

# Pengaruh Variasi Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ ) terhadap Performansi Kincir Air Piko Hidro Sudu Lurus pada Sudut Sudu ( $\theta$ ) $25^\circ$

Mariawan, N<sup>1.</sup>, Suryawan, A. A. A<sup>2.</sup>, Suarda, M<sup>3.</sup>

*Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali*

## Abstrak

*Pengujian performansi kincir air piko hidro telah dilakukan pada kincir air model sudu lurus sudut sudu ( $\theta$ ) =  $25^\circ$  skala laboratorium dengan variasi sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ ) yaitu pada ( $0^\circ$ ), ( $1/3\beta = 25^\circ$ ), ( $2/3\beta = 50^\circ$ ), dan ( $\beta = 74^\circ$ ). Tujuannya adalah untuk mengetahui sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ ) yang optimal untuk dapat menghasilkan performansi maksimal. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji model sistem PLTPH. Data-data yang diamati adalah Kapasitas aliran ( $Q_a$ ), Head efektif turbin/kincir ( $H_T$ ), Putaran kincir ( $n$ ), Daya poros ( $P_{shaft}$ ), dan Efisiensi ( $\eta$ ) pada setiap variasi sudut masuk fluida kerja. Hasil Pengujian menunjukkan bahwa pada sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ ) =  $25^\circ$  menghasilkan performansi maksimum dibandingkan dengan  $0^\circ$ ,  $50^\circ$ , dan  $74^\circ$  yaitu menghasilkan daya poros mencapai 1,81 watt dan efisiensi mencapai 24,17 %.*

*Kata kunci : Piko hidro, desain sudu, performansi.*

## Abstract

*Pico hydro waterwheel performance test has been performed on a straight blade angle of waterwheel model on blade angle ( $\theta$ ) =  $25^\circ$  laboratory scale with variation of incoming work fluid angle ( $\beta$ ) is at ( $0^\circ$ ), ( $1/3\beta = 25^\circ$ ), ( $2/3\beta = 50^\circ$ ), and ( $\beta = 74^\circ$ ). The goal is to know the optimal of incoming work fluid angle ( $\beta$ ) in order to produce maximum performance. Testing is done by using PLTPH model test equipment. The observed data are flow capacities ( $Q_a$ ), effective head turbine / mill ( $H_T$ ), Mill rotation ( $n$ ), Power shaft ( $P_{shaft}$ ), and Efficiency ( $\eta$ ) at each variation of incoming work fluid angle. The test results show that at the inlet angle of working fluid ( $\beta$ ) =  $25^\circ$  gives maximum performance compared to  $0^\circ$ ,  $50^\circ$ , and  $74^\circ$  that produces shaft power reaches 1.81 watts and efficiency reaches 24,17%.*

*Keywords: Pico hydro, blade design, performance.*

## 1. Pendahuluan

Air adalah salah satu sumber daya alam yang bisa dimanfaatkan untuk membantu mengatasi masalah kebutuhan energi saat ini. Dengan memanfaatkan aliran air yang mengalir pada sungai / pangkung sebagai pembangkit tenaga listrik akan sangat membantu masyarakat setempat dalam mendapatkan listrik secara swadaya [1]. Dari segi konstruksi, sistem pembangkit listrik tenaga air bisa dibuat secara sederhana ataupun secara kompleks tergantung kebutuhan. Banyak komponen penyusun sistem pembangkit listrik tenaga air. Salah satu diantaranya adalah kincir air. Desain sudu pada pembuatan kincir air dalam hal ini aplikasinya sebagai salah satu komponen sistem pembangkit listrik tenaga air adalah sangat penting. Karena akan berkaitan dengan apa yang diharapkan dari output yang dihasilkan terutama pada daya dan efisiensi. Selain desain sudu, hal lain yang dapat berpengaruh adalah posisi sudut masuk fluida kerja ke sudu kincir. Desain sudu dan sudut masuk fluida kerja yang tepat akan memberikan hasil yang optimal. Sudu lurus adalah sudu kincir yang paling sederhana dan mudah dibuat. Dari segi daya poros dan efisiensi yang dihasilkan juga cukup besar meskipun masih lebih kecil dari sudu lengkung ke belakang [2]. Selain desain sudu dan sudut masuk fluida kerja, variasi tebal sudu kincir air juga mempunyai pengaruh

