

Karakterisasi Kincir Air Sudu Melengkung pada Variasi Sudut Air Masuk (β_1) dan Sudut Kelengkungan Sudu (β)

Anak Agung Adhi Suryawan^{1)*}, I Nengah Suweden²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

²⁾ Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

doi: 10.24843/JEM.2018.v11.i01.p07

Abstrak

Bali memiliki banyak sumber energi aliran air sungai atau saluran irigasi yang mempunyai debit aliran relatif kecil pada head yang rendah, dengan demikian Hydropower dapat memberikan solusi praktis terhadap masalah konservasi energi dan masalah lingkungan. Pada penelitian ini didesain model kincir sudu melengkung ke belakang (back curve vanes) skala laboratorium, mengikuti kaidah-kaidah desain turbin air, dengan metode satu busur lingkaran, sehingga pengusaha bengkel nanti dapat membuat sudu kincir air dari potongan pipa besi. Data-data yang diamati adalah : kapasitas aliran (Q_a), head (H_a), putaran kincir (n), pada setiap variasi beban, sudut aliran air masuk sudu, dan sudut kelengkungan sudu dengan demikian menjadi jelas karakteristik dari kincir air. Empat sudu yang diuji memiliki sudut kelengkungan sudu (β) yang berbeda yaitu 10° , 20° , 30° dan 40° , sudut air masuk (β_1) yaitu $2/5 \beta$, $3/5 \beta$, $4/5 \beta$ dan $5/5 \beta$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa unjuk kerja sudu lengkung ke belakang dengan besarnya sudut aliran air masuk sudu (β_1) yang sesuai/sama dengan sudut kelengkungan sudu (β) akan menghasilkan unjuk kerja yang paling baik. Empat sudu yang diuji pada konstan dan variasi kapasitas maka sudut kelengkungan sudu (β) = 20° menunjukkan hasil terbaik. Semakin kecil sudut kelengkungan sudu maka unjuk kerja akan semakin baik dalam batas toleransi atas meningkatnya kerugian gesekan/hidrolis dari fluida kerja yang terjadi.

Kata kunci: Piko hidro, sudu lengkung ke belakang, sudut masuk, karakteristik kincir air

Abstract

Bali has many sources of river water streams or irrigation channels that have relatively small flow discharge at low head, thus Hydropower can provide practical solutions to energy conservation and environmental issues. In this research, the model is designed for the back curve vanes of laboratory scale, following the rules of water turbine design, with the method of one circular arc, so that the workshop entrepreneur can make the waterwheel from the iron pipe binder. The observed data are: flow capacity (Q_a), head (H_a), rotation (n), at each load variation, angle of the water entering the blade, and the angle of the blade curvature thus becomes clear the characteristic of the waterwheel. Four tested blades have different angle of curvature (β) that is 10° , 20° , 30° and 40° , the inlet angle (β_1) is $2/5 \beta$, $3/5 \beta$, $4/5 \beta$ and $5/5 \beta$. The results showed that the performance of the back end curve with the angle of the water flow in the blade corresponding to the angle of curvature of the blade (β) will produce the best performance. Four blades tested at constant and capacity variation then angle curvature angle (β) = 20° shows best result. The smaller the angle of the blade curvature, the better the performance within the tolerance limit of the increased friction / hydraulic losses of the working fluid that occurs.

Keywords: Pico hydro, backward curve blade, inlet angle, water wheel characteristics

1. Pendahuluan

Ketergantungan terhadap sumber energi konvensional seperti BBM yang berlebihan pasti menimbulkan masalah di masa depan. Oleh karena itu usaha pemanfaatan sumber-sumber energi terbarukan harus terus digalakkan. Khususnya di Bali terdapat banyak sumber aliran air di sungai atau saluran irigasi yang mempunyai debit aliran relatif kecil pada head yang rendah, dengan demikian *hydropower* memberikan solusi praktis terhadap masalah konservasi energi dan masalah lingkungan [1].

