

# Pengaruh Sudut Masuk Terhadap Performansi Kincir Air Piko Hidro Yang Dioperasikan Secara Undershot

Yoel Lodewijk, A. A. Adhi Suryawan, Ni Made Dwidiani  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Kincir air piko hidro merupakan salah satu teknologi Hydro Power skala kecil yang mendapatkan energi dari air yang mengalir. Pemanfaatan kincir air ini dilihat dari aliran airnya, yaitu: overshoot, breastshot, serta undershot. Pada penelitian ini dirancang sistem aliran undershot dengan kincir air sudu segitiga serta variasi yang digunakan ialah kincir air sudu  $(\theta) = 70^\circ$  dengan sudut masuk fluida kerja  $(\beta) 50^\circ$ , sudu  $(\theta) = 80^\circ$  dengan sudut masuk fluida kerja  $(\beta) 52^\circ$ , sudu  $(\theta) = 90^\circ$  dengan sudut masuk fluida kerja  $(\beta) 54^\circ$ , sudu  $(\theta) = 100^\circ$  dengan sudut masuk fluida kerja  $(\beta) 56^\circ$ , dan sudu  $(\theta) = 110^\circ$  dengan sudut masuk fluida kerja  $(\beta) 59^\circ$ , pada kecepatan putaran (rpm) 40 rpm, 50 rpm, 60 rpm, 70 rpm, dan 80 rpm, serta variasi sudut masuk fluida kerja  $(\beta) = 0^\circ, 1/3 \beta, 2/3 \beta, \text{ dan } \beta$ . Data hasil pengujian yang dilakukan berupa head efektif kincir ( $H_E$ ) dan efisiensi kincir (%). Berdasarkan hasil penelitian performansi kincir air sudu segitiga yang dioperasikan secara undershot pada sudut sudu  $(\theta) 90^\circ$  menggunakan kapasitas maksimum ( $Q_{max}$ ) menghasilkan daya poros terbesar senilai 2,309 watt, dan efisiensi terbesar senilai sebesar 43% pada sudut masuk fluida kerja  $(\beta) = 0^\circ$

Kata kunci: kincir air, undershot, variasi sudu, performansi

## Abstract

The Pico Hydro Waterwheel is one of the small-scale Hydro Power technologies that gets energy from the flow of the water. The utilization of this water mill is based on the water flow system, namely: overshoot, breastshot, and undershot. In this study applied the undershot flow system with triangular blade of water and the variation used is blade angle waterwheel  $(\theta) = 70^\circ$  with the working angle of fluid  $(\beta) 50^\circ$ , blade angle  $(\theta) = 80^\circ$  with fluid inlet work  $(\beta) 52^\circ$ , blade angle  $(\theta) = 90^\circ$  with the working fluid  $(\beta) 54^\circ$  entry angle, blade angle  $(\theta) = 100^\circ$  with the working fluid  $(\beta)$  entry angle  $56^\circ$ , and blade angle  $(\theta) = 110^\circ$  with the entry angle of working fluid  $(\beta) 59^\circ$  at the rotation speed (rpm) 40, 50, 60, 70, 80, and variations in the input angle of working fluid  $(\beta) = 0^\circ, 1/3 \beta, 2/3 \beta, \beta$ . The results of the test data are in the form of an effective head wheel ( $H_E$ ) and mill efficiency (%). Based on the result of the performance research of triangular waterwheels which are operated undershotly at the blade angle  $(\theta) 90^\circ$  using maximum capacity ( $Q_{max}$ ) it produces the largest axle power of 2,309 watts, and the greatest efficiency is 43% at the input fluid working angle  $(\beta) = 0^\circ$  compared to other waterwheels.

Keywords: waterwheel, undershot, variation of blade, performance

## 1. Pendahuluan

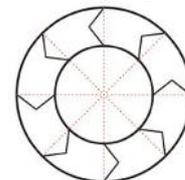
Dalam kehidupannya, kebutuhan energi manusia selalu mengalami peningkatan setiap tahunnya seiring dengan kemajuan teknologi baik pada sektor industri maupun rumah tangga [1]. Salah satu energi yang paling utama dibutuhkan manusia ialah energi listrik. Kebutuhan manusia dalam konsumsi energi listrik akan kian meningkat karena energi listrik itu sendiri hakikatnya tidak bisa lepas dalam kehidupan manusia mulai dari bidang teknologi, ekonomi, sosial dan budaya manusia. Kebanyakan energi yang digunakan berasal dari energi yang tidak terbarukan atau non renewable energy (batu bara, gas alam, minyak bumi) yang akan habis karena tidak memiliki persediaan atau cadangan.

Untuk mengatasi menipisnya non renewable energy dengan meningkatnya permintaan pasokan, maka penggunaan energi listrik harus diganti sumbernya dari yang tidak terbarukan menjadi terbarukan. Hydro Power merupakan salah satu dari energi yang dapat diperbaharui serta sangat berpotensi untuk dikembangkan di Indonesia, terutama di Bali karena memiliki banyak sungai dan saluran irigasi yang tentunya dapat mendukung

sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro serta dapat mengatasi masalah kekurangan pasokan listrik khususnya bagi masyarakat di pedesaan yang jauh dari akses pelayanan PLN.

Komponen Piko Hidro antara lain air, turbin, dan generator. Ini bisa dimanfaatkan oleh manusia untuk penggunaan energi alternatif yang lebih ekonomis dan tidak terlalu membahayakan bagi lingkungan sekitar manusia.

