satu fasa dengan menggunakan komponen kapasitor. 2 buah kapasitor dipasang pada rangkaian output generator, dimana salah satu kapasitor menghubungkan fasa kedua dan fasa ketiga dengan fasa ketiga, dengan fasa

ketiga tidak terhubung dengan beban. Gambar 3 menunjukkan rangkaian generator yang diubah nilai fasanya menjadi satu. Hasil output yang didapatkan kemudian dirangkai dengan AVO meter untuk mendapatkan nilai tegangan dan kuat arus sebagai data masukan untuk mencari nilai daya listrik.



**Gambar 3:** Rangkaian generator 3 fasa yang diubah menjadi 1 fasa [12].

Perhitungan daya listrik berdasarkan persamaan berikut:

$$P_{out} = V \times I \quad (2)$$

Dimana  $P_{out}$  merupakan daya listrik yang dihasilkan dari generator (watt),  $V$  adalah tegangan listrik (volt), dan  $I$  adalah kuat arus (ampere).

#### 2.4 Perhitungan koefisien daya

Koefisien daya adalah perbandingan antara daya aktual yang dihasilkan oleh sudu rotor dengan daya yang bekerja pada fluida. Karena pada penelitian ini menggunakan generator, maka nilai koefisien daya dapat dipengaruhi oleh nilai efisiensi generator, persamaannya sebagai berikut:

$$\eta_{gen} = \frac{P_{out}}{\omega \cdot T} \times 100\% \quad (3)$$

, dengan  $P_{out}$  merupakan daya listrik (watt),  $\omega$  merupakan kecepatan sudut ( $2\pi n/60$ ) (rad/s), dan  $T$  adalah torsi (Nm). Sehingga besarnya nilai daya listrik dengan efisiensi generator dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_{in} = P_{out} / \eta_{gen} \times 100\% \quad (4)$$

, dimana  $P_{in}$  merupakan daya mekanis yang dihasilkan oleh turbin, dan  $\eta_{gen}$  adalah nilai efisiensi generator (%). Sehingga nilai *Coefficient of performance* merupakan perbandingan nilai antara daya aktual dalam hal ini daya listrik dengan nilai daya hidrolik air dengan persamaan:

$$C_p = P_{out} / P_{in} \times 100\% \quad (5)$$

### 3. HASIL DAN DISKUSI

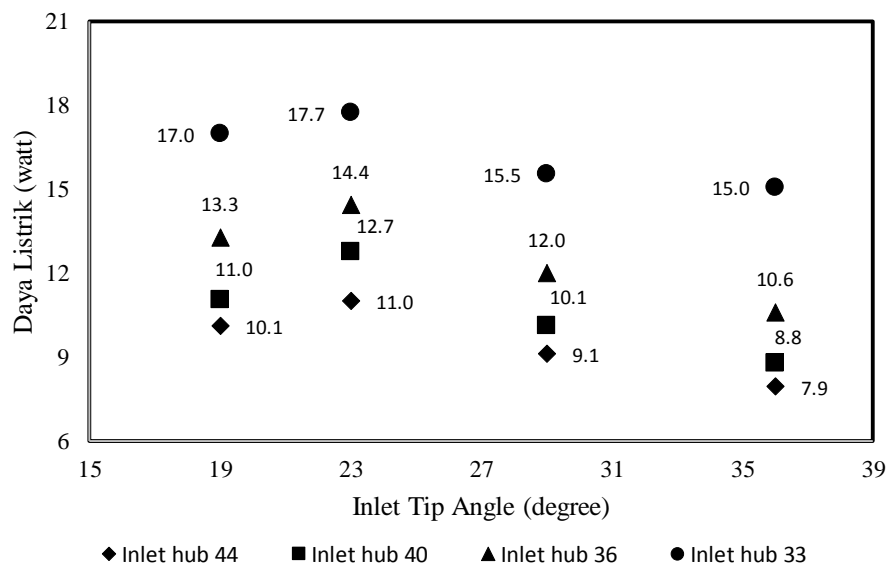
Data yang telah didapatkan dari penelitian selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, dimana hal ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran atas fenomena yang terjadi pada benda uji. Parameter hasil penelitian yang berupa nilai debit, kecepatan aliran fluida, voltase, dan kuat arus selanjutnya dapat dijadikan data masukan untuk mengetahui karakteristik turbin lewat unjuk kerjanya. Tabel 2 menunjukkan hasil rerata daya listrik pada semua variasi independen. Terlihat secara deskriptif variasi *inlet tip* ( $\alpha_1$ )  $23^\circ$  dan *inlet hub*  $33^\circ$  menunjukkan hasil daya listrik paling optimum