Hal ini merupakan alasan mengapa perlu membangun turbin air skala sangat kecil (*pico hydro*) di pedesaan yang jauh dari akses pelayanan PLN. Kompleksnya pembuatan turbin dan fabrikasinya, merupakan faktor utama yang menyebabkan kurang bergairahnya pemanfaatan sumber-sumber energi aliran air untuk menghasilkan *hydropower* [2]. Oleh karena itu hasil penelitian ini dapat sebagai rekomendasi dalam mendesain sudu kincir air yang tepat, mudah dibuat dengan metode satu busur

lingkaran, serta mengikuti kaidah-kaidah desain turbin air, selanjutnya berharap bengkel dapat membuat sudu dari potongan pipa besi.

Penelitian [2] menunjukkan bahwa sudu kelengkungan ke belakang menghasilkan unjuk kerja terbaik bila di dibandingkan dengan sudu kelengkungan ke depan maupun sudu lurus. Bentuk sudu lurus maupun segitiga ini akan menyebabkan *sock losses* dan aliran air kurang *streamline* dibandingkan bentuk busur lingkaran atau melengkung.

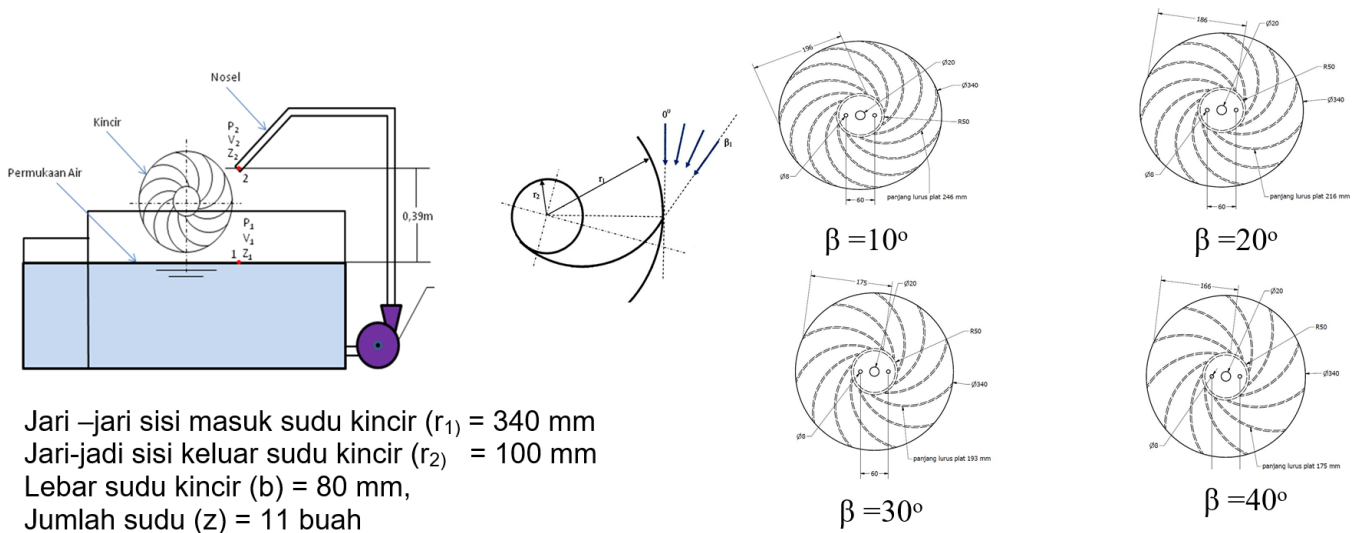
Dengan kata lain karakteristik kincir air sangat dipengaruhi oleh sudut aliran air masuk sudu dan sudut kelengkungan sudu. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan rancangan kincir air sudu melengkung ke belakang, pada sudut aliran air masuk sudu dan sudut kelengkungan sudu yang tepat sehingga dapat menghasilkan daya dan putaran lebih tinggi untuk pembangkit listrik skala sangat kecil (*picohydro*) mudah dibuat dan mengetahui unjuk kerjanya.

