

Pengaruh Kelengkungan Sudu terhadap Performansi Kincir Air Piko Hidro dengan Sudut Sisi Masuk Fluida sesuai Kelengkungan Sudu (β)

Parahita, K.S.Y¹., Suryawan, A.A.A²., Suarda, M³.

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Pengujian telah dilakukan pada sebuah model sistem Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH). Variasi kelengkungan sudu yang didesain dengan metode satu busur lingkaran adalah 10°, 20°, 30°, 40°. Sudut sisi masuk fluida kerja disesuaikan mengikuti kelengkungan masing-masing sudu (β). Dengan memariasikan kelengkungan sudu maka akan diperoleh kelengkungan sudu yang akan memberikan hasil keluaran berupa daya dan efisiensi tertinggi. Hasil penelitian menunjukkan, performansi kincir air dengan desain lengkung sudu (β_1) 20° memberikan daya poros dan efisiensi yang tertinggi yaitu dengan efisiensi mencapai 28,07 % pada putaran 80 rpm. Kemudian sudu dengan kelengkungan (β_1) 40° yaitu dapat menghasilkan efisiensi maksimal sebesar 20,208 % pada putaran 60 rpm. Selanjutnya, sudu dengan kelengkungan (β_1) 30°, efisiensi maksimalnya 20,103 % pada putaran 60 rpm. Yang terakhir pada sudu dengan kelengkungan (β_1) 10° yaitu memberikan efisiensi maksimal sebesar 19,338 % pada putaran 60 rpm.

Kata kunci : piko hidro, lengkung sudu.

Abstract

The test has been performed at the of system pico hydro power plant. The variation of curve vanes that designed by using single arc method are 10°, 20°, 30°, 40°. The ange of water jets conditioned coincide with the each curve vanes (β). By varying the arc of vanes so it will get the curve vane that give the highest power and efficiency. The result shown, the performance water wheel with curve of vane (β_1) 20° give the highest power and efficiency, the maximum efficiency is 28,07 % at 80 rpm. Then vane with curve of vane (β_1) 40° give the efficiency 20,208 % at 60 rpm. Next, the vane with curve of vane (β_1) 30° give efficiency 20,103 % at 60 rpm. And the last the vane with curve of vane (β_1) 10° give efficiency 19,338 % at 60 rpm.

Keywords : pyco hydro, curve of vane

1. Pendahuluan

Salah satu komponen dari Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) adalah kincir air. Bentuk sudu pada kincir sangat berpengaruh terhadap performansi kincir air. Penelitian yang dilakukan oleh Sakurai (2009) adalah melakukan uji coba terhadap purwarupa model turbin air dalam skala laboratorium [1]. Pada penelitian sebelumnya Suryawan (2016) telah membuat dan menguji desain model kincir dengan sudu lurus, sudu melengkung kedepan dan sudu melengkung kebelakang untuk mendapatkan desain sudu yang optimal [2]. Penelitian tentang bentuk sudu lengkung ke belakang terbukti memberikan hasil yang terbaik. Namun tidak ditunjukkan pada kelengkungan berapa yang akan menghasilkan output terbaik. Dengan memariasikan kelengkungan sudunya maka akan diperoleh sudut kelengkungan terbaik. Kelengkungan sudu dapat dibuat dengan beberapa metode, salah satunya adalah metode satu busur lingkaran. Selain kelengkungan sudu, sudut sisi masuk fluida juga berpengaruh terhadap performansi kincir air. Idealnya turbin akan menghasilkan output maksimum pada sudut masuk sesuai dengan kelengkungan sudunya (β). Pada penelitian ini sudut sisi masuk pada kincir juga

mengikuti kaidah turbin yaitu sesuai dengan kelengkungan sudunya.

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

1. Bagaimana pengaruh kelengkungan sudu terhadap performansi kincir air piko hidro?
2. Bagaimana performansi Pembangkit Listrik Piko Hidro?

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Aliran dalam pipa adalah *steady state*.
2. Desain sudu hanya menggunakan metode satu busur lingkaran
3. Sudu dengan kelengkungan ke belakang dengan variasi sudut $\beta_1 = 10^0, 20^0, 30^0, 40^0$ dan β_2 yang tetap sebesar 30^0 .
4. Debit air yang keluar dari nosel dijaga konstan.
5. Pengujian dilakukan dengan kincir air model. Diameter luar kincir 380 mm, diameter dalam 100 mm, lebar kincir 80 mm dan jumlah sudu 11.
6. Sudut sisi masuk sesuai dengan kelengkungan sudu (β)

2. Dasar Teori

2.1 Hydropower

Pembangkit daya tenaga air (hydropower) dapat diklasifikasikan berdasarkan besarnya daya yang dibangkitkan [3]. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro memiliki range daya listrik bangkitan dari 5 kW sampai 100 kW, sedangkan pico hidro dari 100 Watt sampai dengan 5 kilo Watt.