**Tabel 2:** Hasil daya listrik

Inlet Tip	Sudut Inlet Hub ( $\alpha_1$ )			
	44°	40°	36°	33°
36°	7,92	8,76	9,58	11,05
29°	9,09	10,09	10,97	11,53
23°	11,00	11,73	12,43	14,73
19°	10,09	11,01	11,26	13,97

### 3.1 Hubungan daya listrik dengan *inlet angle*

Berdasarkan Persamaan 2, daya listrik dapat dihitung melalui perkalian antara nilai tegangan (volt) dan kuat arus (ampere). Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan antara *inlet tip angle* dengan nilai daya listrik. Berdasarkan gambar 4 dapat diketahui hasil daya *output* pada pengujian dengan debit tertentu, dimana secara umum nilai daya listrik pada variasi sudut *inlet tip* ( $\alpha_1$ ) dari sudut 23° sampai 36° mengalami penurunan dengan bertambahnya nilai sudut *inlet tip* sudu. Daya listrik dengan variasi *inlet tip angle* ( $\alpha_1$ ) 19° terlihat mengalami penurunan. Daya listrik tertinggi ditunjukkan dengan variasi *inlet tip angle* ( $\alpha_1$ ) 23° dan variasi *inlet hub angle* 33° yaitu sebesar 17,7 watt.

**Gambar 4:** Hubungan antara *inlet angle* dengan daya listrik

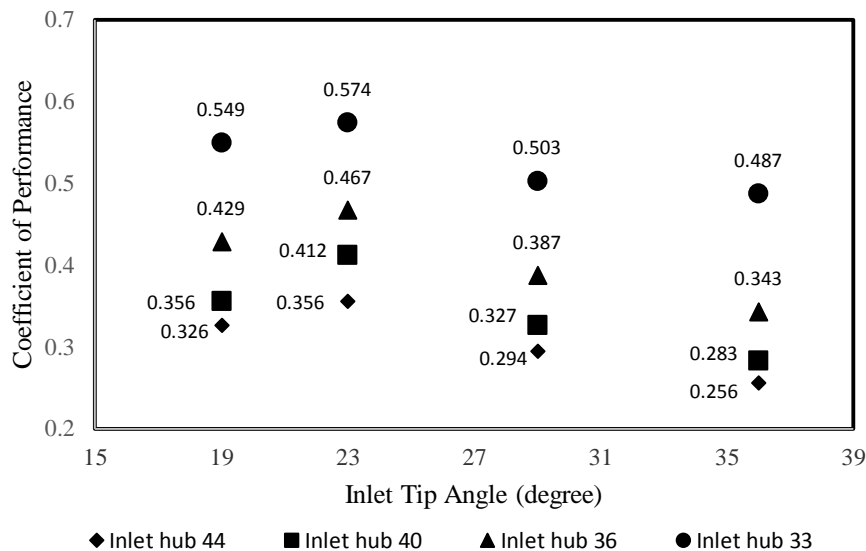
Dari Gambar 4 terlihat bahwa terdapat kecenderungan bahwa dengan semakin besar sudut *inlet tip* pada turbin propeller akan menyebabkan baik daya mekanik dan daya listrik turbin akan cenderung turun, hasil tersebut berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya [8] yang menemukan dengan sudut *inlet* bagian *tip* yang meningkat akan menaikkan daya *output* turbin propeller. Pada penelitian tersebut, pengujian dilakukan dengan menggunakan *guide vane* tanpa adanya *bulb*, sehingga menyebabkan aliran yang melalui sudu dapat terarah tepat ke *inlet* sudu, yang berakibat pada aliran yang mengenai sudu dapat terkonversi semakin baik, sementara ada artikel ini, terdapat tambahan *bulb* statis tanpa adanya *guide vane*, hal tersebut menyebabkan aliran yang melalui sudu tidak semuanya terarah pada bagian inlet tip sudu, sehingga konversi daya juga tidak berjalan secara maksimal. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Chelabi [15] mengenai sudut masuk dimana dalam penelitian tersebut didapatkan bahwa perubahan nilai sudut masuk memengaruhi distribusi tekanan yang mengenai sudu, sehingga diduga dapat