Budiartawan (2017) telah membuat kincir air dan mengujinya dengan bentuk sudu segitiga 100 derajat menghasilkan efisiensi sebesar 27,1% lebih besar dibandingkan dengan sudu segitiga lainnya [2]



**Gambar 1. Kincir air dengan sudu segitiga**

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian dari desain kincir air sudu segitiga yang dioperasikan secara undershot agar mendapatkan desain sudu yang

optimal serta mudah dalam pembuatannya dan dengan harga yang terjangkau.

Adapun permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah :

1. Desain rancangan kincir sudu sudu segitiga mana yang bisa menghasilkan efisiensi atau daya yang paling baik untuk pembangkit listrik skala kecil yang mudah dibuat?
2. Posisi kincir *undershot* mana yang bisa menghasilkan peromansi dengan maksimal?

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Kincir air yang diuji adalah kincir air dengan sudu segitiga.
2. Variasi sudut sudu ( $\theta$ ) yang digunakan yaitu  $\theta = 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ, 100^\circ, 110^\circ$ .

## 2. Dasar Teori

### 2.1.1 Pengertian Umum

Energi listrik yang kebanyakan dimanfaatkan dari air bukanlah hal yang baru lagi. pengkonversian energi dari air merupakan energi potensial dan kinetik relatif terhadap permukaan air tersebut. Energi tersebut dapat diciptakan dengan menggunakan bantuan turbin serta generator.

### 2.1.2 Klasifikasi

Beberapa klasifikasi kincir air bisa kita tentukan dilihat dari arah aliran atau berdasarkan titik tembakkan air itu mengalir:

#### 1. Undershot

Merupakan tipe kincir air yang dimana aliran pendorong airnya menghantam pada sudu bagian bawah.

#### 2. Breastshot

Merupakan tipe Kincir air dimana aliran pendorong airnya menghantam pada sudu bagian samping.

#### 3. Overshot

Merupakan tipe Kincir air dimana aliran pendorong airnya menabrak pada sudu bagian atas.

### 2.2. Daya dan Efisiensi

Pada komponen PLTPH, Head aliran akan sangat sberguna untuk mengidentifikasi jenis turbin air yang paling sesuai. *Head total* adalah jumlah dari head statis dan dinamis, serta *head losses* yang teridentifikasi pada saluran/pipa.

$$H_E = (Z_1 - Z_2) + \left(\frac{P_1 - P_2}{\gamma}\right) + \left(\frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}\right) + H_L \quad (1)$$

Untuk daya toritis yang tersedia:

$$P_a = \gamma \cdot Q \cdot H_E \quad (2)$$

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

$$P_s = T \cdot \omega = T \times \frac{2\pi n}{60} \quad (3)$$

Dimana:

$P_s$  = Daya yang dihasilkan (Watt)

$T$  = Torsi (Nm)

= Kecepatan sudut (rad/det)

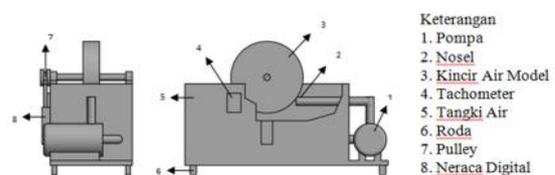
$n$  = Putaran (rpm)

## 3. Metode Penelitian

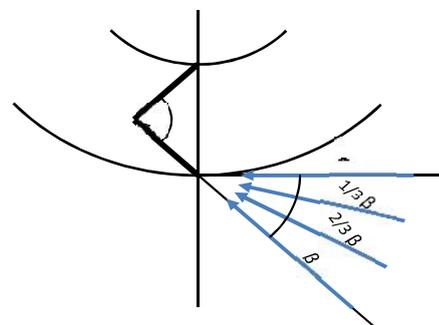
### 3.1 Rancang Penelitian

Pada pengujian secara eksperimental, desain model sistem kincir air yang digunakan ialah model kincir air (skala laboratorium) dengan sudu segitiga, yang memiliki variasi sudu segitiga dengan sudut sudu ( $\theta$ )  $70^\circ, 80^\circ, 90^\circ, 100^\circ, \text{ dan } 110^\circ$  Rancangan desain kincir air sudu segitiga ini diuji secara eksperimental untuk mendapatkan desain kincir air sudu sudu segitiga yang dapat menghasilkan daya dan efisiensi tinggi.

Gambar 2 merupakan desain model uji kincir air skala kecil (*picohydro*) yang dirancang agar menyerupai kondisi aktual operasional di lapangan .



Gambar 2. Skema model uji kincir air



Gambar 3. Variasi sudut sisi masuk fluida kerja

Gambar 3 merupakan variasi sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ ) dengan nilai  $\beta$  sesuai dengan masing-masing sudu.