terhadap daya poros dan efisiensi kincir air tipe sudu datar [3]. Dari penelitian sebelumnya sudut sudu lurus kincir  $25^\circ$  menghasilkan performansi maksimum [4]. Sehubungan dengan hal diatas, kali ini dilakukan pengujian pada kincir air model sudu lurus pada sudut sudu ( $\theta$ ) =  $25^\circ$  skala laboratorium dengan variasi sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ ) yaitu pada ( $0^\circ$ ), ( $1/3\beta = 25^\circ$ ), ( $2/3\beta = 50^\circ$ ), dan ( $\beta = 74^\circ$ ).

Dalam hal ini maka ada beberapa permasalahan yang akan dikaji, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ ) terhadap Performansi Kincir sudu lurus pada sudut sudu ( $\theta$ ) =  $25^\circ$  ?
2. Berapa nilai sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ ) pada kincir air sudu lurus pada sudut sudu ( $\theta$ ) =  $25^\circ$  yang menghasilkan performansi maksimal ?

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi :

- (1).Kincir air yang diuji adalah kincir air sudu lurus pada sudut sudu ( $\theta$ ) =  $25^\circ$
- (2).Sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ ) divariasikan yaitu pada  $0^\circ$ ,  $\frac{1}{3}\beta$ ,  $\frac{2}{3}\beta$ , dan  $\beta$ .
- (3).Penelitian dilakukan pada kincir air model dengan diameter luar 340 mm, diameter dalam 100 mm, lebar kincir 80 mm, dan jumlah sudu 11.

**2. Dasar Teori**

**2.1 Penjelasan Umum**

Kincir air merupakan jenis turbin yang paling banyak diaplikasikan dalam pembuatannya karena konstruksinya yang mudah dan memiliki efisiensi yang baik. Kincir air ini bekerja dengan cara memanfaatkan tinggi air jatuh *H* (*Head*) dan kapasitas air (*Q*). Faktor yang harus diperhatikan pada kincir air selain energi tempat (*Head*) adalah pengaruh berat air yang mengalir masuk ke sudu-sudunya. Air yang mengalir ke dalam dan ke luar dari kincir air tidak memiliki tekanan lebih hanya tekanan atmosfer saja. Kecepatan air yang mengalir ke dalam sudu-sudu kincir air tidak boleh terlalu besar karena hal ini akan membuat air melimpah ke luar sudu dan energi yang ada akan terbuang percuma.

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro dapat dipetakan sebagai suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen bangunan sipil serta komponen elektrikal dan mekanikal diantaranya :

1. Bendungan (*Weir*)
2. Saluran Penyadap (*Intake*)
3. Saluran Pembawa (*Headrace*)
4. Jaringan Distribusi
5. Kolam Penenang (*Forebay*)
6. Pipa Pesat (*Penstock*)
7. Rumah Pembangkit (*Power House*)
8. Saluran Pembuang (*Tailrace*)
9. Turbin
10. Generator
11. Sistem Kontrol
12. Panel Hubung dan Lemari Hubung
13. Saluran Pelimpah (*Spillway*)

**2.2 Kincir Air**

Kincir air merupakan sarana untuk merubah energi air menjadi energi mekanik yang berupa putaran pada poros kincir [5]. Ada beberapa tipe kincir air yaitu :

1. Kincir air Overshot
2. Kincir air Undershot
3. Kincir air Breastshot

**2.3 Daya dan Efisiensi**

Head aliran air akan sangat menentukan tipe dari turbin air yang sesuai untuk komponen PLTMH. Head total aliran adalah jumlah dari head statis dan head dinamis aliran termasuk head losses yang terjadi sepanjang aliran dalam suatu saluran/pipa.

$$H_E = (z_1 - z_2) + \frac{(p_1 - p_2)}{\gamma} + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g} + H_L \quad (1)$$

