

Pengaruh Variasi Sudut Sudu Segitiga Terhadap Performansi Kincir Air Piko Hidro

Budiartawan K.¹, Suryawan A. A. A.², Suarda M.³

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Kincir air merupakan salah satu komponen utama pembangkit listrik tenaga piko hidro. Desain kincir air sangat mempengaruhi performansi yang dihasilkan kincir air tersebut. Kincir air dengan bentuk sudu segitiga mudah dari segi pembuatannya. Pengujian kincir air sudu segitiga dilakukan dengan menguji model kincir air lengkap dengan bak uji model sistem PLTPH. Sudut kincir yang diuji adalah 70° , 80° , 90° , 100° dan 110° dengan yang bertujuan untuk mengetahui sudut sudu kincir air sudu segitiga yang optimal. Data yang diamati meliputi kapasitas aliran, Head efektif kincir, putaran kincir, daya poros, dan efisiensi. Dari pengujian yang dilakukan diperoleh efisiensi kincir tertinggi mencapai 27,1% pada sudu dengan sudut 100 derajat.

Kata kunci: piko hidro, kincir air, sudu segitiga

Abstract

Waterwheel is one of the main components of hydro power plant. the design of the waterwheel greatly affects the performance of the waterwheel. Waterwheels with triangular blades are easy in terms of manufacture. The triangular blade waterwheel test is conducted by testing the model of a water mill complete with a PLTPH model test tub. The angle of the tested mill is 70° , 80° , 90° , 100° and 110° to know the optimal of the triangular blade. Observed data include flow capacity, effective head of waterwheel, rotation of waterwheel, shaft power, and efficiency. From the test, the efficiency of waterwheel reaches 27.1% at 100° the angle of the blade.

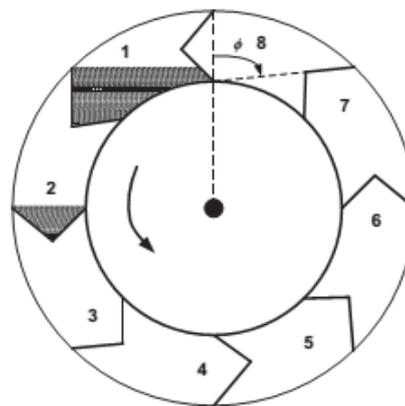
Keywords: picohydro, waterwheel, triangular blade

1. Pendahuluan

Hydropower adalah salah satu *renewable energy* yang berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia dan Bali pada khususnya. Hal ini dikarenakan banyaknya sumber aliran air pada sungai atau saluran irigasi yang mempunyai debit aliran air yang relatif kecil pada head yang rendah yang berpotensi dimanfaatkan sebagai pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro. Kincir air adalah komponen utama yang mengkonversi energi dari aliran air menjadi energi mekanis yang kemudian digunakan untuk menggerakkan generator. Untuk mendapatkan energi listrik yang optimal dibutuhkan kincir air yang bisa menghasilkan output putaran kincir dan efisiensi yang tinggi, maka perlu dibuat desain sudu kincir air dengan bentuk yang tepat tetapi mudah dibuat dan murah.

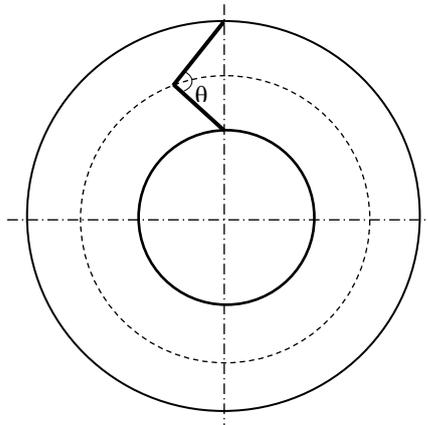
Pada umumnya kincir air memiliki bentuk sudu lurus. Kincir air dengan bentuk sudu segitiga, seperti pada Gambar 1, yang dapat menghasilkan efisiensi 5,73% lebih besar dibandingkan dengan bentuk sudu lurus [1]. Penelitian yang dilakukan dengan melakukan uji coba terhadap purwarupa model turbin air dalam skala laboratorium [2]. Metode tersebut memungkinkan dilakukan penelitian di laboratorium tanpa harus dilokasi. 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 [3].