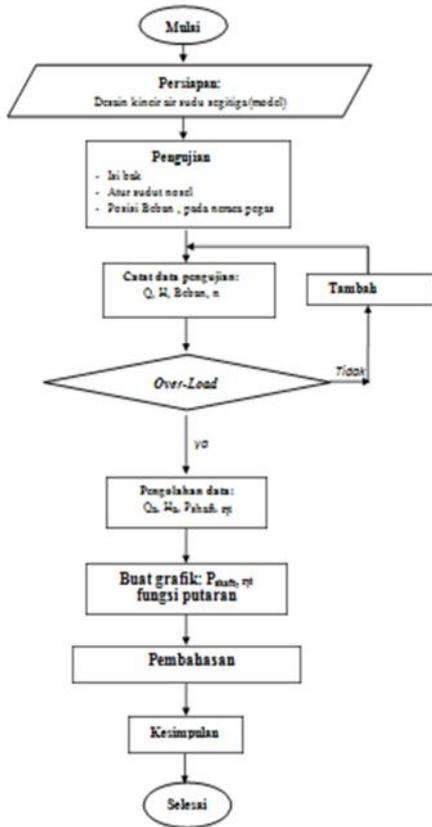
### 3.2. Peralatan Pengujian

Alat dan bahan yang digunakan pada saat pengujian antara lain:

- a. Rancangan kincir air segitig 5 variasi sudut sudu ( ) yaitu  $70^\circ, 80^\circ, 90^\circ, 100^\circ, \text{ dan } 110^\circ$  serta lengkap dengan bak uji PLTPH
- b. Pipa GIP beserta atribut perlengkapannya seperti *water-mur, elbow, dan flange*
- c. *Flow* meter, digunakan untuk mengukur kapasitas aliran
- d. Neraca Pegas

- e. *Tachometer*, digunakan untuk mengukur besarnya putaran poros turbin
- f. Dudukan nosel yang dapat diatur sudut nosel terhadap sudu kincir.

### 3.3 Langkah-langkah Penelitian



Gambar 4. Langkah-langkah percobaan

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Hasil

Berdasarkan pengujian kincir air sudu segitiga yang telah dilakukan, berikut merupakan data hasil:

- a. Kapasitas aliran masuk kincir konstan  
 $Q = \frac{10 \text{ liter}}{14,3 \text{ detik}} = 0,69 = 0,7 \text{ liter/detik} = 0,0007 \text{ m}^3$
- b. Luas penampang nosel (A) = 0,000232 m<sup>2</sup>
- c. Head efektif kincir (H<sub>E</sub>)

Referensi titik 1 pada permukaan air (bak penampung)

- Tekanan di titik 1 (P1) = Tekanan atmosfer
- Kecepatan di titik 1 (V1) = 0
- Elevasi di titik 1 (Z1) = 0

Referensi titik 2 di titik keluar fluida (ujung nosel)

- Tekanan di titik 2 (P2) = Tekanan atmosfer
- Kecepatan di titik 2 (V2) =  $\frac{Q}{A} = \frac{0,0007 \text{ m}^3/\text{dt}}{0,000232 \text{ m}^2} = 3,02 \text{ m/dt}$
- Elevasi di titik 2 (z2) = 0,32 m

Head efektif kincir (H<sub>E</sub>)

$$H_E = (Z_2 - Z_1) - \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma}\right) + \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}\right) - H_L$$

Karena P1 dan P2 sama, maka  $\left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma}\right) = 0$

$$H_E = (Z_2 - Z_1) - \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}\right) - H_L$$

$$H_E = (0,32 - 0) + \left(\frac{3,02^2 - 0}{2 \cdot 9,81}\right) - H_L = 0,784 - H_L$$

Mencari nilai *Head Loss* = H<sub>L</sub> Mayor + H<sub>L</sub> Minor

$$H_L \text{ Mayor} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

$$= \frac{0,0015 \text{ mm}}{26 \text{ mm}} = 0,0000576923 = 0,00006$$

$$Re = \frac{V \cdot D}{\mu} = \frac{3,02 \times 0,026}{1,567 \times 10^{-6}} = 5,01110^4 = 0,5011 \times 10^5$$

Dengan menggunakan nilai *f* dan nilai *Re* pada diagram *moody*, didapatkan nilai *f* = 0,0017

$$H_L \text{ Mayor} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

$$= 0,017 \times \frac{0,52}{0,026} \times \frac{3,02^2}{2 \cdot 9,81} = 0,015 \text{ m}$$

Terdapat dua jenis nilai *K*: *K* 90° = 0,9, dan *Ball Valve* = 0,05

$$H_L \text{ Minor} = K \times \frac{v^2}{2g} = (0,05 + 0,9) \times \frac{3,02^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$= 0,95 \cdot 0,464 = 0,441005 \text{ m}$$

$$H_L \text{ Total} = H_L \text{ Mayor} + H_L \text{ Minor}$$

$$= 0,95 + 0,441$$

$$= 0,456 \text{ m}$$

$$\text{Head Kincir} = 0,784 \text{ m} - 0,456 \text{ m}$$

$$= 0,328 \text{ m}$$

### 4.2 Pembahasan

#### 4.2.1 Performansi Kincir Air Sudu Segitiga pada sudut sudu (θ) = 70°

Dilihat dari persamaan (3) yang digunakan untuk menghitung daya yang dihasilkan kincir sebagai berikut (diambil contoh data pengujian pada kincir sudu segitiga pada sudut sudu (θ) = 70° dan sudut masuk fluida kerja (β) = 0° pada putaran 20 rpm)

$$P_{\text{out}} = m \times g \times r \times \frac{2\pi n}{60} = 0,406 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/dt}^2 \times 0,02 \text{ m} \times \left(\frac{2 \times 3,14 \times 20 \text{ rpm}}{60}\right) = 0,334 \text{ watt}$$

$$\text{Efisiensi Kincir } (\eta \text{ turbin}) = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}$$

$$= \frac{0,334}{2,252} = 0,1484 = 14,84 \%$$

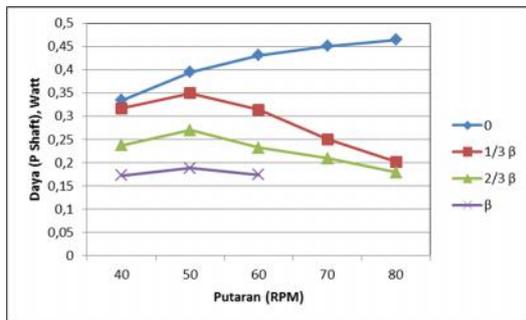
Dengan menggunakan perhitungan yang sama pada masing-masing sudut sudu (θ) dan sudut masuk fluida (β), serta dengan menggunakan program *microsoft excel* untuk pengolahan data, nilai daya dan

efisiensi kerja kincir air sudu segitiga pada sudut  $70^\circ$  seperti pada tabel berikut.