Dimana:

$z_1$  = elevasi di titik 1 (m)

$z_2$  = elevasi di titik 2 (m)

$p_1$  = tekanan di titik 1 (N/m<sup>2</sup>)

$p_2$  = tekanan di titik 2 (N/m<sup>2</sup>)

$v_1$  = kecepatan di titik 1 (m/det)

$v_2$  = kecepatan di titik 2 (m/det)

$H_E$  = head total efektif aliran (m)

$H_L$  = head losses total instalasi *penstock*/perpipaan sistem (m)

Debit air pada suatu penampang aliran secara sederhana adalah perkalian antara luas penampang basah dengan kecepatan aliran rata-rata pada penampang tersebut. Seperti terlihat pada persamaan di bawah ini :

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

Dimana :

$Q$  = debit air (m<sup>3</sup>/dt)

$A$  = luas penampang saluran (m<sup>2</sup>)

$V$  = kecepatan aliran rata-rata (m/dt)

PLTMH adalah sebuah sistem konversi tenaga, menyerap tenaga dari bentuk ketinggian dan aliran, dan menyalurkan tenaga dalam bentuk daya listrik atau daya mekanik. Untuk dapat mengetahui daya potensial air dari suatu sumber adalah penting untuk mengetahui kapasitas aliran (m<sup>3</sup>/det) dan *head* (m) yang tersedia. Daya ini akan dirubah oleh turbin air menjadi daya mekanik. Daya teoritis yang tersedia adalah :

$$P_a = \gamma.Q.H_E \quad (3)$$

Dimana :

$P_a$  = Daya teoritis yang tersedia (Watt)

$Q$  = Kapasitas aliran air (m<sup>3</sup>/det)

$H_E$  = *Head* atau tinggi air jatuh Efektif (m)

$\gamma$  = Berat jenis air (9.800 N/m<sup>3</sup>)

Untuk setiap benda berputar persamaan untuk menghitung daya yang dihasilkan yaitu :

$$P_{out} = T \times \omega$$

$$= T \times \frac{2\pi n}{60} \quad (4)$$

Dimana :

$P_{out}$  = Daya yang dihasilkan (Watt)

$T$  = Torsi (Nm)

$\omega$  = Kecepatan sudut (rad/det)

$n$  = Putaran (rpm)

Efisiensi turbin/kincir dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{turbin} = \frac{P_{out}}{P_a} \quad (5)$$

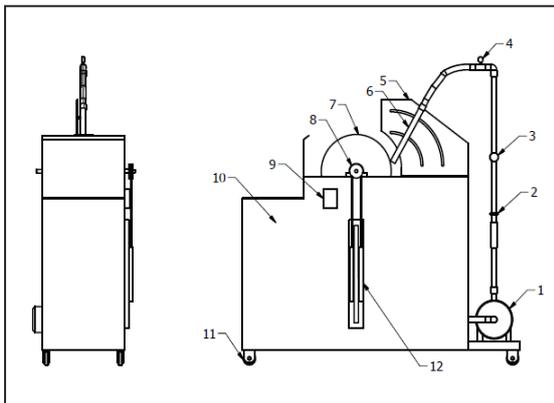
Dimana :

$\eta_{turbin}$  = Efisiensi turbin/kincir (%)

$P_{out}$  = Daya poros yang dihasilkan turbin/kincir (Watt)  
 $P_a$  = Daya teoritis yang tersedia (Watt)

### 3. Metode Penelitian

Yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah model kincir air piko hidro sudu lurus pada sudut sudu ( $\theta$ ) = 25°. Alat uji dilengkapi dengan sistem perpipaan dan pengaturan posisi sudut masuk fluida kerja pada kedudukan nosel. Model yang telah jadi diuji secara eksperimental untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Alat uji yang digunakan seperti pada gambar 1. berikut :