2.2 Sudu Lengkung dan Segitiga Kecepatan

Profil sudu lengkung memiliki gaya dorong yang terbaik dibanding dengan profil sudu lainnya. Profil sudu lengkung mendapat gaya dari air yang dipancarkan oleh nosel, selain itu sudu ini akan mendapat momentum di sisi-sisi sudu akibat dari aliran air yang bergerak mengikuti lengkung sudunya.

Segitiga kecepatan adalah suatu vektor yang terbentuk dari tiga komponen vektor kecepatan, yaitu kecepatan relatif (W), kecepatan tangensial (U), dan kecepatan absolut (C). Segitiga kecepatan yang terbentuk akan menunjukkan head yang dapat dihasilkan dari suatu turbin. Head kincir merupakan fungsi dari kecepatan tangensial dan komponen tangensial dari kecepatan absolutnya (C_U).

2.3 Daya dan Efisiensi

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

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

Dimana:

- z_1 = elevasi pada titik 1 (m)
- z_2 = elevasi pada titik 2 (m)
- p_1 = tekanan fluida pada titik 1 (N/m²)
- p_2 = tekanan fluida pada titik 2 (N/m²)
- v_1 = kecepatan fluida pada titik 1 (m/det)
- v_2 = kecepatan fluida pada titik 2 (m/det)
- H_E = head total efektif aliran air (m)
- H_L = head losses total instalasi perpipaan sistem PLTMH (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 :

$$Q = A.V \tag{2}$$

Dimana :

- Q = debit air (m³/dt)
- A = luas penampang saluran nosel (m²)
- V = kecepatan aliran rata-rata (m/dt)

Daya potensial air dari suatu sumber dapat diketahui dengan rumus:

$$P_a = \gamma \cdot Q \cdot H_E \tag{3}$$

Dimana :

- P_a = Daya teoritis yang tersedia (Watt)
- Q = Kapasitas aliran air (m³/det)
- H_E = Head atau tinggi air jatuh Efektif (m)
- γ = Berat jenis air (9.800 N/m³)

Untuk setiap benda yang berputar persamaan daya yang dihasilkan yaitu:

$$P_{out} = T \times \omega = T \times 2\pi n/60 \tag{4}$$

Dimana :

- P_{out} = Daya yang dihasilkan (Watt)
- T = Torsi (Nm)
- ω = Kecepatan sudut (rad/det)
- n = Putaran (rpm)

Efisiensi kincir dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut

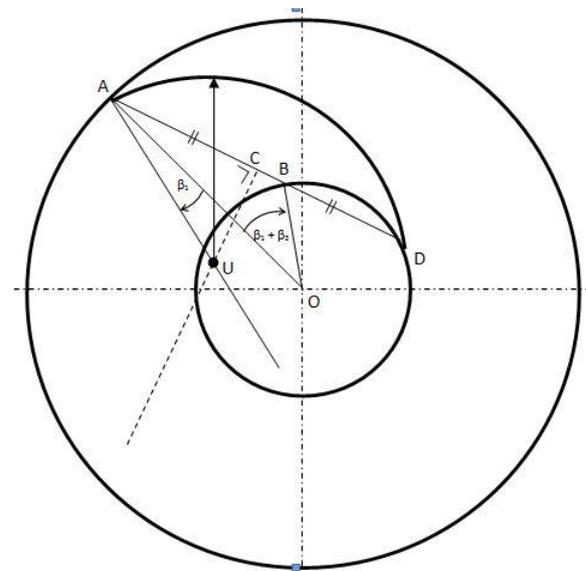
$$\eta_{turbin} = \frac{P_{out}}{P_a} \tag{5}$$

Dimana :

- η_{turbin} = Efisiensi turbin/kincir (%)
- P_{out} = Daya yang dihasilkan kincir (Watt)
- P_a = Daya teoritis yang tersedia (Watt)

2.4 Metode Perancangan Profil Sudu Kincir Air

Metode yang paling sederhana dan cocok diterapkan untuk teknologi tepat guna adalah metode satu busur lingkaran (*single arc method*), seperti pada gambar 1 di bawah ini. Dengan metode ini sudu kincir air yang dirancang akan dapat dibuat dari potongan pipa besi.