*Korespondensi: Tel./Fax.: 62 81237029163 / 361 703321
E-mail: jaka_ngr@yahoo.co.id

2. Metode Penelitian

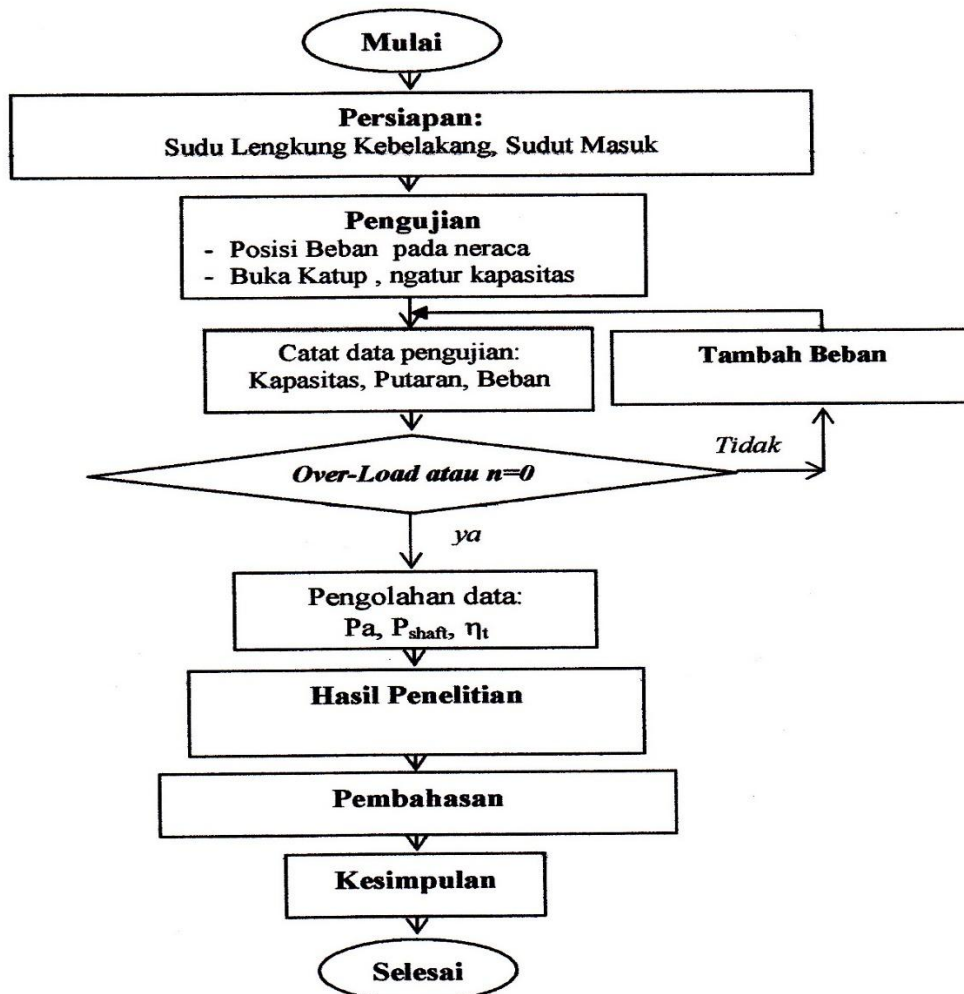
Pada penelitian ini dibuat dan diuji desain model kincir sudu melengkung ke belakang (*back curve vanes*) skala laboratorium. Data-data yang diamati adalah : kapasitas aliran (Q_a), head (H_a), putaran kincir (n), pada setiap variasi beban, sudut aliran air masuk sudu (β_1), dan sudut kelengkungan sudu (β) dengan demikian menjadi jelas karakteristik dari kincir

air. Empat sudu yang diuji memiliki sudut kelengkungan sudu (β) yang berbeda yaitu 10° , 20° , 30° dan 40° , sudut air masuk (β_1) yaitu $2/5 \beta$, $3/5 \beta$, $4/5 \beta$ dan $5/5 \beta$, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Skematik diagram alir penelitian ditunjukkan dalam Gambar 2.