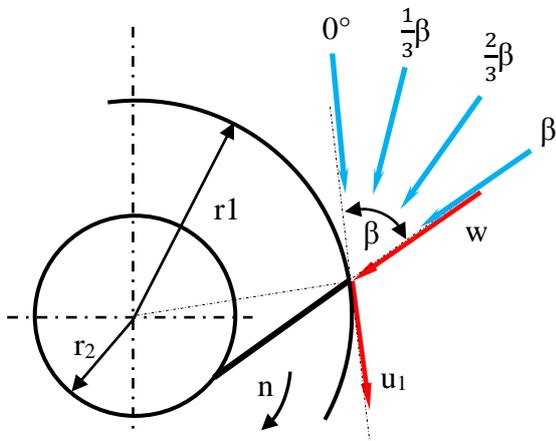


Gambar 1. Skema model uji kincir air (picohydro)

Keterangan :

- |                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| 7. Pompa          | 7. Kincir Air Model |
| 8. Katup/kran     | 8. Pulley           |
| 9. Flow Meter     | 9. Tachometer       |
| 10. Manometer     | 10. Tangki Air      |
| 11. Dudukan Nosel | 11. Roda            |
| 12. Nosel         | 12. Neraca digital  |

Gambar 2. berikut menunjukkan rancangan variasi sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ ) untuk kincir air sudu lurus sudut sudu ( $\theta$ ) = 25° yaitu pada ( $0^\circ$ ), ( $1/3\beta = 25^\circ$ ), ( $2/3\beta = 50^\circ$ ), dan ( $\beta = 74^\circ$ )



Gambar 2. rancangan variasi sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ ) pada ( $0^\circ$ ), ( $1/3\beta = 25^\circ$ ), ( $2/3\beta = 50^\circ$ ), dan ( $\beta = 74^\circ$ ) pada kincir air sudu lurus sudut sudu ( $\theta$ ) = 25°.

Peralatan pengujian yang digunakan antara lain:

- Kincir air model sudu lurus pada sudut sudu ( $\theta$ ) = 25° lengkap dengan bak uji PLTPH.
- Pipa GIP serta perlengkapannya seperti *water-mur, elbow dan flange*.
- Flow meter*, untuk mengukur kapasitas aliran.
- Neraca Pegas.
- Tachometer*, untuk mengukur besarnya putaran poros turbin.
- Dudukan nosel yang berisi pengaturan sudut untuk mengatur sudut masuk fluida kerja ke kincir.

### 4. Hasil dan Pembahasan

#### 4.1 Hasil

##### 4.1.1 Data Pengujian

Dari pengujian model kincir air sudu lurus yang telah dilakukan didapatkan data sebagai berikut :

- Kapasitas aliran air masuk kincir konstan  
 $(Q) = \frac{10 \text{ liter}}{12 \text{ detik}} = 0,8 \text{ liter/detik} = 0,0008 \text{ m}^3/\text{dt}$
- Luas penampang nosel ( $A$ ) = 0,000232 m<sup>2</sup>
- Head efektif turbin/kincir ( $H_T$ ) dihitung berdasarkan data berikut :

Referensi titik 1 pada permukaan air di dalam bak penampung :

- Tekanan di titik 1 ( $p_1$ ) = Tekanan Atmosfir
- Kecepatan di titik 1 ( $v_1$ )  $\approx 0$
- Elevasi di titik 1 ( $z_1$ ) = 0

Referensi titik 2 di titik keluar fluida pada ujung nosel :

- Tekanan di titik 2 ( $p_2$ ) = Tekanan Atmosfir
- Kecepatan di titik 2

$$(v_2) = \frac{Q}{A} = \frac{0,0008 \frac{\text{m}^3}{\text{dt}}}{0,000232 \text{ m}^2} = 3,45 \frac{\text{m}}{\text{dt}}$$

- Elevasi di titik 2 ( $z_2$ ) = 0,35 m

Head efektif Turbin/kincir ( $H_T$ ) adalah sama dengan Head pompa ( $H_p$ ) yang digunakan untuk mengalirkan fluida ke kincir sehingga dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$H_T = H_p = (z_2 - z_1) + \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma}\right) + \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}\right) + H_L$$

Karena  $P_1$  dan  $P_2$  nilainya sama, maka  $\left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma}\right) = 0$