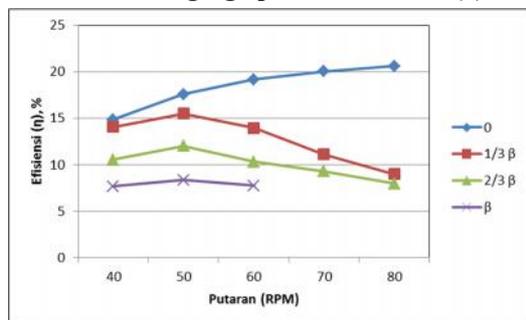
**Tabel 1. Daya dan Efisiensi kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta$ ) =  $70^\circ$**

RPM	Sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ )							
	$0^\circ$		$1/3^\circ \beta$		$2/3^\circ \beta$		$\beta$	
	Daya (P out), watt	Efisiensi ( $\eta$ ), %	Daya (P out), watt	Efisiensi ( $\eta$ ), %	Daya (P out), watt	Efisiensi ( $\eta$ ), %	Daya (P out), watt	Efisiensi ( $\eta$ ), %
40	0,334	14,84	0,317	14,07	0,237	10,53	0,172	7,66
50	0,395	17,56	0,349	15,5	0,27	12,01	0,188	8,35
60	0,431	19,15	0,314	13,96	0,232	10,32	0,174	7,74
70	0,451	20,05	0,25	11,11	0,209	9,31	0	0
80	0,464	20,61	0,202	8,99	0,179	7,96	0	0

Dari tabel 1 didapatkan grafik hubungan antara putaran kincir air dan sudut masuk fluida kerja terhadap daya dan efisiensi seperti pada gambar 5 dan gambar 6.



**Gambar 5. Hubungan antara putaran kincir dan sudut masuk fluida kerja ( $\beta = 50^\circ$ ) terhadap daya kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta$ ) =  $70^\circ$**

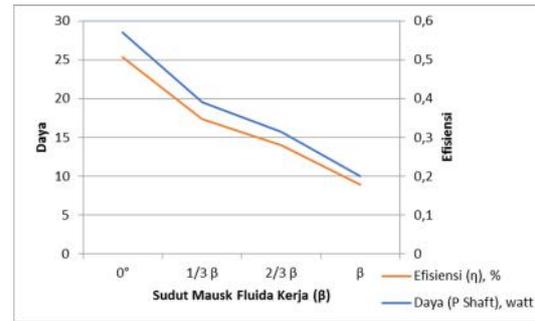


**Gambar 6. Hubungan antara putaran kincir dan sudut masuk fluida kerja ( $\beta = 50^\circ$ ) terhadap efisiensi kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta$ ) =  $70^\circ$**

**Tabel 2. Nilai Daya dan Efisiensi maksimum pada masing-masing variasi Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ ) Sudut sudu ( $\theta$ ) =  $70^\circ$**

Sudut Sudu $70^\circ$		
Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ )	Daya (P Shaft), watt	Efisiensi ( $\eta$ ), %
$0^\circ$	0,464	20,61
$1/3$	0,349	15,5
$2/3$	0,27	12,01
$\beta$	0,188	8,35

Pada tabel diatas diambil nilai Daya dan Efisiensi yang paling baik dari masing-masing variasi Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ ) dan dibuatkan grafik perbandingan seperti pada gambar 7 berikut.



**Gambar 7. Nilai Daya dan Efisiensi paling baik dari masing-masing Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ ) kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta$ ) =  $70^\circ$**

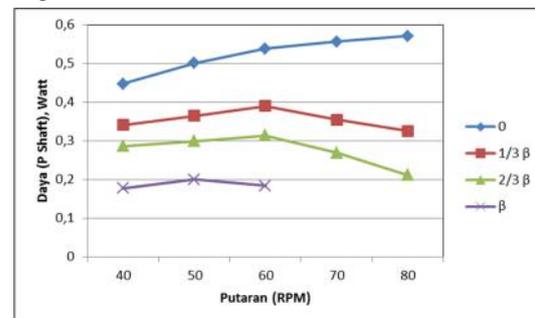
#### 4.2.2 Performansi Kincir Air Sudu Segitiga pada sudut sudu ( $\theta$ ) = $80^\circ$

Dari tabel pengujian didapatkan daya dan efisiensi kincir air sudu segitiga pada sudut sudu  $80^\circ$  seperti pada tabel berikut.