Jari-jari sisi masuk sudu kincir (r_1) = 340 mm
 Jari-jadi sisi keluar sudu kincir (r_2) = 100 mm
 Lebar sudu kincir (b) = 80 mm,
 Jumlah sudu (z) = 11 buah

Gambar 1. Skema instalasi peralatan penelitian dan variasi sudut kelengkungan sudu



Gambar 2. Skematik diagram alir penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil

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

a. Kapasitas aliran air masuk kincir konstan (Q) = $\frac{10}{14}$

$$\frac{\text{liter}}{\text{det}} = 0,000714 \text{ m}^3/\text{dt}$$

b. Luas penampang nosel (A) = 0,000164 m²

Titik 1 pada permukaan air dalam bak penampung:

- Tekanan di titik 1 (p₁) = Tekanan Atmosfir
- Kecepatan di titik 1 (v₁) ≈ 0
- Elevasi di titik 1 (z₁) = 0

Titik 2 di titik keluar fluida pada ujung nosel:

- Tekanan di titik 2 (p₂) = Tekanan Atmosfir

- Kecepatan di titik 2 (v₂) = $\frac{Q}{A} = \frac{0,000714}{0,000164}$

= 4,34 m/dt

- Elevasi di titik 2 (z₂) = 0,39 m

c. Head efektif kincir sama dengan head efektif pompa dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$H_E = (z_2 - z_1) + \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma}\right) + \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}\right) + H_L \quad (1)$$

Karena P₁ dan P₂ nilainya sama, maka

$$\left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma}\right) = 0$$

Karena H_L relatif kecil maka nilainya dapat diabaikan

Sehingga persamaannya menjadi:

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

$$H_E = (0,39 - 0) \text{ m} + \left(\frac{(4,34)^2 - 0}{2 \times 9,81}\right) \text{ m} = 1,35 \text{ m}$$

d. Daya yang secara efektif diterima oleh air dari pompa yang digunakan untuk memutar roda kincir dapat dihitung dengan persamaan (2).

$$P_a = \rho \cdot q \cdot Q \cdot H_g \quad \text{Watt} \quad (2)$$

Dimana:

ρ · g = berat air persatuan volume (N/m³)

Q = kapasitas (m³/dt)

H_E = Head efektif total pompa (m)

Diperoleh P_a = 9,45 Watt

e. Jari-jari pulley (r) = 0,032 m

f. Pencatatan data dilakukan pada arus listrik (I) dan tegangan listrik (V), saat kincir air beroperasi pada kisaran 206 s/d 220 V dan 0,14 s/d 0,15 A).

Selanjutnya hasil penelitian disajikan dalam Tabel 1 s/d 3 dan Gambar 3 s/d 5.

Tabel 1. Daya poros dan efisiensi masing-masing kelengkungan sudu (β) pada variasi sudut sisi masuk sudu (β₁), variasi putaran pada kapasitas konstan

(a) Kelengkungan Sudu β = 10°

Putaran kincir (rpm)	Variasi sudut sisi masuk							
	2/5 β = 4°		3/5 β = 6°		4/5 β = 8°		β = 10°	
	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)
20	1.103	11.669	1.134	11.995	1.273	13.457	1.362	14.405
40	1.561	16.504	1.624	17.170	1.876	19.834	2.012	21.282
60	1.518	16.048	1.602	16.939	1.863	19.697	2.423	25.625
80	1.002	10.598	0.975	10.308	1.249	13.204	2.092	22.122
100	0.548	5.791	0.582	6.153	0.815	8.614	1.431	15.129
120	0.267	2.823	0.316	3.344	0.517	5.473	1.421	15.028
140	0.278	2.939	0.287	3.040	0.446	4.712	1.136	12.009