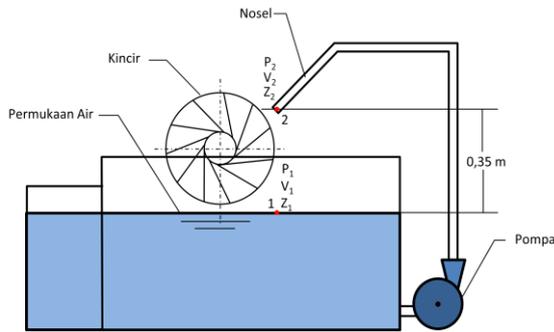
Karena  $H_L$  sangat kecil mendekati 0 maka nilainya dapat diabaikan

Sehingga persamaannya menjadi :

$$H_T = (z_2 - z_1) + \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}\right)$$

$$H_T = (0,35 - 0) \text{ m} + \left(\frac{(3,45)^2 - 0}{2 \times 9,81}\right) \text{ m} = 0,956 \text{ m}$$

Data untuk perhitungan  $H_T$  diatas diperoleh dari pengukuran langsung pada alat uji seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. berikut :



Gambar 3. Skema model uji kincir air

d. Daya efektif ( $P_a$ ) yang digunakan untuk memutar kincir adalah daya air yang tersedia dari pompa, sehingga :

$$P_a = \gamma \times Q \times H_T$$

$$= 9.810 \frac{N}{m^3} \times 0,0008 \text{ m}^3/\text{dt} \times 0,956 \text{ m}$$

$$= 7,785 \text{ watt}$$

**4.1.2 Pengujian Kincir Air Sudu Lurus pada sudut sudu ( $\theta$ ) = 25°**

Data hasil pengujian yang telah dilakukan pada kincir air sudu lurus pada sudut sudu ( $\theta$ ) = 25° adalah seperti pada Tabel 1. berikut.

Tabel 1. Pengujian kincir air sudu lurus pada sudut sudu ( $\theta$ ) = 25°

RPM	No	Beban (kg) pada sudut masuk fluida kerja			
		0°	1/3 β	2/3 β	β
20	1	2,320	2,200	1,500	0,490
	2	2,300	2,325	1,450	0,480
	3	2,350	2,300	1,400	0,500
	Rata-rata	2,323	2,275	1,450	0,490
40	1	1,790	1,795	1,080	0,100
	2	1,800	1,830	1,090	0,105
	3	1,795	1,820	1,085	0,100
	Rata-rata	1,795	1,815	1,085	0,102
60	1	1,390	1,480	0,835	0
	2	1,395	1,465	0,845	0
	3	1,140	1,470	0,840	0
	Rata-rata	1,308	1,472	0,840	0
80	1	0,885	1,055	0,520	0
	2	0,885	1,045	0,510	0
	3	0,890	1,050	0,515	0
	Rata-rata	0,887	1,050	0,515	0
100	1	0,505	0,710	0,150	0
	2	0,515	0,700	0,145	0
	3	0,510	0,710	0,155	0
	Rata-rata	0,510	0,707	0,150	0
120	1	0,285	0,395	0	0
	2	0,280	0,400	0	0
	3	0,280	0,390	0	0
	Rata-rata	0,282	0,395	0	0
140	1	0,100	0,120	0	0

2	0,105	0,100	0	0
3	0,100	0,120	0	0
<b>Rata-rata</b>	0,102	0,113	0	0

RPM tanpa beban	152	158	128	64
-----------------	-----	-----	-----	----

**4.2 Pembahasan**

Gambar 2. menunjukkan variasi sudut masuk fluida kerja ke sudu kincir. Dengan variasi  $\beta$  tersebut akan mempengaruhi putaran kincir yang juga akan berpengaruh terhadap besarnya daya poros dan efisiensi yang dihasilkan. Dengan pendekatan teoritis, dianalisis bagaimana pengaruh sudut sudu lurus kincir air dengan variasi sudut masuk fluida kerja atas head dinamis maupun head statis. Persamaan dasar yang dapat digunakan untuk membandingkan pengaruh sudut sudu adalah Persamaan Euler yang dapat ditulis sebagai berikut :

$$H_E = \frac{U_1 C_{U1}}{g} \tag{6}$$

Dimana :