Gambar 1. Kincir air dengan bentuk sudu segitiga [1]

Pembangkit listrik tenaga air skala sangat kecil sangat potensial dikembangkan di daerah pedesaan. Pada penelitian ini akan dibuat dan diuji desain model kincir sudu segitiga dengan memvariasikan sudut segitiga untuk mendapatkan desain sudu yang optimal namun mudah dibuat dan murah harganya.



Gambar 2. Sudut sudu kincir air sudu segitiga yang akan divariasikan [4]

Adapun permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana rancangan sudut sudu kincir air sudu segitiga dan sudut masuk fluida kerja kincir air yang dapat menghasilkan daya yang lebih tinggi untuk pembangkit listrik skala sangat kecil (picohydro) namun mudah dibuat?
2. Berapa sudut sudu segitiga kincir air yang menghasilkan performansi optimal?

Agar penelitian ini tidak menyimpang dari tujuan yang direncanakan sehingga mempermudah mendapatkan data dan informasi yang diperlukan, maka penulis menetapkan batasan-batasan sebagai berikut:

1. Perancangan kincir sudu segitiga divariasikan pada sudut depan hipotenusa segitiga.
2. Variasi sudut sudu (θ) dibatasi hingga 5 varian yang paling memungkinkan untuk dibuat yaitu $\theta = 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ, 100^\circ, \text{ dan } 110^\circ$
3. Penelitian dilakukan dengan model skala laboratorium.
4. Penelitian dibatasi pada kondisi *breastshoot*.
5. Variable tetap yaitu debit air(Q), ketinggian air(H), dan kecepatan aliran air (V).

2. Dasar Teori

Prinsip dasar *hydropower* adalah bahwa jika air dapat dialirkan dari ketinggian tertentu ke tempat yang lebih rendah, maka energi aliran air dapat digunakan untuk melakukan kerja. Turbin atau kincir air mengubah energi air menjadi daya poros yang dapat digunakan untuk menggerakkan generator listrik. Pembangkit daya tenaga air (*hydropower*) dapat diklasifikasikan berdasarkan besarnya daya yang dibangkitkan [1]. 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.

Terdapat beberapa komponen yang merupakan bagian penting dari suatu sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), antara lain :

- a. Sumber air
- b. Bangunan intake
- c. Pipa pesat atau penstock pipe
- d. Powerhouse dan trailrace
- e. Turbin atau kincir air
- f. generator

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.

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

Dimana:

- z_1 = elevasi permukaan air di bak intake (m)
- z_2 = elevasi permukaan air di bak *tailrace* (m)
- p_1 = tekanan air bak intake (N/m^2)
- p_2 = tekanan air di bak *tailrace* (N/m^2)
- v_1 = kecepatan air di bak intake (m/det)
- v_2 = kecepatan air keluar *tailrace* (m/det)
- H_E = head total efektif aliran air (m)
- H_L = head losses total instalasi *penstock*/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 :

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

Dimana :

- Q = debit air (m^3/dt)
- A = luas penampang basah (m^2)
- 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^3/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^3/det)
- H_E = *Head* atau tinggi air jatuh Efektif (m)
- γ = Berat jenis air ($9.800 N/m^3$)

Daya output Generator dihitung berdasarkan persamaan:

$$P_{out} = \gamma \cdot Q \cdot H_E \cdot \eta_{turbin} \cdot \eta_{transmisi} \cdot \eta_{generator} \quad (4)$$

Dimana:

η_{turbin} = efisiensi turbin

$\eta_{transmisi}$ = efisiensi transmisi

$\eta_{generator}$ = efisiensi generator

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

$$P_s = T \times \omega = T \times \frac{2\pi n}{60} \quad (5)$$

Dimana :

P_s = Daya yang dihasilkan (Watt)

T = Torsi (Nm)

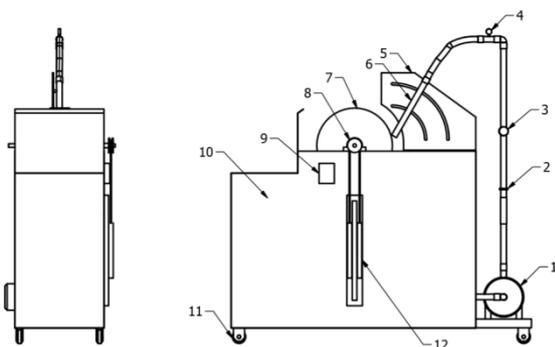
ω = Kecepatan sudut (rad/det)

n = Putaran (rpm)

3. Metode Penelitian

Sebuah model sistem kincir air yang dilengkapi dengan sistem perpipaan dan desain kincir model (skala laboratorium), sudu segitiga dengan 5 variasi sudut sudu yaitu $70^\circ, 80^\circ, 90^\circ, 100^\circ,$ dan 110° . Model yang diuji secara eksperimental untuk mendapatkan rancangan kincir air yang dapat menghasilkan daya dan efisiensi tinggi, skala sangat kecil (*picohydro*) namun mudah dibuat.