menyebabkan kenaikan atau penurunan performa turbin. Hal tersebut diatas didukung oleh hasil penelitian Ramos et al. [7] yang menyatakan bahwa profil sudu yang berubah akan merubah sudut aliran relatif dari *inlet* ke *outlet*, sehingga dapat mempengaruhi nilai efisiensi. Dari uraian tersebut diatas, dapat disimpulkan bahwa variasi *inlet tip angle* yang semakin naik pada turbin propeller akan mempengaruhi sudut pisau (sudut aliran relatif) yang mengarah dari hulu ke hilir aliran menjadi buruk, sehingga nilai daya dan efisiensi turun. Namun demikian, daya dan efisiensi yang dihasilkan pada profil *inlet tip* 23°, memberikan hasil yang optimal dari berbagai variasi lainnya, hal ini menandakan sudut pisau dan kecepatan tangensial yang dibentuk berpengaruh secara positif terhadap daya yang dihasilkan.

Sementara itu, prinsip kerja generator yaitu merubah daya mekanik menjadi daya listrik saat poros berputar, dimana putaran poros akan memutar rotor terhadap stator sehingga tercipta induksi elektromagnetik pada generator dan menghasilkan listrik. Semakin cepat putaran poros *output* turbin terhadap generator, maka daya yang dihasilkan juga besar [14]. Hal ini disebabkan karena putaran poros yang cepat menjadikan medan magnet bagian rotor dan stator semakin kuat sehingga daya yang dihasilkan semakin besar.

### 3.2 Hubungan coefficient of performance dengan *inlet angle*

*Coefficient of performance* (CP) merupakan perbandingan nilai antara daya aktual dalam hal ini daya listrik dengan nilai daya hidrolis air. Nilai CP menunjukkan berapa besar nilai efisiensi daya yang mampu dikonversi oleh turbin. Gambar 5 menunjukkan hubungan antara *inlet tip angle* dengan nilai CP. Berdasarkan gambar 4.4 dapat diketahui kinerja turbin berdasarkan nilai CP pada beberapa variasi debit, dimana secara umum nilai CP pada variasi sudut *inlet tip* 23° sampai 36° mengalami penurunan dengan bertambahnya nilai sudut *inlet tip* sudu.



Gambar 5: Hubungan daya listrik dengan *inlet tip angle*

Nilai CP dengan variasi *inlet tip angle* 19° terlihat mengalami penurunan, hal ini disebabkan oleh karena variasi sudut 19° menghasilkan gaya putar yang lebih rendah dibandingkan variasi *inlet tip angle* = 23°. CP tertinggi ditunjukkan dengan variasi *inlet tip angle* 23° dan variasi *inlet hub angle* ( $\alpha_2$ ) = 33° yaitu sebesar 0,574

Hasil penelitian ini didukung dengan hasil penelitian [15] mengenai pengaruh sudut masuk. Dari hasil penelitian tersebut dinyatakan bahwa perubahan nilai sudut masuk akan mempengaruhi distribusi tekanan yang mengenai sudu, dimana distribusi tekanan pada sudu akan mempengaruhi performa dari turbin air.

