

Penentuan Daerah Kerja Kincir Air Pada Variasi Desain Sudu Dan Kapasitas Operasional

Putu Raditya Wedha Parikrama, A.A Adhi Suryawan, Ni Made Dwidiani
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Kincir air merupakan suatu teknologi yang tepat guna dalam menaikkan muka air dari yang elevasinya rendah sebagai upaya untuk mengairi suatu daerah. Daerah kerja kincir air sangat ditentukan oleh variasi desain sudu dan kapasitas operasional. Variasi desain sudu dapat dilihat dari sudut masuk fluida kerja pada kincir yang berputar pada sumbunya. Kapasitas operasional dapat dilihat dari kapasitas air dari variasi bukaan katup pada saluran air. Pada penelitian ini variasi desain sudu yang digunakan adalah kincir air sudu lengkung ke belakang (θ) 20° dan sudut masuk air (β) = 20° , kincir air sudu lurus (θ) 25° dan sudut masuk air $1/3$ (β) = 25° , kincir air sudu segitiga (θ) 100° dan sudut masuk air $1/3$ (β) = 19° . Kapasitas operasional menggunakan 4 variasi bukaan katup pada saluran air di pichydro meliputi = Q_{max} , $Q_{3/4}$, $Q_{2/4}$, dan $Q_{1/4}$. Penelitian ini diuji secara eksperimental untuk mendapatkan rancangan kincir air yang dapat menghasilkan daya dan putaran tinggi sehingga diketahui unjuk kerjanya. Data-data yang diamati adalah kapasitas aliran air masuk kincir, luas penampang nosel (A), head efektif turbin/kincir (H_E), daya yang tersedia (P_{in}) dan beban pada kincir (kg). Dari hasil penelitian performansi kincir air sudu lengkung ke belakang (θ) 20° menghasilkan daya poros dan efisiensi yang tertinggi pada pengujian dengan menggunakan kapasitas maksimum (Q_{max}) dengan daya yang dihasilkan mencapai 2,67 watt dan efisiensi mencapai 52,4 % pada sudut sisi masuk kincir sesuai dengan kelengkungan sudunya.

Kata Kunci : Kincir air, variasi desain sudu, kapasitas operasional

Abstract

Waterwheel is an applicable technology in raising water levels from low elevations to irrigate an targeted area. The targeted area of the waterwheel is largely determined by variations in blade design and operational capacity. The variation of blade design can be seen from the working fluid's entry point on the spinning wheel on its axis. Operational capacity can be seen from the capacity of water from variations in valve openings in waterways. The research aims to find the best performance among rear curved waterwheel (θ) 20° with water entry angle (β) = 20° , straight blade waterwheel (θ) 25° with water entry angle $1/3$ (β) = 25° , triangular blade waterwheel (θ) 100° with water entry angle $1/3$ (β) = 19° . The operational capacity used 4 variations of valve openings in the drains at pichydro include = Q_{max} , $Q_{3/4}$, $Q_{2/4}$, and $Q_{1/4}$. The data observed are the water flow capacity in the pinwheel, the nozzle area (A), the effective head of the turbine (H_E), the available power (P_{in}) and loads on the wheel (kg). The research showed that the performance of the rear curved waterwheel (θ) 20° produces the highest shaft power and efficiency in testing using maximum capacity (Q_{max}) with the power result reaching 2.67 watts and efficiency reaching 52.4% at the angle of entry of the wheel in line with the curvature of the blade

Keyword : Waterwheel, variations of blade design, operational capacity

1. Pendahuluan

Energi di dalam setiap kehidupan makhluk hidup yang ada di bumi ini sangat diperlukan keberadaannya. Kebutuhan akan energi semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah manusia dan kemajuan teknologi pada sektor industri maupun rumah tangga. Salah satu sumber energi yang bisa diperbaharui dan lebih ramah lingkungan adalah energi yang bersumber dari aliran air. Energi air telah dimanfaatkan secara luas di Indonesia sebagai pembangkit listrik. Pemanfaatan energi air banyak dilakukan dengan menggunakan kincir air [1].