**Tabel 3. Daya dan Efisiensi kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta$ ) =  $80^\circ$**

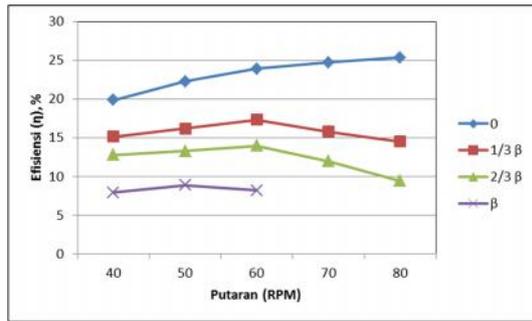
RPM	Sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ )							
	$0^\circ$		$1/3^\circ \beta$		$2/3^\circ \beta$		$\beta$	
	Daya (P out), watt	Efisiensi ( $\eta$ ), %	Daya (P out), watt	Efisiensi ( $\eta$ ), %	Daya (P out), watt	Efisiensi ( $\eta$ ), %	Daya (P out), watt	Efisiensi ( $\eta$ ), %
40	0,447	19,86	0,341	15,16	0,287	12,78	0,178	7,92
50	0,501	22,28	0,365	16,21	0,299	13,3	0,2	8,9
60	0,538	23,91	0,39	17,31	0,314	13,96	0,184	8,2
70	0,556	24,72	0,355	15,78	0,269	11,97	0	0
80	0,571	25,35	0,326	14,5	0,212	9,44	0	0

Dari tabel 3 didapatkan grafik hubungan antara putaran kincir air dan sudut masuk fluida kerja terhadap daya dan efisiensi seperti pada gambar 8 dan gambar 9.

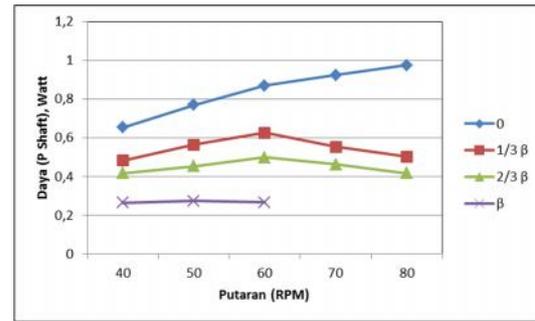


**Gambar 8. Hubungan antara putaran kincir dan sudut masuk fluida kerja ( $\beta = 52^\circ$ ) terhadap daya kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta$ ) =  $80^\circ$**

Pada tabel diatas diambil nilai Daya dan Efisiensi yang paling baik dari masing-masing variasi Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ ) dan dibuatkan grafik perbandingan seperti pada gambar 10.



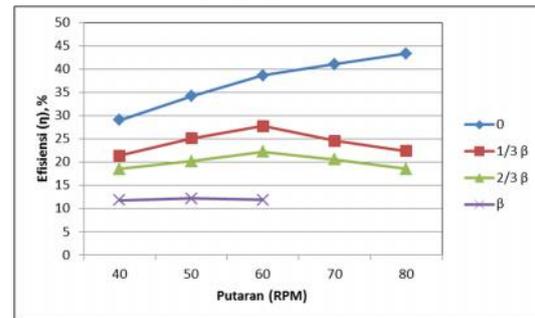
Gambar 9. Hubungan antara putaran kincir dan sudut masuk fluida kerja ( $\beta = 52^\circ$ ) terhadap efisiensi kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta = 80^\circ$ )



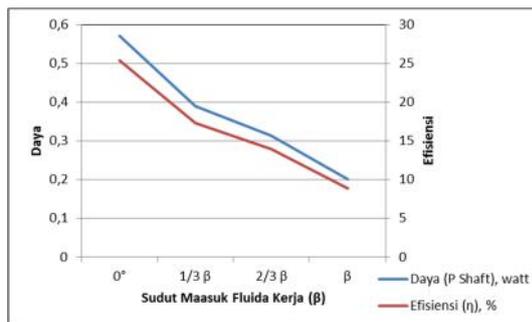
Gambar 11. Hubungan antara putaran kincir dan sudut masuk fluida kerja ( $\beta = 54^\circ$ ) terhadap daya kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta = 90^\circ$ )

Tabel 4. Nilai Daya dan Efisiensi maksimum pada masing-masing variasi Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ ) Sudut sudu ( $\theta = 80^\circ$ )

Sudut Sudu $80^\circ$		
Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ )	Daya (P Shaft), watt	Efisiensi ( $\eta$ ), %
$0^\circ$	0,571	23,35
1/3	0,39	17,31
2/3	0,314	13,96
$\beta$	0,2	8,9



Gambar 12. Hubungan antara putaran kincir dan sudut masuk fluida kerja ( $\beta = 54^\circ$ ) terhadap efisiensi kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta = 90^\circ$ )



Gambar 10. Nilai Daya dan Efisiensi paling baik dari masing-masing Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ ) kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta = 80^\circ$ )

Tabel 6. Nilai Daya dan Efisiensi maksimum pada masing-masing variasi Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ ) Sudut sudu ( $\theta = 90^\circ$ )

Sudut Sudu $90^\circ$		
Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ )	Daya (P Shaft), watt	Efisiensi ( $\eta$ ), %
$0^\circ$	0,974	43,29
1/3	0,625	27,77
2/3	0,499	22,19
$\beta$	0,273	12,16

#### 4.2.3 Performansi Kincir Air Sudu Segitiga pada sudut sudu ( $\theta = 90^\circ$ )

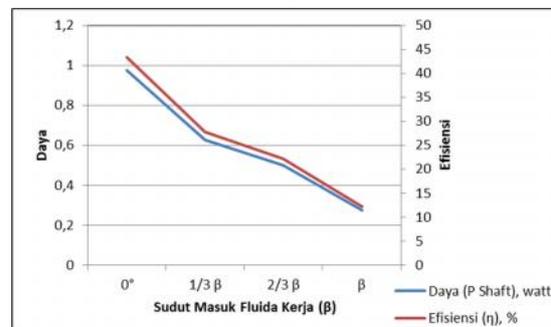
Dari tabel pengujian didapatkan daya dan efisiensi kincir air sudu segitiga pada sudut sudu  $90^\circ$  seperti pada tabel berikut.