- $H_E$  = Head efektif (m)
- $U_1$  = Kecepatan tangensial sisi masuk (m/dt)
- $C_{U1}$  = Komponen tangensial dari kecepatan absolut (mutlak) (m/dt)
- $g$  = Percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)

Karena kecepatan tangensial untuk semua variasi sudut masuk fluida kerja pada rpm yang sama adalah sama besarnya , maka Head efektif akan bergantung pada proyeksi  $C_1$  terhadap  $U_1$ , yaitu pada  $C_{U1}$  dan berbanding langsung dengan  $H_E$ .

Secara teoritis dengan analisa segitiga kecepatan untuk sudu lurus yang diuji, didapat nilai  $C_{U1}$  maksimum pada sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ ) = 0° atau berhimpit dengan arah kecepatan tangensial sisi masuk ( $U_1$ ). Akan tetapi dalam kenyataannya perlu ditinjau lagi besaran sudut masuk fluida kerja karena akan mungkin teori bisa berbeda dengan kenyataan di lapangan sebab ada beberapa faktor yang mempengaruhi.

**4.2.1 Performansi Kincir Air Sudu Lurus pada sudut sudu ( $\theta$ ) = 25°**

Berdasarkan persamaan (4) untuk menghitung daya yang dihasilkan kincir sebagai berikut : ( diambil contoh data pengujian sudu lurus pada sudut sudu ( $\theta$ ) = 25° dengan sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ ) = 0° pada putaran 20 rpm ).

$$P_{out} = T \times \omega$$

$$= m \times g \times r \times \frac{2\pi n}{60} = (2,323 \text{ kg}) \times (9,81 \frac{m}{dt^2}) \times$$

$$(0,02 \text{ m}) \times \left( \frac{2 \times 3,14 \times 20 \text{ rpm}}{60} \frac{rad}{dt} \right)$$

$$= 0,95 \text{ watt}$$

Efisiensi turbin/kincir dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{turbin} = \frac{P_{out}}{P_a}$$

$$\eta_{turbin} = \frac{0,95 \text{ watt}}{7,785 \text{ watt}} = 0,1272 = 12,72 \%$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama pada masing-masing sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ ), dan dengan bantuan program microsoft excel untuk pengolahan data, nilai untuk daya dan efisiensi kincir dapat ditampilkan dalam bentuk tabel.

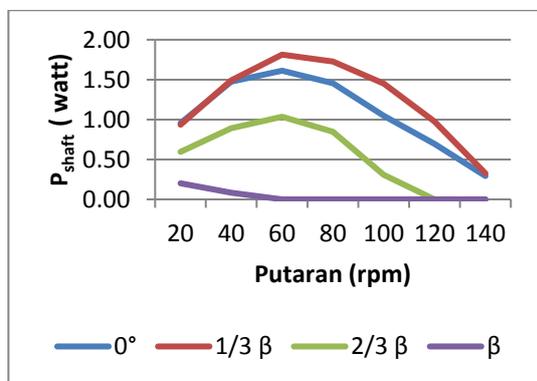
**4.2.2 Performansi Kincir Air Sudu Lurus pada sudut sudu ( $\theta$ ) = 25°**

Dari pengolahan data pada tabel 1. diperoleh data daya dan efisiensi seperti pada table 2. berikut.