Gambar 3 menunjukkan skema model uji kincir air (*picohydro*), yang dirancang sedemikian rupa agar mendekati kondisi operasional di lapangan. Pengukuran beban turbin dapat dilakukan dengan mengatur beban pada neraca.



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 |

Gambar 3. Peralatan Pengujian

Peralatan pengujian yang digunakan antara lain:

- Dirancang dan dibuat Model Kincir air sudu segitiga lengkap dengan bak uji PLTPH.
- Pipa GIP serta perlengkapannya seperti *water-mur, elbow dan flange*.
- Flow meter*, untuk mengukur kapasitas aliran
- Neraca
- Tachometer*, untuk mengukur besarnya putaran poros turbin
- Dudukan nosel yang bisa di atur sudut nosel terhadap sudu kincir.

4. Hasil dan Pembahasan

Adapun data hasil pengujian yang telah dilakukan pada kincir air sudu segitiga pada sudut sudu (θ) = 70° adalah seperti pada Tabel 1.

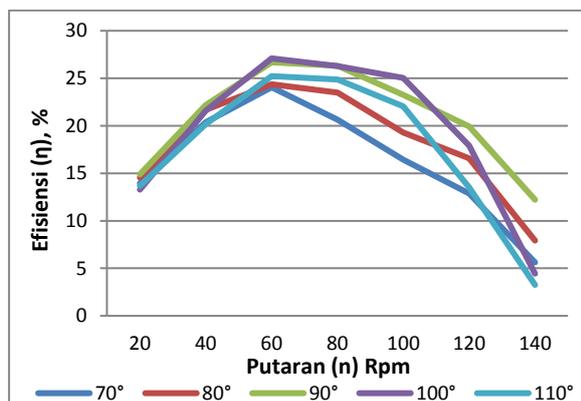
Tabel 1. Pengujian kincir air sudu segitiga pada sudut sudu (θ) = 70°

Dari tabel diatas didapat efisiensi dari masing-masing kincir seperti pada tabel berikut.

RPM	Efisiensi (%)				
	70°	80°	90°	100°	110°
20	13.96	14.56	14.89	13.29	13.69
40	20.36	21.66	22.17	21.57	20.16
60	24.05	24.37	26.68	27.10	25.23
80	20.65	23.48	26.32	26.28	24.88
100	16.42	19.31	23.27	25.05	22.06
120	12.88	16.59	19.93	17.90	13.52
140	5.63	7.92	12.22	4.44	3.26

Tabel 2. Efisiensi kincir air sudu segitiga

Dari tabel 2 diperoleh grafik hubungan antara putaran kincir dengan efisiensi seperti pada gambar berikut.



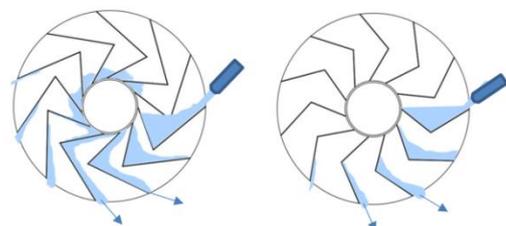
Gambar 4. Perbandingan Efisiensi Maksimum Kincir Air Sudu Segitiga pada sudut sudu (θ) = 70°, 80°, 90°, 100°, 110°

Hubungan antara putaran kincir terhadap Efisiensi kincir air sudu lurus pada masing-masing variasi sudut sudu (θ). Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa daya dan efisiensi kincir perlahan naik dengan kenaikan putaran hingga pada putaran 60 rpm, selanjutnya terjadi penurunan daya dan efisiensi pada putaran yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan pada putaran rendah fluida kerja terbuang karena melebihi kapasitas yang dapat ditampung sudu kincir, sedangkan pada putaran yang terlalu tinggi fluida yang bekerja sangat sedikit yang mengisi ruang sudu sehingga daya poros tidak sebanding dengan daya air yang tersedia, ini mengindikasikan terjadi kerugian hidrolis fluida akibat gesekan.