Tabel 5. Daya dan Efisiensi kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta = 90^\circ$ )

RPM	Sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ )							
	$0^\circ$		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 ( $\eta$ ), %
40	0,654	29,05	0,482	21,42	0,417	18,53	0,265	11,77
50	0,769	34,15	0,564	25,06	0,454	20,16	0,273	12,16
60	0,87	38,66	0,625	27,77	0,499	22,19	0,266	11,84
70	0,924	41,03	0,553	24,6	0,463	20,56	0	0
80	0,974	43,29	0,503	22,34	0,417	18,53	0	0

Dari tabel 5 didapatkan grafik hubungan antara putaran kincir air dan sudut masuk fluida kerja terhadap daya dan efisiensi seperti pada gambar 11 dan gambar 12.

Pada tabel diatas diambil nilai Daya dan Efisiensi yang paling baik dari masing-masing variasi Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ ) dan dibuatkan grafik perbandingan seperti pada gambar 13 berikut.



Gambar 13. Nilai Daya dan Efisiensi paling baik dari masing-masing Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ ) kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta = 90^\circ$ )

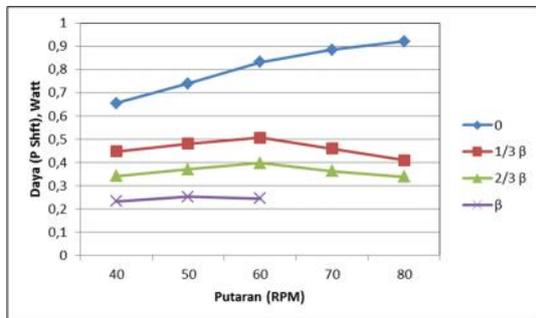
#### 4.2.4 Performansi Kincir Air Sudu Segitiga pada sudut sudu ( $\theta$ ) = $100^\circ$

Dari tabel percobaan didapatkan daya dan efisiensi kincir air sudu segitiga pada sudut sudu  $100^\circ$  seperti pada tabel berikut.

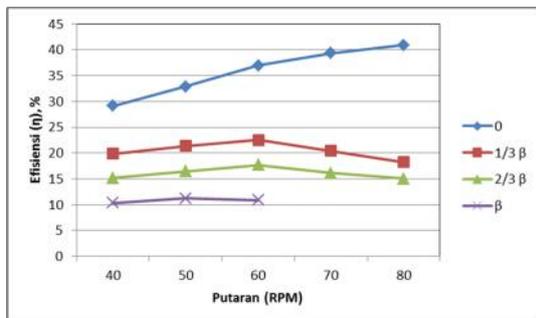
Tabel 7. Daya dan Efisiensi kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta$ ) =  $100^\circ$

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 ( $\eta$ ), %		
40	0,655	29,12	0,447	19,85	0,341	15,18	0,232	10,3
50	0,739	32,85	0,48	21,33	0,37	16,46	0,252	11,22
60	0,831	36,92	0,507	22,54	0,398	17,71	0,245	10,89
70	0,885	39,33	0,459	20,41	0,362	16,1	0	0
80	0,921	40,93	0,41	18,23	0,338	15,05	0	0

Dari tabel 7 didapatkan grafik hubungan antara putaran kincir air dan sudut masuk fluida kerja terhadap daya dan efisiensi seperti pada gambar 14 dan gambar 15.



Gambar 14. Hubungan antara putaran kincir dan sudut masuk fluida kerja ( $\beta = 56^\circ$ ) terhadap daya kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta$ ) =  $100^\circ$



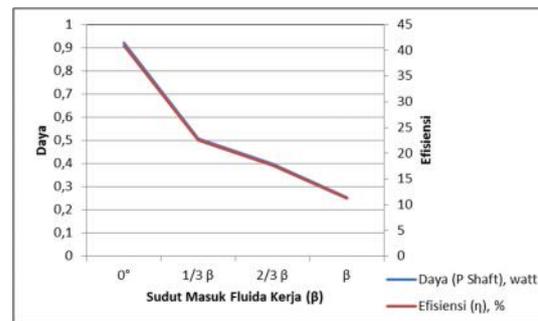
Gambar 15. Hubungan antara putaran kincir dan sudut masuk fluida kerja ( $\beta = 56^\circ$ ) terhadap efisiensi kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta$ ) =  $100^\circ$

Tabel 8. Nilai Daya dan Efisiensi maksimum pada masing-masing variasi Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ ) Sudut sudu ( $\theta$ ) =  $100^\circ$

Sudut Sudu $100^\circ$		
Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ )	Daya (P Shaft), watt	Efisiensi ( $\eta$ ), %
0°	0,921	40,93
1/3	0,507	22,54
2/3	0,398	17,71
$\beta$	0,252	11,22

Pada tabel diatas diambil nilai Daya dan Efisiensi yang paling baik dari masing-masing variasi Sudut

Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ ) dan dibuatkan grafik perbandingan seperti pada gambar 16 berikut.