(b) Kelengkungan Sudu β = 20°

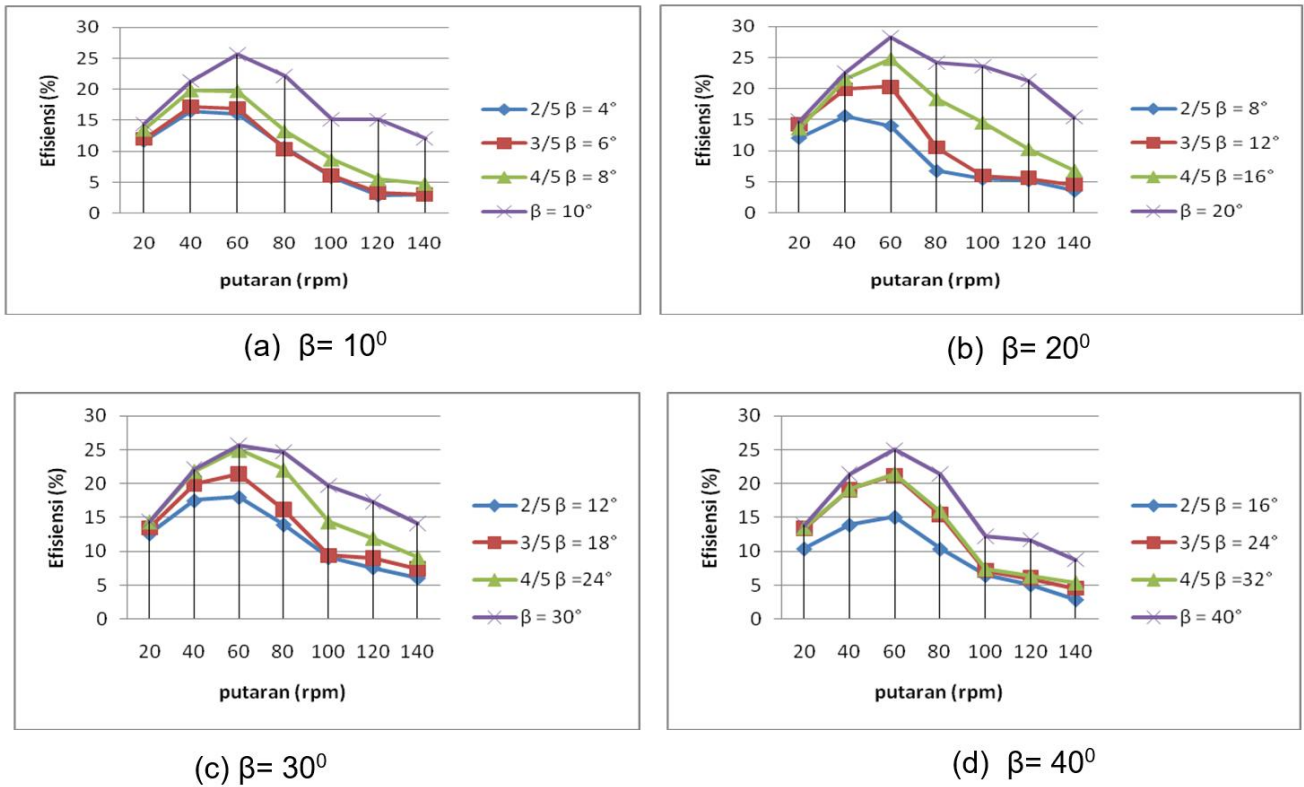
Putaran kincir (rpm)	Variasi sudut sisi masuk							
	2/5 β = 8°		3/5 β = 12°		4/5 β = 16°		β = 20°	
	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)
20	1.143	12.089	1.349	14.260	1.287	13.609	1.397	14.774
40	1.476	15.607	1.885	19.936	2.034	21.514	2.137	22.600
60	1.327	14.029	1.922	20.327	2.341	24.757	2.674	28.275
80	0.643	6.804	0.994	10.511	1.730	18.300	2.286	24.178
100	0.524	5.538	0.565	5.972	1.376	14.550	2.228	23.562
120	0.501	5.299	0.530	5.603	0.973	10.294	2.017	21.325
140	0.345	3.648	0.431	4.560	0.647	6.841	1.452	15.353

(c) Kelengkungan Sudu β = 30°

Putaran kincir (rpm)	Variasi sudut sisi masuk							
	2/5 β = 12°		3/5 β = 18°		4/5 β = 24°		β = 30°	
	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)
20	1.190	12.588	1.280	13.537	1.358	14.362	1.364	14.420
40	1.655	17.503	1.891	19.994	2.065	21.832	2.093	22.136
60	1.702	18.003	2.031	21.478	2.364	24.996	2.429	25.690
80	1.317	13.927	1.536	16.244	2.086	22.064	2.338	24.728
100	0.856	9.048	0.893	9.447	1.359	14.369	1.869	19.762
120	0.715	7.557	0.854	9.034	1.129	11.944	1.643	17.373
140	0.570	6.030	0.704	7.449	0.862	9.121	1.337	14.137