### 3.3 Analisis statistik

Berdasarkan tabel 2 maka dapat dilakukan analisis uji statistik terhadap hasil data yang didapatkan. Pengujian statistik menggunakan anova 2 arah dengan tanpa replikasi menggunakan aplikasi *microsoft excel* 2013. Perumusan hipotesis untuk uji signifikansi dengan metode faktorial desain dapat dituliskan sebagai berikut.

- $H_{null1}$  : Faktor *inlet hub angle* aliran tidak berpengaruh secara signifikan terhadap daya listrik;  
 $H_{altv1}$  : Faktor *inlet hub angle* aliran berpengaruh secara signifikan terhadap daya listrik;  
 $H_{null2}$  : Faktor *inlet tip angle* aliran tidak berpengaruh secara signifikan terhadap daya listrik;  
 $H_{altv2}$  : Faktor *inlet tip angle* aliran berpengaruh secara signifikan terhadap daya listrik;

Pengolahan data menggunakan asumsi tingkat kepercayaan 95% atau  $\alpha = 0,05$  dan jumlah replikasi 4. Pengambilan keputusan dapat berdasarkan perbandingan nilai  $F_{hitung}$  dan  $F_{critical}$  [16], dimana apabila nilai  $F_{hitung} < F_{critical}$ , maka perlakuan tidak memberikan efek yang signifikan terhadap parameter atau dapat diartikan  $H_{null}$  diterima. Sebaliknya apabila nilai  $F_{hitung} > F_{critical}$ , maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan memberikan efek yang signifikan terhadap parameter atau dapat diartikan  $H_{null}$  ditolak. Perhitungan *Two-Way Anova without replication* dengan *microsoft excel 2013* dapat ditunjukkan pada tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil uji anova 2 arah tanpa replikasi.

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	22,470	3	7,490	43,756	1,08E-05	3,862
Columns	23,357	3	7,785	45,481	9,19E-06	3,862
Error	1,540	9	0,171			
Total	47,368	15				

Hasil analisis *Two-Way Anova without replication* terhadap daya listrik dapat disimpulkan sebagai berikut.

- Variasi *inlet hub angle* (*rows*) memberikan efek yang signifikan terhadap daya listrik turbin propeller, yang diindikasikan dari nilai  $F_{hitung} < F_{critical}$  atau dapat dituliskan  $43,756 > 3,862$ . Maka  $H_{null1}$  ditolak.
- Variasi *inlet tip angle* (*column*) memberikan efek yang signifikan terhadap daya listrik turbin propeller, yang diindikasikan dari nilai  $F_{hitung} < F_{critical}$  atau dapat dituliskan  $45,481,13 > 3,862$ . Maka  $H_{null2}$  ditolak.

Tabel 3 dapat menunjukkan pengaruh yang berbeda terhadap daya listrik, dimana nilai  $F_{hitung}$  antara variasi *inlet hub angle* < *inlet tip angle*. Nilai  $F_{hitung}$  yang lebih besar memberikan indikasi bahwa pengaruh yang lebih signifikan terhadap variabel terikat. Maka variasi *inlet tip angle* lebih berpengaruh signifikan dibandingkan *inlet hub angle* terhadap daya listrik.

#### 4. KESIMPULAN

Modifikasi sudu propeller bagian *inlet tip angle* dan *inlet hub angle* berpengaruh terhadap unjuk kerja turbin propeller aliran horisontal. Nilai daya listrik tertinggi dihasilkan dari variasi *inlet tip* 23° dan *inlet hub* 33° yaitu sebesar 17,7 watt dan CP mencapai 57%.