Kincir air adalah suatu teknologi yang tepat guna dalam menaikkan muka air dari yang elevasinya rendah sebagai upaya untuk mengairi suatu daerah. Daerah kerja kincir air ditentukan dari sudut masuk fluida kerja pada kincir yang berputar pada sumbu

dikarenakan adanya gaya momentum massa air yang memukul sudu-sudu. Performansi kincir air dapat dipengaruhi oleh kelengkungan sudu. Pada penelitian ini yang digunakan adalah kincir air sudu lurus, sudu segitiga dan sudu lengkung ke belakang. Kinerja kincir air juga dipengaruhi oleh kapasitas operasional yaitu kapasitas air dari variasi bukaan katup pada saluran air. Oleh karena itu, penentuan daerah kerja kincir air sangat dipengaruhi oleh variasi desain sudu dan kapasitas operasional bukaan katup. [2].

2. Dasar teori

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Air

Hydropower adalah energi air yang digunakan untuk menggerakkan komponen mekanik sehingga mengakibatkan perubahan energi potensial menjadi energi mekanik. 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 seperti *large hydro*, *medium hydro*, *small hydro*, *mini hydro*, *micro hydro* dan *pico hydro*. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) memanfaatkan energi potensial air. Semakin tinggi jatuhnya air (*head*) maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik [3].

2.2. Komponen-komponen PLTMH

Beberapa komponen dari suatu sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), meliputi bendungan (*weir*), saluran penyadap (*intake*), saluran pembawa (*headrace*), saluran pelimpah (*spillway*), kolam penenang (*forebay*), pipa pesat (*penstock*), rumah pembangkit (*powerhouse*), saluran pembuang (*tailrace*), generator, sistem kontrol, panel hubung dan lemari hubung, jaringan distribusi, turbin atau kincir air [2].

2.3. Daya dan Efisiensi

Head total aliran air sangat menentukan tipe dari turbin air yang sesuai untuk komponen PLTMH.

$$H_E = (Z_1 - Z_2) + \left(\frac{p_1 - p_2}{\gamma} \right) + \left(\frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} \right) + H_L \quad (1)$$

Dimana :

- Z_1 = head statis permukaan air di bak intake (*m*)
- Z_2 = head statis permukaan air di bak *tailrace* (*m*)
- p_1 = head statis tekanan air bak intake (N/m^2)
- p_2 = head statis tekanan air di bak *tailrace* (N/m^2)
- v_1 = head dinamis kecepatan air di bak intake (m/dt)
- v_2 = head dinamis kecepatan air keluar *tailrace* (m/dt)
- H_E = head total efektif aliran air (*m*)
- H_L = head losses total instalasi *penstock*/perpipaan sistem PLTMH (*m*)

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

$$P_{out} = T \times \omega \quad (2)$$

Dimana :

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

Efisiensi turbin/kincir dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{turbin} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (3)$$

Dimana :

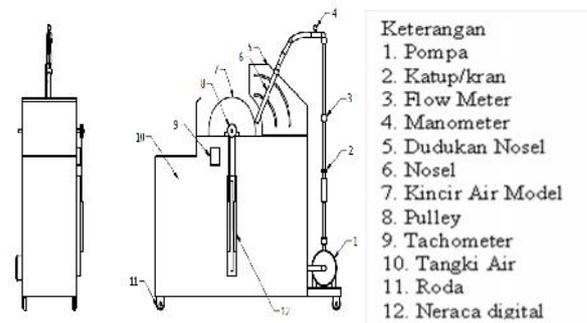
- η_{turbin} = Efisiensi turbin/kincir (%)
- P_{out} = Daya yang dihasilkan turbin/kincir (*watt*)
- P_{in} = Daya teoritis yang tersedia (*watt*)

3. Metode Penelitian

3.1. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah model sistem kincir air sudu lengkung ke belakang, sudu lurus, dan sudu segitiga yang divariasikan sudut sudunya. Model dilengkapi dengan sistem perpipaan dan desain kincir model (skala laboratorium). Model yang telah jadi

diuji secara eksperimental untuk mendapatkan rancangan kincir air yang dapat menghasilkan daya dan putaran tinggi, skala sangat kecil (*picohydro*) namun mudah dibuat, dan diketahui unjuk kerjanya.



Gambar 1. Skema Model Uji Kincir Air (*Picohydro*)

3.2. Peralatan Pengujian

- a. Dirancang dan dibuat sudu (θ) 25° pada model kincir air sudu lurus, sudu (θ) 100° pada model kincir air sudu segitiga, dan sudu (θ) 20° pada model kincir air sudu lengkung ke belakang.
- b. Pipa GIP serta perlengkapannya seperti *water-mur*, *elbow* dan *flange*.
- c. *Flow meter*, untuk mengukur kapasitas aliran
- d. *Neraca Pegas*
- e. *Tachometer*, untuk mengukur besarnya putaran poros turbin.
- f. Dudukan nosel yang berisi pengaturan sudut untuk mengatur sudut masuk fluida kerja ke kincir.

