

Pengaruh Aliran Separasi Pada Sudu Lurus Terhadap Performa Kerja Kincir Air

Kadek Krisna Jaya Putra, A.A Adhi Suryawan, Ni Made Dwidiani
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Kincir air merupakan suatu komponen yang memanfaatkan aliran air untuk memutar sudu pada poros yang berputar. Pada penelitian ini digunakan kincir air sudu lurus dengan variasi sudut sudu (θ) yaitu 90° , 75° , 45° , 25° , 0° dan variasi sudut masuk fluida kerja (β) yaitu 0° , $1/4 \theta$, $2/4 \theta$, $3/4 \theta$, θ , pada kecepatan putaran (rpm) 40 rpm, 50 rpm, 60 rpm, 70 rpm, 80 rpm. Berdasarkan hasil penelitian performansi kincir air sudu lurus yang dioperasikan secara breastshot pada sudut sudu (θ) = 25° menghasilkan daya poros dan efisiensi yang paling tinggi pada saat pengujian. Daya yang dihasilkan adalah 1,379 watt dan efisiensi sebesar 38,8 % dengan kecepatan putaran 60 rpm pada sudut masuk fluida kerja (β) = $2/4 \theta$. Hasil visualisasi didapatkan pengaruh sudut sudu (θ) dan sudut masuk fluida kerja (β) terhadap fenomena aliran separasi. Dimana pengaruh sudut masuk fluida kerja (β) terhadap fenomena aliran separasi terlihat dengan adanya fenomena back pressure flow akan menimbulkan efek pengereman sehingga kincir mengalami stuck.

Kata kunci : kincir air, variasi sudut sudu, performansi, separasi

Abstract

Waterwheel is a component that utilizes the flow of water to rotate the blade on a rotating shaft. In this study we used straight blade waterwheel with a blade angle variation (θ) that is 90° , 75° , 45° , 25° , 0° and the variation of the input angle of the working fluid (β) is 0° , $1/4 \theta$, $2/4 \theta$, $3/4 \theta$, θ , at rotation speed (rpm) 40 rpm, 50 rpm, 60 rpm, 70 rpm, 80 rpm. Based on the results of research on the performance of straight blade waterwheels operated by breastshot at the blade angle (θ) = 25° the highest shaft power and efficiency at the time of testing. The power produced is 1.379 watts and efficiency of 38.8% with a rotational speed of 60 rpm at the working fluid entry angle (β) = $2/4 \theta$. The visualization results obtained the effect of blade angle (θ) and the working angle of the fluid (β) on the phenomenon of separation flow. Where the influence of the working fluid entry angle (β) on the phenomenon of separation flow is seen by the phenomenon of back pressure flow will cause a braking effect so that the pinwheel is stuck.

Keywords: waterwheel, variation of blade angle, performance, separation

1. Pendahuluan

Kebutuhan akan energi semakin meningkat, seiring dengan pertumbuhan jumlah manusia dan kemajuan teknologi pada sektor industri maupun rumah tangga. Sementara tersedianya sumber energi yang dapat dimanfaatkan adalah terbatas, dan solusi dari permasalahan ini adalah dengan sumber energi yang dapat diperbaharui. Salah satu sumber energi yang bisa diperbaharui adalah energi yang bersumber dari sinar matahari, angin, air, panas bumi, biomassa. Pemilihan sumber energi yang berasal dari air dikarenakan pembuatan pembangkit listrik tenaga air lebih murah dan tidak meninggalkan bahan kimia berbahaya. Pemanfaatan sumber energi dari air adalah dengan memanfaatkan aliran air yang mengalir pada sungai /pangkung sebagai pembangkit tenaga listrik akan sangat membantu masyarakat dalam memenuhi kebutuhan energi [1].

Kincir air merupakan suatu komponen yang memanfaatkan aliran air yang memberikan energi pada poros yang berputar. Prinsip kerja kincir air adalah kincir berputar pada sumbunya karena adanya gaya momentum massa air yang menghantam sudu-sudu. Perubahan momentum persatuan waktu inilah yang dimanfaatkan untuk membangkitkan daya dari suatu kincir air yang akan dimanfaatkan.

Pada proses kerja kincir adanya pengaruh dari variasi sudut masuk fluida kerja terhadap performansi kerja kincir air. Dimana pada variasi sudut masuk fluida kerja yang paling baik dan menghasilkan performansi terbaik.