#### 5. PERNYATAAN TERIMAKASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan. Penulis mengapresiasi Jurusan Teknik Mesin di Universitas Sebelas Maret atas fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- ERINOFIARDI, GOKHALE, P., DATE, A., AKBARZADEH, A., BISMATOLO, P., SURYONO, A.F., MAINIL, A.K., NURAMAL, A., "A review on micro hydropower in Indonesia", *J Teknologi (Sciences & Engineering)* vol. 110, no. 5, hlm. 316-321. 2017.
- BIANTORO, A.W., ISKENDAR., SUBEKTU., NIK H., "The Effects of Water Debit and Number of Blades on the Power Generated of Prototype Turbines Propeller as Renewable Electricity". *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 12, n. 1, p. pp. 203-215. 2021.
- RITONGA, A.M., MASRUKHI, SAFI, A.I., "Karakterisasi Biogas Hasil Pemurnian dengan Down-Up Purifier Termodifikasi". *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 12, n. 1, p. pp. 171-179. 2021.
- ERINOFIARDI, SYAIFUL, M., PRAYITNO, A., "Electric power generation from low head simple turbine for remote area power supply", *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)* vol. 74, no. 5, hlm. 21-25. 2015.
- KUSAKANA, K., MUNDA, J.L., "Economic and Environmental Analysis of Micro Hydropower

- System for Rural Power Supply”, in : *2<sup>nd</sup> IEEE International Conference on Power and Energy (PECon 08)*, hlm. 441-444. 2008.
- [6] NURDIN, A., AND DWI ARIES HIMAWANTO., “Studi Numerik Kekuatan Material Transmisi Roda Gigi Pico Hydro.” *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 14(1):24–29. 2019.
- Ramos, H.M. Simao, M., Borga, A., “Experiments and CFD Analyses for a New Reaction Microhydro Propeller with Five Blades”, *Journal Energy*, vol.139, hlm. 109-117. 2013.
- [8] SINGH, P., NESTMANN, F., “Experimental optimization of a free vortex propeller runner for micro hydro application”, *Journal Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 33, hlm. 991-1002. 2009.
- [9] SINGH, P., NESTMANN, F., “Influence of the Blade Hub Geometry on the Performance of Low-Head Axial Flow Turbines”, *Journal of Energy Engineering*, vol. 138, hlm. 109-118. 2012.
- [10] SAMORA, I., HASMATUCHI, V., ALLIGNE. C.M., FRANCA, J.M., SCHLEIS, A.J., RAMOS, H. M., “Experimental characterization of a five blade tubular propeller turbine for pipe inline installation”, *Journal Renewable Energy*, vol. 95, hlm. 356-366. 2016.
- [11] CHEN, Z., KIM, J.C., IM, M.H., CHOI, Y.D., “Analysis on the performance and internal flow of a tubular type hydro turbine for vessel cooling system”, *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 38, No. 10, hlm. 1244-1250. 2014.
- [12] CENGEL, Y.A., CIMBALA, J.M., *Fluids Mechanics: Fundamental and Application*. New York: McGraw Hill. 2006.
- [13] EKANAYAKE, J.B., “Induction Generators for Small Hydro Schemes” *Power Engineering Journal* (April):61–67. 2002.
- [14] KURNIAWAN, R., HIMAWANTO, D.A., WIDODO, P.J., “The Performance of Numbers of Blade towards Picohydro Propeller Turbine.” in : *TICATE 2018*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 508. hlm. 3–8. 2019.
- [15] CHELABI, M.A., HAMIDOU, M.K., HAMEL, M., “Effects of Cone Angle and Inlet Blade Angle on Mixed Inflow Turbine Performances, *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, vol. 61, hlm. 225-233. 2017.
- [16] MONTGOMERY, DOUGLAS, C., JOHN WILEY, *Design and Analysis of Experiments Eighth Edition*. Arizona State University, McGraw-Hill Education. 2013.