3.3. Lingkup Penelitian

Adapun lingkup penelitian ini adalah pembuatan model kincir air *picohydro* sudu lurus dengan sudut sudu (θ) 25° , sudu segitiga dengan sudut sudu (θ) 100° dan sudu lengkung ke belakang dengan sudut sudu (θ) 20° . Semua sudu yang akan diteliti menggunakan sudut masuk fluida kerja pada $1/3$ (β) kecuali pada kincir sudu lengkung ke belakang menggunakan sudut masuk fluida kerja pada (β). Jenis kerja kincir air yang digunakan adalah jenis *Overshot*. Model diuji secara eksperimental untuk mendapatkan rancangan kincir air yang dapat menghasilkan daya dan putaran tinggi, skala sangat kecil (*picohydro*) namun mudah dibuat, dan diketahui unjuk kerjanya.

3.4. Variabel Penelitian

1. Variabel bebas
 - a. Sudut sudu kincir (θ)
 - b. Sudut sisi masuk air (β)
 - c. Kapasitas air masuk sudu kincir (Q)
2. Variabel terikat
 - a. Daya kincir (P)
 - b. Efisiensi Kincir (η)

3.5 Langkah-langkah Penelitian



Gambar 2. Langkah-Langkah Penelitian

3.6 Prosedur Pelaksanaan

1. Buat dan pasang seluruh instalasi dan perlengkapan sistem PLTA.
2. Isi bak instalasi dengan air bersih.
3. Atur sudut nosel terhadap sudu sesuai dengan yang diuji.
4. Hidupkan pompa untuk mendapatkan data head turbin.
5. Kapasitas aliran (Q_a), yang ditunjukkan oleh *flow meter*.
6. Setting beban (torsi) dengan mengencangkan neraca pegas untuk mendapatkan rpm yang diinginkan.
7. Amati sistem sampai beroperasi stabil.
8. Catat beban yang ditunjukkan neraca. Tulis/tabulasikan data-data tersebut seperti pada Tabel 3.
9. Lakukan pengulangan 3 (tiga) kali untuk setiap pengambilan data pada tiap kapasitas bukaan katup yang diuji.
10. Stop aliran suplai sumber air ke turbin.

11. Hitung daya aliran air sumber (P_{in}).
12. Hitung daya output turbin (P_{out}).
13. Hitung efisiensi turbin (η_t).
14. Buat grafik P_{out} dan η_t .
15. Lakukan analisa data hasil pengujian.

4. Hasil dan Pembahasan

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

- a. Kapasitas aliran air masuk kincir

- $(Q_{max}) = \frac{10 \text{ liter}}{14,8 \text{ detik}} = 0,00067 \text{ m}^3/\text{dt}$
- $(Q_{3/4}) = \frac{10 \text{ liter}}{16,2 \text{ detik}} = 0,00061 \text{ m}^3/\text{dt}$
- $(Q_{2/4}) = \frac{10 \text{ liter}}{18,3 \text{ detik}} = 0,00054 \text{ m}^3/\text{dt}$
- $(Q_{1/4}) = \frac{10 \text{ liter}}{20,6 \text{ detik}} = 0,00048 \text{ m}^3/\text{dt}$

- b. Luas penampang nosel (A) = 0,000232 m^2

- c. Head efektif turbin/ kincir (H_E) dihitung berdasarkan data yang diperoleh dari pengukuran langsung pada alat 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 (contoh rumus menggunakan Q_{max}) :

- Tekanan di titik 2 (p_2) = Tekanan Atmosfir
- Kecepatan di titik 2 (v_2) = $\frac{Q}{A} = \frac{0,00067 \frac{\text{m}^3}{\text{dt}}}{0,000232 \text{ m}^2} = 2,88 \text{ m/dt}$
- Elevasi di titik 2 (Z_2) = 0,35 m

Head efektif turbin/kincir sama dengan head pompa dapat dihitung dengan persamaan :

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

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 :

$$H_E = (z_2 - z_1) + \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}\right) \quad (4)$$

$$H_E = (0,35 - 0) \text{ m} + \left(\frac{(2,88)^2 - 0}{2 \times 9,81}\right) \text{ m}$$

$$= 0,775 \text{ m}$$

- d. Daya yang tersedia (P_{in}) = $\gamma \times Q \times H_E$

$$= 9,810 \text{ N/m}^3 \times 0,00067 \text{ m}^3/\text{dt} \times 0,775 \text{ m}$$

$$= 5,094 \text{ watt}$$

Adapun data hasil pengujian yang telah dilakukan :