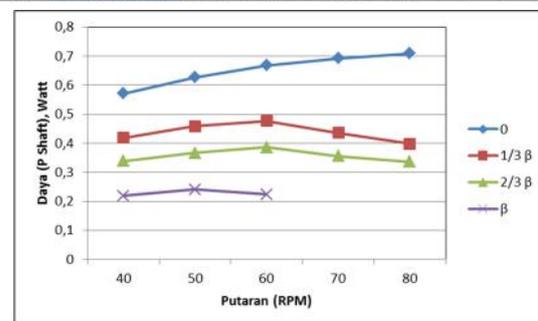
Gambar 16. Nilai Daya dan Efisiensi paling baik dari masing-masing Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ ) kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta$ ) =  $100^\circ$

#### 4.2.5 Performansi Kincir Air Sudu Segitiga pada sudut sudu ( $\theta$ ) = $110^\circ$

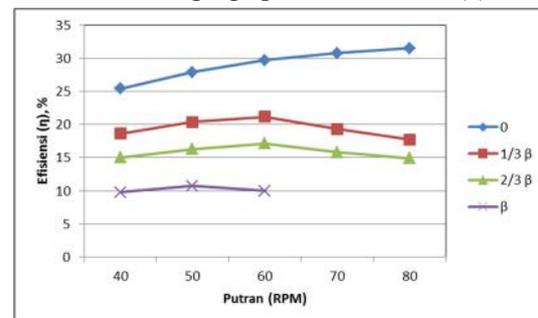
Dari tabel pengujian didapatkan daya dan efisiensi kincir air sudu segitiga pada sudut sudu  $100^\circ$  seperti pada tabel berikut.

Tabel 9. Daya dan Efisiensi kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta$ ) =  $110^\circ$

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 ( $\eta$ ), %
40	0,571	25,4	0,410	18,63	0,338	15,03	0,219	9,76
50	0,627	27,87	0,458	20,37	0,366	16,28	0,241	10,74
60	0,668	29,7	0,476	21,16	0,386	17,15	0,224	9,99
70	0,692	30,74	0,435	19,32	0,355	15,8	0	0
80	0,709	31,49	0,398	17,71	0,336	14,92	0	0



Gambar 17. Hubungan antara putaran kincir dan sudut masuk fluida kerja ( $\beta = 59^\circ$ ) terhadap daya kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta$ ) =  $110^\circ$



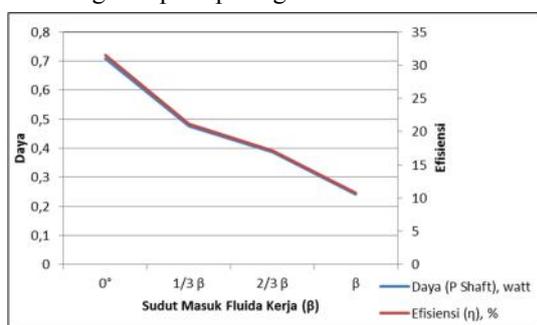
Gambar 18. Hubungan antara putaran kincir dan sudut masuk fluida kerja ( $\beta = 59^\circ$ ) terhadap efisiensi kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta$ ) =  $110^\circ$

Dari tabel 9 didapatkan grafik hubungan antara putaran kincir air dan sudut masuk fluida kerja terhadap daya dan efisiensi seperti pada gambar 17 dan gambar 18.

**Tabel 10. Nilai Daya dan Efisiensi maksimum pada masing-masing variasi Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ ) Sudut sudu ( $\theta$ ) = 110°**

Sudut Sudu 110°		
Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ )	Daya (P Shaft), watt	Efisiensi ( $\eta$ ), %
0°	0,709	31,49
1/3	0,476	21,16
2/3	0,386	17,15
$\beta$	0,241	10,74

Pada tabel diatas diambil nilai Daya dan Efisiensi yang paling baik dari masing-masing variasi Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ ) dan dibuatkan grafik perbandingan seperti pada gambar 19 berikut



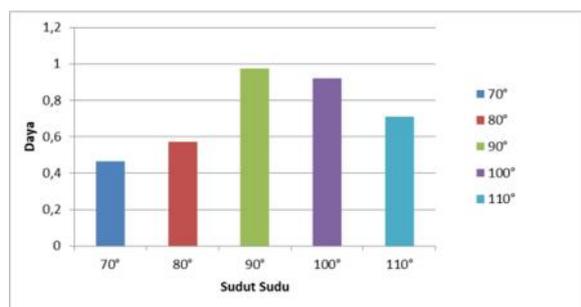
**Gambar 19. Nilai Daya dan Efisiensi paling baik dari masing-masing Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ ) kincir air sudu segitiga pada sudut sudu ( $\theta$ ) = 110°**

#### 4.3 Perbandingan Perfomansi Kincir Air Sudu Segitiga

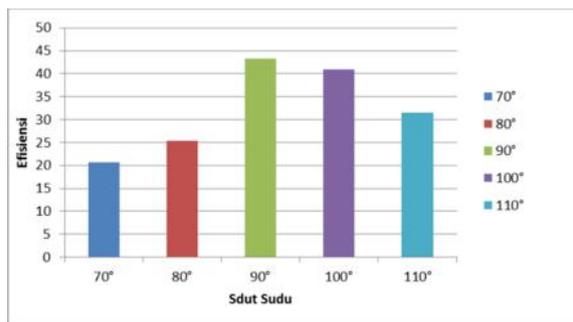
Berdasarkan hasil peneitian yang telah dilakukan, dapat ditampilkan perbandingan perfomansi kincir air piko hidro yang dioperasikan secara undershot.