(d) Kelengkungan Sudu β = 40°

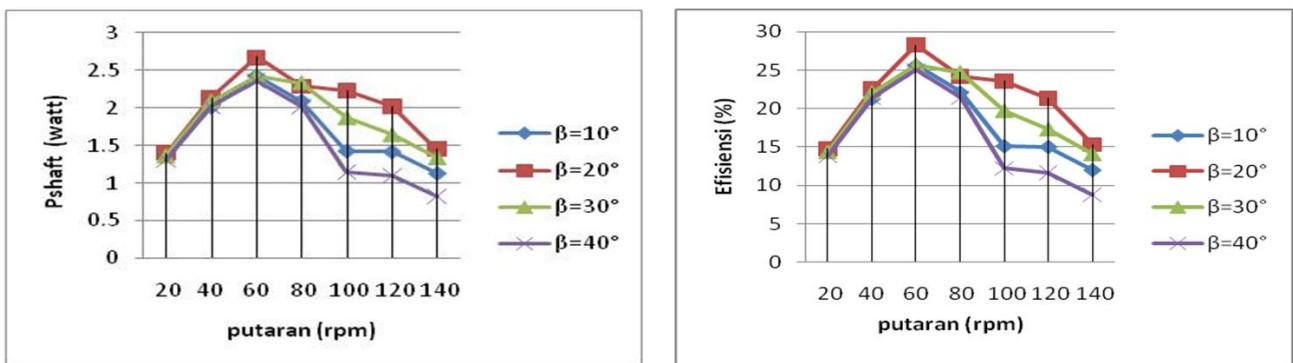
Putaran kincir (rpm)	Variasi sudut sisi masuk							
	2/5 β = 16°		3/5 β = 24°		4/5 β = 32°		β = 40°	
	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)
20	0.983	10.395	1.269	13.421	1.280	13.537	1.314	13.898
40	1.316	13.913	1.811	19.154	1.817	19.212	2.026	21.427
60	1.425	15.071	2.006	21.217	2.031	21.478	2.364	24.996
80	0.980	10.366	1.465	15.491	1.511	15.983	2.023	21.398
100	0.613	6.479	0.678	7.166	0.702	7.420	1.153	12.197
120	0.481	5.082	0.575	6.081	0.604	6.385	1.101	11.640
140	0.273	2.888	0.431	4.560	0.508	5.371	0.829	8.766



Gambar 3. Efisiensi kincir air pada masing-masing sudut kelengkungan sudu (β): 10° , 20° , 30° dan 40° pada variasi sudut sisi masuk sudu (β_1) pada kapasitas konstan

Tabel 2. Perbandingan daya poros dan efisiensi masing-masing sudut kelengkungan sudu pada sudut air masuk sudu (β_1) = β , variasi putaran pada kapasitas konstan

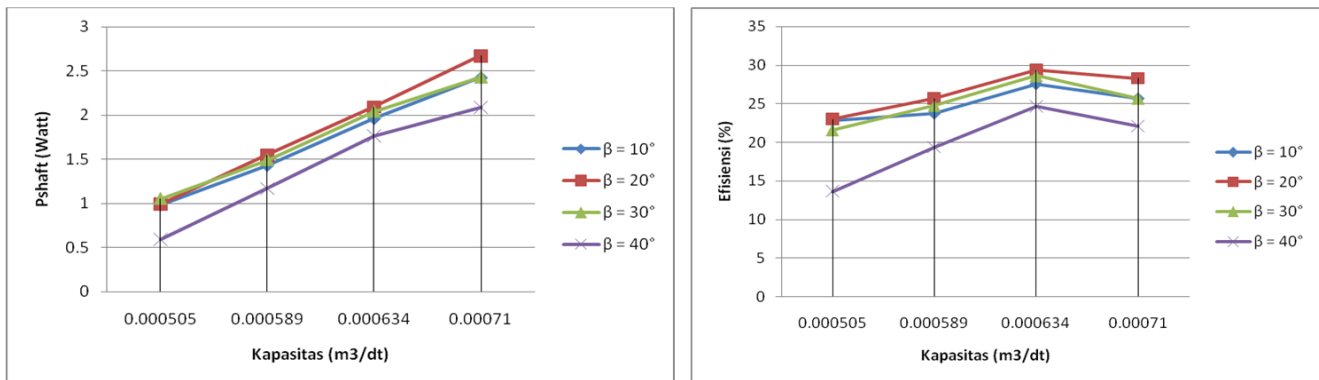
Putaran kincir (rpm)	Sudu kelengkungan sudu (β)							
	10°		20°		30°		40°	
	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)
20	1.362195	14.405	1.397105	14.774	1.363564	14.420	1.314278	13.898
40	2.012489	21.282	2.137071	22.600	2.093262	22.136	2.026179	21.427
60	2.423201	25.625	2.673735	28.275	2.429361	25.690	2.363648	24.996
80	2.091893	22.122	2.286297	24.178	2.33832	24.728	2.023441	21.398
100	1.430647	15.129	2.228113	23.562	1.86874	19.762	1.153416	12.197
120	1.421064	15.028	2.016596	21.325	1.642848	17.373	1.100708	11.640
140	1.135619	12.009	1.451867	15.353	1.336868	14.137	0.828954	8.766