Tabel 1. Pengujian Kincir Air Sudu Lengkung pada Sudut Sudu (θ) = 20°

RPM	No	Beban (kg) pada variasi kapasitas bukaan katup			
		Q _{max}	Q _¾	Q _½	Q _¼
60	1	2.160	1.700	1.180	0.375
	2	2.165	1.695	1.170	0.365
	3	2.175	1.710	1.175	0.370
	Rata-rata	2.167	1.701	1.175	0.37
70	1	1.650	1.250	0.855	0.080
	2	1.655	1.240	0.840	0.085
	3	1.645	1.255	0.845	0.075
	Rata-rata	1.65	1.248	0.847	0.08
80	1	1.415	0.875	0.565	0
	2	1.425	0.870	0.565	0
	3	1.420	0.875	0.575	0
	Rata-rata	1.42	0.873	0.568	0

RPM tanpa beban	114	97	88	74
-----------------	-----	----	----	----

Tabel 2. Pengujian Kincir Air Sudu Segitiga pada Sudut Sudu (θ) = 100°

RPM	No	Beban (kg) pada variasi kapasitas bukaan katup			
		Q _{max}	Q _¾	Q _½	Q _¼
60	1	2.045	1.580	1.090	0.175
	2	2.055	1.570	1.095	0.185
	3	2.040	1.575	1.105	0.175
	Rata-rata	2.047	1.575	1.097	0.178
70	1	1.425	1.060	0.635	0
	2	1.425	1.065	0.620	0
	3	1.435	1.065	0.630	0
	Rata-rata	1.428	1.063	0.623	0
80	1	1.175	0.695	0.255	0
	2	1.165	0.700	0.255	0
	3	1.170	0.710	0.250	0
	Rata-rata	1.17	0.701	0.253	0

RPM tanpa beban	107	91	83	67
-----------------	-----	----	----	----

Tabel 3. Pengujian Kincir Air Sudu Lurus pada Sudut Sudu (θ) = 25°

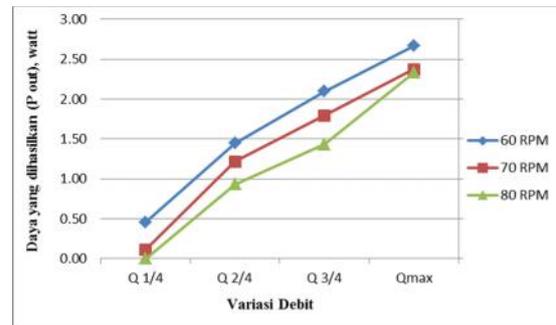
RPM	No	Beban (kg) pada variasi kapasitas bukaan katup			
		Q _{max}	Q _¾	Q _½	Q _¼
60	1	1.715	1.035	0.240	0
	2	1.710	1.035	0.245	0
	3	1.710	1.030	0.245	0
	Rata-rata	1.711	1.033	0.243	0
70	1	0.895	0.445	0.055	0
	2	0.900	0.445	0.050	0
	3	0.885	0.455	0.050	0
	Rata-rata	0.893	0.448	0.051	0
80	1	0.680	0.130	0	0
	2	0.665	0.125	0	0
	3	0.680	0.125	0	0
	Rata-rata	0.675	0.126	0	0

RPM tanpa beban	98	82	72	58
-----------------	----	----	----	----

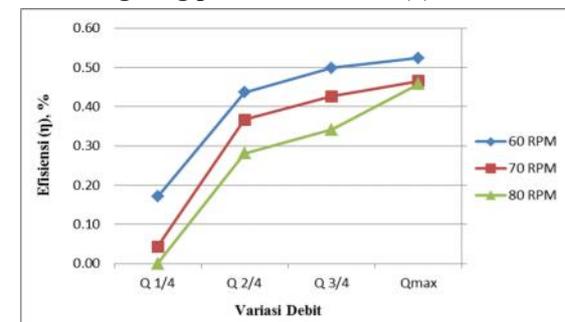
Tabel 4. Daya dan Efisiensi Kincir Air Sudu Lengkung pada Sudut Sudu (θ) = 20°