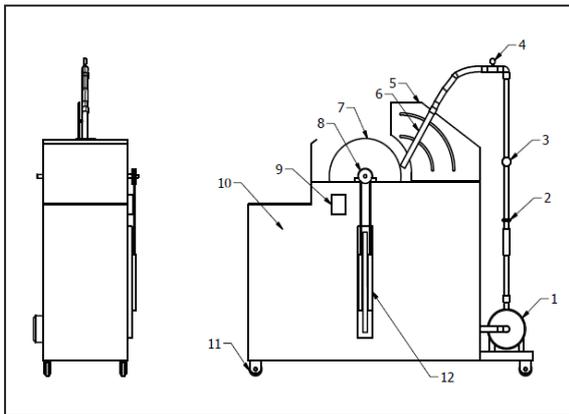


Gambar 1. Metode satu busur lingkaran

1. Tarik garis OA dari pusat lingkaran ke sembarang titik pada diameter luar lingkaran.
2. Dari titik O tarik garis dengan sudut sebesar $\beta_1 + \beta_2$ terhadap garis OA sehingga memotong diameter dalam di titik B.
3. Gambar garis AB dan kemudian perpanjang segingga memotong diameter dalam di titik D.
4. Buat titik C pada tengah-tengah garis AD dan gambar garis C putus-putus yang tegak lurus dengan garis AD.
5. Dari titik A gambar garis sebesar β_1 terhadap garis OA sehingga memotong garis C tadi di titik U.
6. Gambar busur dari titik A sampai D dengan pusat U atau dengan jari-jari AU

3. Metode Penelitian

Pengujian kincir air ini dilakukan pada sebuah model sistem PLTPH. Variasi kelengkungan sudu $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$. Alat uji dilengkapi dengan sistem perpipaan dan pengaturan posisi nosel agar sesuai dengan yang diinginkan.

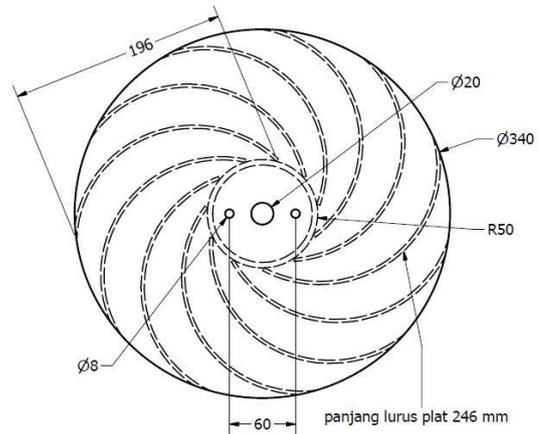


Gambar 2. Skema model uji kincir air (picohydro) [4]

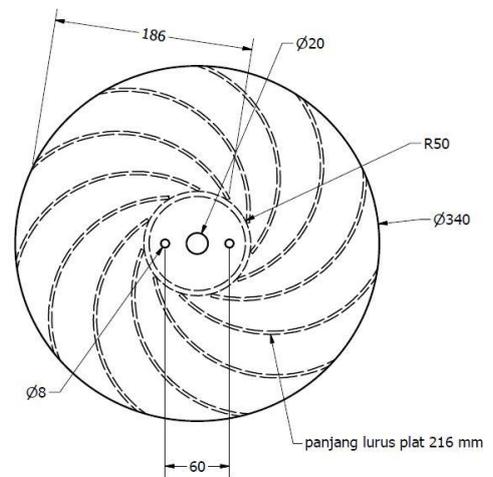
Keterangan :

- | | |
|------------------|---------------------|
| 1. Pompa | 7. Kincir Air Model |
| 2. Katup/kran | 8. Pulley |
| 3. Flow Meter | 9. Tachometer |
| 4. Manometer | 10. Tangki Air |
| 5. Dudukan Nosel | 11. Roda |
| 6. Nosel | 12. Neraca pegas |