Gambar 4. Daya poros dan efisiensi masing-masing kelengkungan sudu pada sudut air masuk sudu (β_1) = β , kapasitas konstan, variasi putaran

Tabel 3. Daya poros dan efisiensi masing-masing kelengkungan sudu pada sudut air masuk sudu (β_1) = β , variasi kapasitas pada putaran 60 rpm

Kapasitas (Q) m ³ /dt	sudut masuk air ke sudu = β pada kelengkungan sudu = β											
	$\beta = 10^\circ$			$\beta = 20^\circ$			$\beta = 30^\circ$			$\beta = 40^\circ$		
	Head (m)	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)	Head (m)	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)	Head (m)	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)	Head (m)	Pshaft (watt)	Eff. Kincir (%)
0.000505	0.869759	0.981602	22.77771	0.87	0.991869	23.016	0.87	1.053476	21.58641	0.87	0.587318	13.6285
0.000589	1.043468	1.431331	23.72108	1.04	1.548384	25.661	1.04	1.492938	24.74207	1.04	1.166422	19.3308
0.000634	1.146631	1.963203	27.51599	1.15	2.094631	29.358	1.15	2.041239	28.60973	1.15	1.759901	24.66653
0.00071	1.349518	2.425254	25.64705	1.35	2.673735	28.275	1.35	2.429361	25.69049	1.35	2.086417	22.06385

Gambar 5. Daya poros dan efisiensi masing-masing kelengkungan sudu pada sudut air masuk Sudu (β_1) = β , variasi kapasitas pada putaran 60 rpm

3.2. Hasil dan Pembahasan

Dari Tabel 1 dan Gambar 3 menunjukkan hubungan antara putaran kincir dan sudut kelengkungan sudu (β) 10° , 20° , 30° dan 40° , variasi sudut sisi masuk sudu (β_1), pada kapasitas konstan terhadap efisiensi dan daya poros yang dihasilkan. Efisiensi perlahan naik sampai pada puncaknya pada putaran 60 rpm, selanjutnya akan terjadi penurunan. Hal ini disebabkan oleh air yang menerpa sudu tidak semuanya masuk ke sudu kincir, sehingga mempengaruhi besarnya daya poros, akibatnya efisiensi kincirpun mengalami penurunan. Dengan kenaikan putaran maka head dinamis sudu akan meningkat, sehingga akan terjadi peningkatan gesekan yang merupakan sumber dari timbulnya kerugian energi. Ditunjukkan pula bahwa efisiensi terbaik bila operasional kincir pada sudut aliran masuk kincir (β_1) yang sama/sesuai dengan sudut kelengkungan sudu (β).

Tabel 2 dan Gambar 4 menampilkan bahwa daya poros dan efisiensi masing-masing kelengkungan sudu (β) pada sudut air masuk sudu (β_1), variasi putaran pada kapasitas konstan. Tampak bahwa dengan kenaikan putaran, daya poros dan efisiensi mengalami kenaikan sampai pada puncaknya pada putaran 60 rpm, selanjutnya akan mengalami penurunan. Semakin kecil sudut kelengkungan sudu (β) maka daya poros dan efisiensi kincir air cenderung makin membaik dalam batas toleransi kenaikan kerugian aliran karena persoalan tajamnya kelengkungan sudu yang memungkinkan untuk membelokkan aliran fluida tanpa diikuti oleh kerugian gesekan, olakan dan