RPM	Variasi kapasitas bukaan katup (Q)							
	Q _{max}		Q _¾		Q _½		Q _¼	
	Daya (P _{out}), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P _{out}), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P _{out}), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P _{out}), watt	Efisiensi (η), %
60	2.67	52.4	2.1	49.88	1.45	43.55	0.46	17.04
70	2.37	46.36	1.79	47.69	1.27	36.69	0.11	4.29
80	2.33	45.19	1.43	31.14	0.93	28.15	0.00	0

Dari tabel 4. diperoleh grafik hubungan antara putaran kincir dan variasi debit terhadap daya dan efisiensi seperti pada gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Hubungan Antara Putaran Kincir dan Variasi Debit (Q) Terhadap Daya Kincir Air Sudu Lengkung pada Sudut Sudu (θ) = 20°



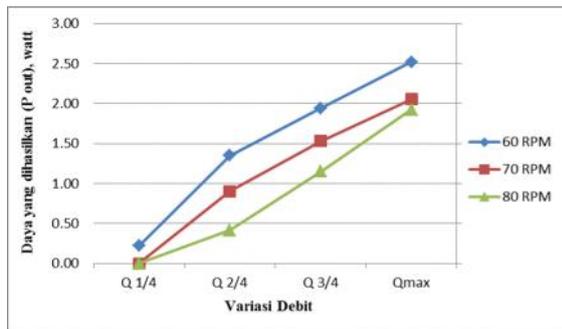
Gambar 4. Hubungan Antara Putaran Kincir dan Variasi Debit (Q) Terhadap Efisiensi Kincir Air Sudu Lengkung pada Sudut Sudu (θ) = 20°

Dari tabel diatas didapatkan daya dan efisiensi kincir air sudu segitiga pada sudut sudu (θ) = 100°

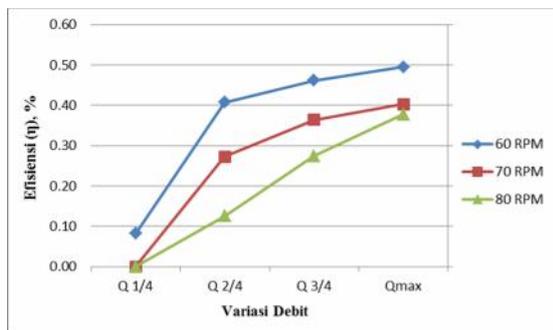
Tabel 5. Daya dan Efisiensi Kincir Air Sudu Segitiga pada Sudut Sudu (θ) = 100°

RPM	Variasi kapasitas bukaan katup (Q)							
	Q _{max}		Q _¾		Q _½		Q _¼	
	Daya (P _{out}), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P _{out}), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P _{out}), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P _{out}), watt	Efisiensi (η), %
60	2.52	49.5	1.94	46.17	1.35	40.74	0.22	8.2
70	2.05	40.3	1.53	36.37	0.90	27.23	0	0
80	1.92	37.73	1.15	27.43	0.42	12.55	0	0

Dari tabel diperoleh gambar 5 dan 6:



Gambar 5. Hubungan Antara Putaran Kincir dan Variasi Debit (Q) Terhadap Daya Kincir Air Sudu Segitiga pada Sudut Sudu (θ) = 100°



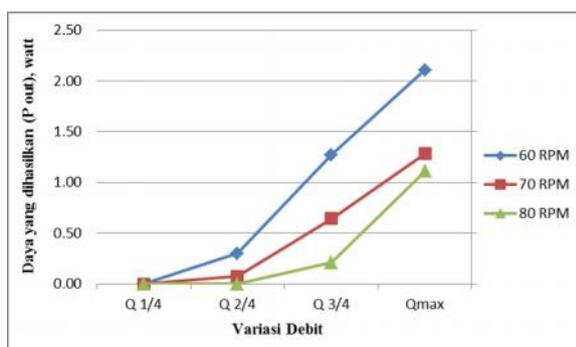
Gambar 6. Hubungan Antara Putaran Kincir dan Variasi Debit (Q) Terhadap Efisiensi Kincir Air Sudu Segitiga pada Sudut Sudu (θ) = 100°

Dari tabel 4.3 didapatkan daya dan efisiensi kincir air sudu lurus pada sudut sudu (θ) = 25° seperti tabel berikut:

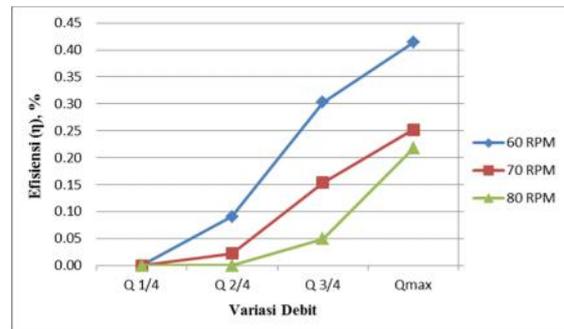
Tabel 6. Daya dan Efisiensi Kincir Air Sudu Lurus pada Sudut Sudu (θ) = 25°

RPM	Variasi kapasitas bukaan katup (Q)							
	Q _{max}		Q _{3/4}		Q _{2/4}		Q _{1/4}	
	Daya (P _{out}), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P _{out}), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P _{out}), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P _{out}), watt	Efisiensi (η), %
60	2.11	41.4	1.27	30.29	0.3	9.04	0.07	0
70	1.28	23.71	0.64	13.33	0.07	2.74	0.00	0
80	1.11	21.77	0.21	4.95	0	0	0.00	0

Dari tabel diperoleh gambar 7 dan 8:

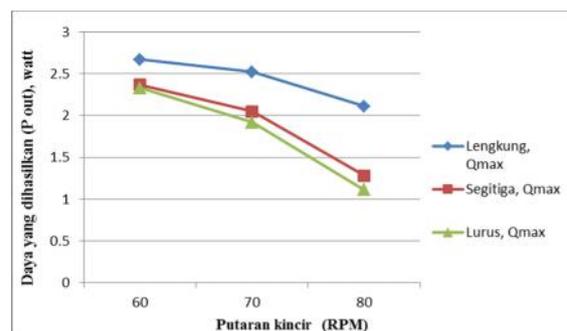


Gambar 7. Hubungan Antara Putaran Kincir dan Variasi Debit (Q) Terhadap Daya Kincir Air Sudu Lurus pada Sudut Sudu (θ) = 25°



Gambar 8. Hubungan Antara Putaran Kincir dan Variasi Debit (Q) Terhadap Efisiensi Kincir Air Sudu Lurus pada Sudut Sudu (θ) = 25°

Dari grafik pada gambar diatas diambil grafik yang memiliki daya yang maksimal kemudian dibuat grafik baru untuk membandingkan daya maksimal pada kapasitas bukaan katup maksimal (Q_{max}) seperti pada gambar 9.



Gambar 9. Hubungan Antara Putaran Kincir dan Variasi Debit (Q) Terhadap Daya Poros yang Dihasilkan

Tabel 1 s/d 6 dan gambar 1 s/d 9 menunjukkan hubungan antara putaran kincir dengan kapasitas bukaan katup pada *picohydro*. Daya dan efisiensi akan naik seiring dengan bertambahnya kapasitas air hingga kapasitas maksimum, selanjutnya terjadi penurunan daya dan efisiensi seiring meningkatnya kecepatan putaran kincir (RPM).

5. Kesimpulan

1. Kincir air sudu lengkung ke belakang yang didesain pada sudut sudu (θ) 20° menghasilkan daya dan performansi terbaik.
2. Pada kapasitas operasional bukaan katup maksimum (Q_{max}) didapatkan daya dan performansi terbaik pada penelitian ini.
3. Performansi kincir air sudu lengkung ke belakang yang didesain pada sudut sudu (θ) 20° menghasilkan daya poros dan efisiensi yang tertinggi pada pengujian dengan menggunakan kapasitas maksimum (Q_{max}) yaitu dengan daya

yang dihasilkan mencapai 2,67 watt dan efisiensi mencapai 52,4 % pada sudut sisi masuk kincir β .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abryan, R., Rinaldi., & Andy, H., 2016, *Pengaruh Sudu-Sudu Pada Model Kincir Air Undershot Untuk Irigasi Pertanian*, Riau, Universitas Riau.
- [2] Unggul, W., Hari, S., Dharmayana, I.G.A., 2014, *Perancangan Kincir Air Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Desa Bendosari Kecamatan Pujon Kabupaten Malang*. Jawa Timur, Universitas Brawijaya.
- [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.



Putu Raditya Wedha Parikrama menyelesaikan studi program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2012 sampai 2019. menyelesaikan studi program sarjana dengan topik penelitian Penentuan Daerah Kerja Kincir Air pada Variasi Desain Sudu dan Kapasitas Operasional.