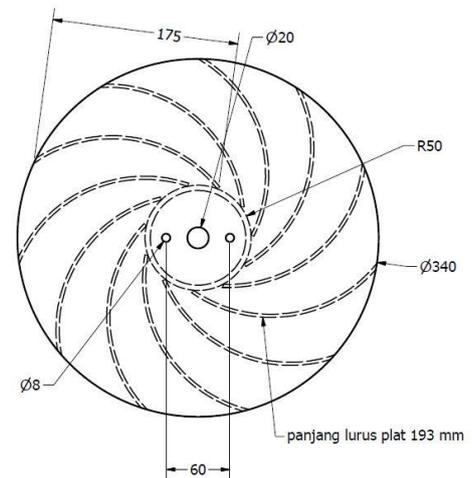
Gambar 3. menunjukkan variasi sudut kelengkungan sudu yang didesain dengan metode satu busur lingkaran dengan sudut pada sisi masuk kincir (β_1) $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ dan 40° dan sudut sisi keluar (β_2) adalah sama untuk setiap kincir yaitu 30° .



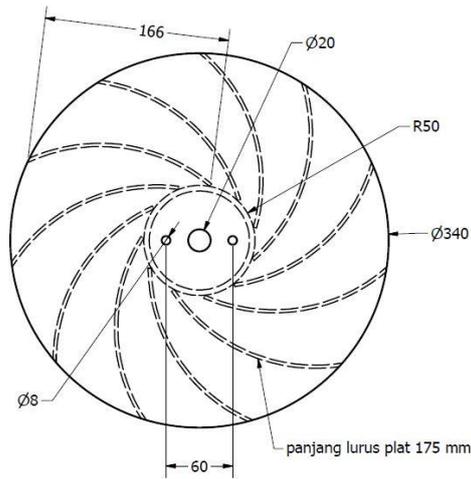
(a) Sudut $\beta_1=10^\circ$



(b) Sudut $\beta_1=20^\circ$



(c) Sudut $\beta_1=30^\circ$



(d) Sudut $\beta_1=40^\circ$

Gambar 3. (a) Sudut sisi masuk $\beta_1 = 10^\circ$, (b) Sudut sisi masuk $\beta_1 = 20^\circ$, (c) Sudut sisi masuk $\beta_1 = 30^\circ$, (d) Sudut sisi masuk $\beta_1 = 40^\circ$.

Peralatan pengujian yang digunakan antara lain:

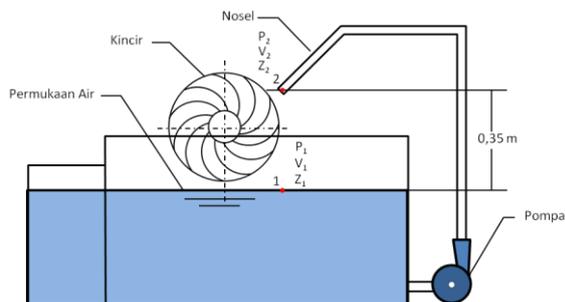
- Dirancang dan dibuat Model Kincir air sudu lengkung ke belakang
- Sistem perpipaan.
- Flow meter
- Dudukan nosel, untuk mengatur posisi nosel
- Neraca Pegas
- Tachometer, untuk mengukur putaran poros kincir

4. Hasil dan Pembahasan

Dari pengujian model kincir air sudu lengkung ke belakang yang telah dilakukan didapatkan data sebagai berikut :

- Kapasitas aliran air masuk kincir konstan (Q)

$$= \frac{10 \text{ liter}}{12 \text{ detik}} = \frac{0,8 \text{ liter}}{\text{detik}} = 0,0008 \text{ m}^3/\text{dt}$$
- Luas penampang nosel (A) = 0,000232 m²
- Head efektif turbin/kincir (H_E) dihitung berdasarkan data yang diperoleh dari pengukuran langsung pada alat uji seperti pada gambar



Gambar 4. Skema model uji

Referensi titik 1 pada permukaan air di dalam bak penampung :

- Tekanan di titik 1 (p_1) = Tekanan Atmosfir
 - Kecepatan di titik 1 (v_1) ≈ 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 sama dengan head pompa dapat dihitung dengan persamaan (1)

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

Karena P_1 dan P_2 nilainya sama, maka $\frac{(p_2 - p_1)}{\gamma} = 0$

Karena H_L sangat kecil mendekati 0 maka nilainya dapat diabaikan

Sehingga persamaannya menjadi :

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

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

- Daya efektif (P_a) yang digunakan untuk memutar kincir adalah daya yang tersedia dari pompa maka,

$$(P_a) = \gamma \times Q \times H_E$$

$$= 9.810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \times 0,0008 \text{ m}^3/\text{dt} \times 0,956 \text{ m} = 7,785 \text{ watt}$$

Dari pengujian maka didapat data beban dan putaran untuk tiap kelengkungan sudu seperti pada tabel 1.