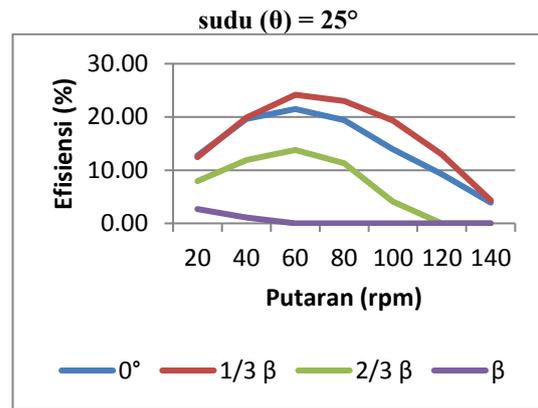
**Tabel 2. Daya dan Efisiensi kincir air sudu lurus pada sudut sudu ( $\theta$ ) = 25°**

RPM	Sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ )							
	0°		1/3 $\beta$		2/3 $\beta$		$\beta$	
	Daya (P out), watt	Efisiensi ( $\eta$ ), %	Daya (P out), watt	Efisiensi ( $\eta$ ), %	Daya (P out), watt	Efisiensi ( $\eta$ ), %	Daya (P out), watt	Efisiensi ( $\eta$ ), %
20	1,0	12,7	0,9	12,5	0,6	7,9	0,2	2,7
40	1,5	19,7	1,5	19,9	0,9	11,9	0,1	1,1
60	1,6	21,5	1,8	24,2	1	13,8	0	0
80	1,5	19,4	1,7	23	0,8	11,3	0	0
100	1,0	14	1,5	19,3	0,3	4,1	0	0
120	0,7	9,3	1,0	13	0	0	0	0
140	0,3	3,9	0,3	4,3	0	0	0	0

Dari data pada tabel 2. dapat dibuat grafik hubungan antara putaran kincir terhadap daya poros yang dihasilkan seperti gambar 4. dan grafik hubungan antara putaran kincir terhadap efisiensi seperti gambar 5.



**Gambar 4. Hubungan antara putaran kincir dan sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ ) terhadap daya poros kincir air sudu lurus pada sudut**



**Gambar 5. Hubungan antara putaran kincir dan sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ ) terhadap efisiensi kincir air sudu lurus pada sudut sudu ( $\theta$ ) = 25°**

Gambar 4. dan 5. menunjukkan bahwa daya dan efisiensi meningkat seiring meningkatnya putaran sampai pada putaran 60 rpm. Kemudian turun lagi pada putaran yang lebih tinggi. Dapat dilihat bahwa pada sudut masuk fluida kerja = 2/3  $\beta$  hanya mampu menghasilkan daya pada putaran tidak lebih dari 120 rpm. Dan pada sudut masuk fluida =  $\beta$  hanya mampu menghasilkan daya pada putaran tidak lebih dari 60 rpm.

**5. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk kincir air sudu lurus pada sudut sudu ( $\theta$ ) = 25° pada sudut masuk fluida kerja = 1/3  $\beta$  menghasilkan performansi paling baik dibandingkan dengan sudut masuk fluida kerja yang lain yaitu menghasilkan daya poros maksimum mencapai 1,81 watt dan efisiensi mencapai 24,17 % pada putaran 60 rpm.

**Daftar Pustaka**

- [1] Lie Jasa, I Putu Ardana, I Nyoman Setiawan, 2011, **Usaha Mengatasi Krisis Energi dengan Memanfaatkan Aliran Sungai (Pangkung) Sebagai Pembangkit Energi Listrik Alternatif**, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri XV, Universitas Udayana, Bali.
- [2] Suryawan, A. A. A., Suarda, M., Suweden, M., 2016, **Desain Kincir Air Sudu Lengkung Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro**, Laporan Akhir Penelitian Hibah Bersaing, Universitas Udayana.
- [3] Slamet Wahyudi, Dhimas Nur Cahyadi, Purnami, 2012, **Pengaruh Variasi Tebal Sudu Terhadap Kinerja Kincir Air Tipe Sudu Datar**, Jurnal Rekayasa Mesin Vol.3, No. 2, Universitas Brawijaya.

- [4] Mariawan, N., 2017, **Pengaruh Variasi Sudut Sudu Lurus terhadap Performansi Kincir Air Piko Hidro**, Tugas Akhir, Teknik Mesin Universitas Udayana.
- [5] Oggy Sukasah Henry, Arifin Daud, Helmi Hakki, 2013, **Analisis Perubahan Dimensi Kincir Air Terhadap Kecepatan Aliran Air (Studi Kasus Desa Pandan Enim)**, Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Sriwijaya.