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara putaran kincir terhadap efisiensi terbaik pada masing-masing variasi sudut dan sudut nosel. Diketahui efisiensi tertinggi pada kincir air sudu segitiga dengan sudut sudu 100 derajat, disusul oleh kincir air sudu segitiga

RPM	No	Beban (kg) pada sudut sudu segitiga				
		70°	80°	90°	100°	110°
20	1	2.435	2.817	2.725	2.400	2.655
	2	2.620	2.493	2.713	2.435	2.528
	3	2.597	2.667	2.725	2.450	2.319
	Rata-rata	2.551	2.659	2.721	2.428	2.500
40	1	0.185	1.971	2.029	1.980	1.843
	2	1.860	1.994	2.006	1.971	1.884
	3	1.870	1.971	2.041	1.960	1.797
	Rata-rata	1.860	1.979	2.025	1.970	1.842
60	1	1.449	1.461	1.620	1.623	1.530
	2	1.484	1.507	1.630	1.670	1.548
	3	1.461	1.484	1.623	1.650	1.530
	Rata-rata	1.465	1.484	1.624	1.650	1.536
80	1	0.951	1.072	1.206	1.100	1.136
	2	0.945	1.067	1.183	1.200	1.148
	3	0.933	1.078	1.217	1.300	1.125
	Rata-rata	0.943	1.072	1.202	1.200	1.136
100	1	0.610	0.713	0.846	0.920	0.812
	2	0.590	0.696	0.846	0.916	0.800
	3	0.601	0.707	0.858	0.910	0.806
	Rata-rata	0.600	0.705	0.850	0.915	0.806
120	1	0.388	0.500	0.600	0.540	0.406
	2	0.394	0.505	0.610	0.545	0.412
	3	0.394	0.510	0.610	0.550	0.417
	Rata-rata	0.392	0.505	0.607	0.545	0.412
140	1	0.151	0.203	0.319	0.116	0.081
	2	0.145	0.209	0.313	0.116	0.081
	3	0.145	0.209	0.325	0.116	0.093
	Rata-rata	0.147	0.207	0.319	0.116	0.085

dengan sudut sudu 90 derajat dengan kurva yang hampir berhimpitan.



Gambar 5. Fluida pada kincir: a. Kincir sudu segitiga sudut sudu 70 derajat, b. Kincir sudu segitiga sudut sudu 110 derajat

Dilihat dari volume fluida yang dapat ditampung oleh sudu kincir terbanyak pada kincir dengan sudut sudu terkecil, tetapi kincir dengan sudut sudu kecil akan membuat ruang yang lebih besar dan membuat fluida terjebak lebih banyak pada saat pembuangan fluida kerja. Dan pada saat fluida dibuang terjadi

gaya seret pada permukaan sudu kincir yang lebih besar dibanding sudu dengan sudut sudu yang lebih besar.

5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari perancangan dan pengujian pada kincir air sudu segitiga dengan memvariasikan sudut sudu kincir air dengan mengukur kecepatan putaran dan beban yaitu:

1. Rancangan sudut sudu kincir air sudu segitiga dan sudut masuk fluida kerja yang dapat menghasilkan daya dan efisiensi tertinggi pada kecepatan putaran 60 rpm karena pada kecepatan ini merupakan kecepatan putaran tertinggi pada torsi maksimum,
2. Sudut sudu segitiga kincir air yang menghasilkan performansi tertinggi yaitu dengan sudut sudu segitiga 100 derajat yang menghasilkan efisiensi 27,1% dibandingkan dengan sudut sudu segitiga lainnya

Daftar Pustaka

- [1] L. Jasa, A. Priyadi, M.H. Purnomo, (2014), *An Alternative Model of Overshot Waterwheel Based on a Tracking Nozzle Angle Technique for Hydropower Converter*, *Proceeding International Journal of Renewable Energy Research*, Vol.4, No.4
- [2] 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
- [3] Suryawan, A.A.A, Suarda, M. & Suweden, N., (2016), **Desain Kincir Air Sudu Lengkung Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro**, Laporan Akhir Penelitian Hibah Bersaing, Universitas Udayana, Bali
- [4] Budiartawan, K., (2017), **Pengaruh Variasi Sudut Sudu Segitiga Terhadap Performansi Kincir Air Piko Hidro**, Skripsi, Universitas Udayana
- [5] 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.