bentuk kerugian energi lainnya. Secara teoritis berdasarkan persamaan laju perubahan momentum, maka semakin kecil sudut kelengkungan sudu (β), maka daya poros dan efisiensi kincir akan meningkat. Dalam praktek tentu tidak mungkin membelokkan fluida kerja pada sudut 180° , oleh karena itu berdasarkan hasil penelitian ini sudut kelengkungan sudu (β) yang memberi kemungkinan daya poros, putaran dan efisiensi terbaik adalah pada sudut kelengkungan sudu (β) = 20° bukan pada sudut kelengkungan sudu (β) = 10° . Terjadi penurunan efisiensi pada semua sudut kelengkungan sudu (β) setelah mencapai putaran 60 rpm hal ini karena kenaikan daya poros tidak sebanding dengan daya air yang tersedia, ini mengindikasikan terjadi kerugian hidrolis fluida akibat gesekan dan waktu yang tidak cukup bagi fluida untuk mengisi kolom ruang antar sudu karena waktu yang cepat seiring dengan bertambahnya putaran dan berkurangnya pembebanan kincir. Jadi antara pembebanan dan putaran kincir perlu mendapat perhatian dalam pengoperasian kincir di lapangan. Selanjutnya, efisiensi terbaik masing-masing sudut kelengkungan sudu (β) diperoleh bila kincir air dioperasikan pada sudut aliran masuk sudu (β_1) pada sudut yang sama/sesuai sudut kelengkungan sudu (β).

Tabel 3 dan Gambar 5, menunjukkan bila pengujian kincir dilakukan pada variasi kapasitas dan putaran konstan 60 rpm maka kenaikan kapasitas akan diikuti oleh kenaikan daya poros. Namun tidak demikian dengan efisiensi. Efisiensi mengalami kenaikan, selanjutnya akan cenderung menurun. Hal ini mengindikasikan bahwa kenaikan kapasitas akan

dikuti oleh kenaikan kecepatan fluida kerja yang tentu akan terjadi kenaikan kerugian gesekan fluida kerja dengan sudu. Terdapat kesesuaian hasil dengan hasil pengujian variasi putaran dan kapasitas konstan, dimana semakin kecil sudut kelengkungan sudu (β) maka daya poros dan efisiensi kincir cenderung makin baik, dalam batas toleransi dari meningkatnya kerugian aliran karena faktor pembelokan arah aliran yang mengikuti kelengkungan sudu (β).

4. Simpulan

Karakteristik kincir air sudu kelengkungan ke belakang yang didesain dengan metode satu busur lingkaran menunjukkan unjuk kerja yang paling baik ketika sudut aliran air masuk sudu (β_1) kincir sesuai/sama dengan sudut kelengkungan sudu (β). Semakin kecil sudut kelengkungan sudu (β) maka unjuk kerja akan meningkat, tetapi dalam batas toleransi kenaikan kerugian gesekan/hidrolis dari fluida kerja akibat faktor pembelokan arah aliran yang mengikuti kelengkungan sudu.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada DIPA PNB dan LPPM Universitas Udayana. Poster ini disajikan sebagai pertanggungjawaban HUPS 2017 sesuai dengan Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Penelitian No.: 3019.1/UN14.2.5.V.1/LT/2017, tanggal 25 Juli 2017.

Daftar Pustaka

- [1] Suarda M. (2008) Potensi Sumber Energi Terbarukan di Bali, *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VII*, 4-6 Nopember 2008, Manado.
- [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, Badung Bali.
- [3] Cunningham, P., And Atkinson, B. (1998) Micro Hydro Power in The Nineties, [Online, accessed: 7-4-2004], URL: <http://www.elements.nb.ca/heme/energy/micro/micro.htm>.
- [4] Dietzel, F., dan Sriyono, D. (1990) *Turbin, Pompa dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta.
- [5] Greacen C., and Kerins M. (2004) *A Guide to Pump as Turbine Pico Hydropower Systems*.
- [6] Suarda M. (2009) Assessment Performance of Pumps as Hydro-Turbines, *Jurnal Cakram*.
- [7] Suryawan A.A.A., Suarda M., Suweden I N. (2013), *Karakterisasi Pompa Axial Sebagai Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro*, *Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) XII*, 23-24 Oktober 2013, Bandar Lampung.