Tabel 1. beban dan putaran masing masing sudu

RPM	No	Beban (kg)			
		10°	20°	30°	40°
20	1	2,38	2,74	2,28	2,09
	2	2,40	2,73	2,30	2,19
	3	2,39	2,74	2,40	2,10
	Rata-rata	2,39	2,74	2,33	2,12
40	1	1,78	2,08	1,69	1,50
	2	1,78	2,08	1,72	1,48
	3	1,79	2,09	1,73	1,59
	Rata-rata	1,78	2,08	1,71	1,52
60	1	1,24	1,61	1,26	1,26
	2	1,21	1,60	1,28	1,28
	3	1,22	1,59	1,27	1,29
	Rata-rata	1,22	1,60	1,27	1,28
80	1	0,77	1,35	0,89	0,92
	2	0,77	1,30	0,89	0,90
	3	0,79	1,25	0,88	0,90
	Rata-rata	0,78	1,30	0,88	0,90

100	1	0,57	0,95	0,64	0,70
	2	0,59	0,93	0,65	0,71
	3	0,59	0,98	0,65	0,70
	Rata-rata	0,58	0,95	0,65	0,70
120	1	0,40	0,74	0,45	0,55
	2	0,39	0,75	0,47	0,56
	3	0,39	0,72	0,46	0,55
	Rata-rata	0,39	0,74	0,46	0,55
140	1	0,13	0,55	0,29	0,39
	2	0,13	0,56	0,28	0,39
	3	0,13	0,58	0,28	0,39
	Rata-rata	0,13	0,56	0,28	0,39

Pembahasan

Gambar 3. menunjukkan empat variasi kelengkungan sudu. analisis pengaruh bentuk kelengkungan sudu terhadap head statis maupun dinamis dapat dilakukan dengan pendekatan teoritis. persamaan dasar yang dapat digunakan untuk membandingkan keempat variasi kelengkungan sudu ini adalah dengan persamaan Euler.

$$H_E = \frac{C_{U1} \cdot U_1}{g} \tag{5}$$

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/dt²)

Bentuk sudu dengan kelengkungan ke belakang, dianalisis dari segitiga kecepatan menunjukkan bahwa nilai C_{U1} berbanding terbalik dengan besarnya sudut α , dimana α adalah sudut yang terbentuk dari vektor kecepatan absolut pada sisi masuk (C_1) dengan vektor kecepatan tangensial sisi masuk (U_1). Untuk sudu yang memiliki kelengkungan yang berbeda akan menghasilkan Head efektif yang berbeda pula karena H_E dipengaruhi oleh besarnya nilai C_{U1} . Semakin kecil kelengkungan sudu maka semakin kecil sudut α yang terbentuk, sehingga nilai C_{U1} juga bertambah.

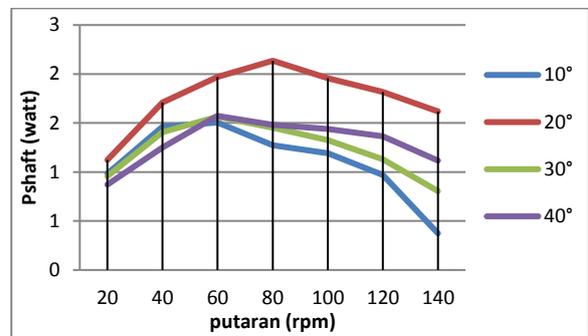
Dari pengolahan data pada tabel 1 dapat dibuat tabel daya dan efisiensi seperti pada tabel 2 di bawah.