**Tabel 11. Perbandingan daya dan efiesni maksimum tiap sudu**

No	Sudut Sudu ( $\theta$ )	Sudut Masuk Fluida Kerja ( $\beta$ )	RPM	Daya (Watt)	Efisiensi (%)
1	70°	0°	80	0,464	20,61
2	80°	0°	80	0,571	25,35
3	90°	0°	80	0,87	38,66
4	100°	0°	80	0,921	40,93
5	110°	0°	80	0,709	31,49

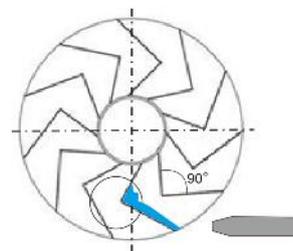


**Gambar 20. Perbandingan Daya dari setiap sudu**



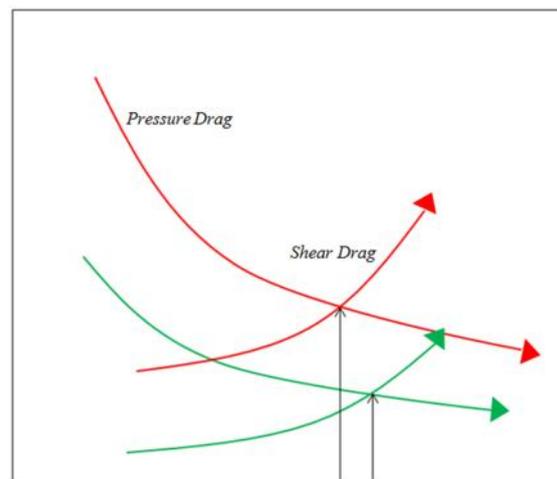
**Gambar 21. Perbandingan Efisiensi dari setiap sudu segitiga**

Ditampilkan grafik diagram 20 dan grafik diagram 21 berdasarkan tabel 11 terjadi peningkatan daya dan efisiensi hingga mencapai titik maksimum pada sudut sudu ( $\theta$ ) = 90°, dengan sudut masuk fluida kerja ( $\beta$ ) = 0°, dan dengan rpm = 80 memiliki nilai daya dan efisiensi tertinggi dibandingkan dengan sudut sudu lain.



**Gambar 22. Kincir 90°**

Dapat dilihat dari gambar 22 Untuk daya dan efisiensi yang paling optimal berdasarkan tabel 11 dihasilkan oleh kincir air dengan sudut sudu ( $\theta$ ) = 90°, hal ini dikarenakan arah sudut nosel sama dengan arah tangensial kincir (memanfaatkan pressure drag / impuls lebih maksimal).



**Gambar 23. Perbandingan drag force antara sudut 90° dengan 110°**

Kincir tipe ini termasuk turbin impuls, sehingga dalam proses konversinya terbentuk berupa pressure drag dan shear drag. Bahwa pemanfaatan drag pada sudut 0° akan menunjukan indikasi seperti gambar 23. apabila pressure drag turun, maka shear

drag akan meningkat. Demikian pula faktor ruang antar sudu memberi pengaruh cukup besar terhadap daya output (untuk  $\theta = 70^\circ$ ) karena meningkatnya kerugian energi akibat celah antar sudu yang sempit, yang mana akan diikuti oleh meningkatnya kerugian gesekan. Untuk  $\theta = 110^\circ$  terjadi penurunan daya output, hal ini terjadi sebaliknya daripada  $\theta = 70^\circ$ , besarnya celah antar sudu akan mengakibatkan meningkatnya kerugian volumetris pada kincir. Pada sudut  $90^\circ$  dan  $110^\circ$  terjadi selisih dikarenakan pada sudut  $110^\circ$  ada penurunan oleh efek pengereman yang mana disebabkan volumetris loss berdasarkan dari luasan area antar sudu yang bisa dilihat pada gambar 22.

Hal ini mengindikasikan bahwa untuk kincir tipe *impuls*, daya yang mampu dibandingkan tergantung daripada *drag* tekanan dan *drag* geser.

## 5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari hasil pengujian kincir air sudu segitiga yang dioperasikan secara undershot dengan variasi sudut sudu, sudut masuk fluida kerja dengan mengukur kecepatan putaran dan beban yaitu:

- Rancangan sudut sudu kincir air sudu segitiga yang dapat menghasilkan daya dan efisiensi tertinggi pada kecepatan putaran 80 rpm karena pada kecepatan ini merupakan putaran tertinggi, sudut masuk fluida kerja ( $\theta$ ) =  $0^\circ$  dan pada posisi ini tembakan air / nosel tepat mengenai sebagian besar dinding sudu sehingga sedikit fluida yang terbuang (*loss*)
- Kincir air sudu segitiga yang menghasilkan performansi tertinggi yaitu dengan sudut sudu  $90^\circ$  yang menghasilkan efisiensi sebesar 43,2% dibandingkan dengan sudut sudu lainnya.

## Daftar Pustaka

- [1] Mariawan, N., 2017, *Pengaruh Variasi Sudut sudu Lurus Terhadap Performansi Kincir Air Piko Hidro*, Bukit Jimbaran, Universitas Udayana
- [2] Budiartawan, K., 2017, *Pengaruh Variasi Sudut Sudu Segitiga Terhadap Performansi Kincir Air Piko Hidro*, Bukit Jimbaran, Universitas Udayana.



**Yoel Lodewijk** menyelesaikan studi program sarjana di Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2015 sampai 2019. Ia menyelesaikan studi dengan topik penelitian Pengaruh Sudut Masuk Terhadap Performansi Kincir Air Piko Hidro Yang Dioperasikan Secara Undershot. Area penelitian yang diminati adalah Konversi Energi.