Tabel 2. Performansi kincir air dengan variasi kelengkungan sudu pada sudut masuk fluida sesuai dengan kelengkungan sudu

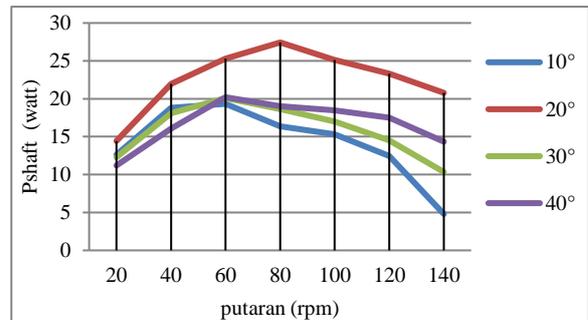
ran kinc ir	Variasi kelengkungan sudu
-------------------	---------------------------

	10°		20°		30°		40°	
	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)						
20	0.98	12.61	1.12	14.43	0.96	12.27	0.87	11.19
40	1.46	18.80	1.71	21.96	1.41	18.08	1.25	16.06
60	1.51	19.34	1.97	25.30	1.56	20.10	1.57	20.21
80	1.27	16.35	2.14	27.43	1.45	18.64	1.48	19.03
100	1.19	15.30	1.96	25.15	1.32	17.01	1.44	18.46
120	0.97	12.45	1.82	23.32	1.13	14.51	1.36	17.52
140	0.37	4.80	1.62	20.80	0.80	10.34	1.12	14.34

Dari data pada tabel 2. dapat dibuat grafik putaran terhadap daya pada gambar 4. dan grafik putaran terhadap efisiensi seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Hubungan antara putaran kincir dan kelengkungan sudu terhadap Daya Poros kincir



Gambar 6. Hubungan antara putaran kincir dan kelengkungan sudu terhadap Efisiensi kincir

Gambar 5. dan 6. Menunjukkan seiring meningkatnya putaran kincir maka daya dan efisiensinya pun semakin meningkat sampai pada putaran 80 rpm. Kemudian daya maupun efisiensi turun sedangkan putaran terus meningkat dari 80 rpm hingga 140 rpm. Penurunan daya dan efisiensi ini disebabkan oleh putaran kincir terlalu tinggi, fluida yang menerpa sudu tidak semua masuk ke ruang sudu menyebabkan massa air yang ditampung dalam ruang antar sudu tidak maksimal sehingga daya yang dihasilkan akan menurun. Demikian juga dengan

kenaikan putaran maka head dinamis sudu akan meningkat, sehingga akan terjadi peningkatan gesekan yang merupakan sumber dari timbulnya kerugian energi.

Dari gambar 5. diketahui bahwa kincir dengan kelengkungan 20° menghasilkan daya yang paling besar.

Secara teoritis berdasarkan persamaan laju perubahan momentum, semakin kecil sudut kelengkungan sudu maka semakin besar daya poros dan efisiensi yang dihasilkan. Pada keadaan sebenarnya tidak memungkinkan untuk membelokkan fluida kerja 180° . Berdasarkan hasil penelitian ini kincir dengan kelengkungan sudu 20° yang memberikan hasil yang terbaik.

Penelitian Hibah Bersaing, Universitas Udayana, Bali

5. Kesimpulan

- Performansi kincir air sudu lengkung ke belakang yang didesain dengan kelengkungan (β_1) 20° memberikan putaran, daya poros dan efisiensi yang tertinggi yaitu dengan efisiensi mencapai 28,07% pada putaran 80 rpm.
- Sudu desain pada kelengkungan (β_1) 40° , efisiensi maksimalnya 20,208% pada putaran 60 rpm.
- Sudu desain pada kelengkungan (β_1) 30° yaitu dapat menghasilkan efisiensi maksimal sebesar 20,103% pada putaran 60 rpm.
- Sudu desain pada kelengkungan (β_1) 10° yaitu memberikan efisiensi maksimal sebesar 19,338% pada putaran 60 rpm.

Daftar Pustaka

- [1] T. Sakurai, H. Funato, and S. Ogasawa, (2009), *Fundamental characteristics of test facility for micro hydroelectric power generation system*, International Conference on Electrical Machines and Systems, ICEMS 2009, pp. 1-6
- [2] Suryawan, A. A. A., Suarda, M., Suweden, I.N., (2016), **Desain Kincir Air Sudu Lengkung Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro**, Laporan Akhir Penelitian Hibah Bersaing, Universitas Udayana.
- [3] Ketjoy, P.L.N., and Rakwichian, W., (2006), *Pico Hydro Power Generation Demonstration : Case Study of Stand Alone, Hybrid and Grid Connected System*, ENETT49-043, Thailand.
- [4] Parahita, K.S.Y., (2017), **Perancangan dan Pengujian Performansi Kincir Air Piko Hidro Desain Sudu Lengkung ke Belakang dengan Metode Satu Busur Lingkaran**, Skripsi, Universitas Udayana.