Pada proses kerja kincir air sudu lurus terjadi aliran yang mengalami separasi, yang terjadi pada ruang antar sudu. Aliran yang mengalami separasi adalah aliran yang terjadi pada fluida kerja yang secara kontinyu melawan gaya gesek dan menghasilkan hambatan berupa *adverse pressure gradient*. *Adverse pressure gradient* pada aliran fluida dapat menyebabkan momentum aliran berkurang, apabila aliran tidak memiliki momentum yang cukup tinggi untuk mengatasi *adverse pressure gradient* maka akan terjadi *back pressure flow*. Efek yang ditimbulkan oleh aliran sekunder adalah penyumbatan aliran sehingga mengurangi luasan daerah efektif pada kincir air. Dampak dari penyumbatan aliran mengakibatkan penurunan debit aliran dan momentum aliran berkurang.

Secondary flow merupakan bentuk aliran yang arahnya orthogonal terhadap arah aliran utama. Munculnya *secondary flow* disebabkan karena adanya interaksi fisis antara lapisan batas (*boundary layer*) dan *pressure gradient* pada permukaan

dinding-dinding yang berdekatan. Akibat dari *secondary flow* adanya gaya *back pressure* yang akan menghantam sudu kincir air, dan akan mengurangi dari kinerja kincir air [2].

2. Dasar Teori

2.1. Pengertian Umum

Pembangkit listrik tenaga air (*hydro power*) adalah pembangkit yang memanfaatkan energi dari aliran air untuk dikonversikan menjadi energi listrik. Sumber air yang digunakan berasal dari sungai atau bendungan. Prinsip dasar pembangkit listrik tenaga air (*hydro power*) adalah energi yang dihasilkan berasal dari air yang dialirkan dari ketinggian tertentu ke tempat yang lebih rendah, maka energi aliran air tersebut dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Jika energi air digunakan untuk menggerakkan komponen mekanik maka gerakan tersebut mengakibatkan perubahan energi potensial menjadi energi mekanik. Kincir air mengubah energi aliran air menjadi energi untuk menggerakkan generator listrik.

2.2. Daya dan Efisiensi

Head aliran fluida akan sangat menentukan tipe dari turbin air yang sesuai untuk komponen PLTMH. Berikut adalah persamaan yang digunakan.

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

Dimana :

Z_1 = head statis permukaan pada bak intake (m)

Z_2 = head statis permukaan *tailrace* (m)

p_1 = tekanan air pada bak intake (N/m^2)

p_2 = tekanan air pada *tailrace* (N/m^2)

v_1 = kecepatan air pada bak intake (m/dt)

v_2 = kecepatan air pada *tailrace* (m/dt)

H_E = head efektif total (m)

H_L = head losses total sistem PLTMH (m)

Daya ini akan dirubah oleh turbin air menjadi daya mekanik. Daya teoritis yang tersedia adalah :

$$P_{in} = \gamma \cdot Q \cdot H_E \dots\dots\dots \text{watt} \quad (2)$$

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

$$P_{out} = T \times \omega \dots\dots\dots \text{watt}$$

$$P_{out} = (\Delta m) \cdot g \cdot r \cdot \frac{2\pi n}{60} \dots\dots\dots \text{watt} \quad (3)$$

Efisiensi turbin/kincir (%) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

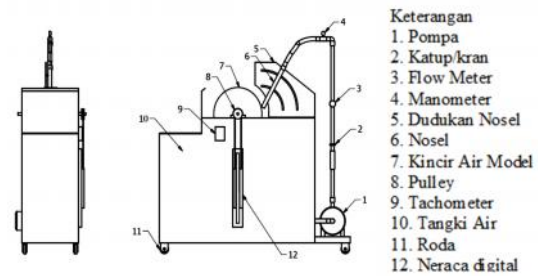
$$\eta_{turbin} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \dots\dots\dots \% \quad (4)$$

3. Metode Penelitian

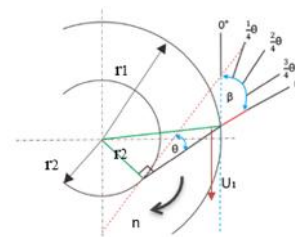
3.1. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah model sistem kincir air sudu lurus yang divariasikan sudut sudunya. 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*)



Gambar 2. Variasi Sudut Masuk Fluida Kerja

Nilai variasi sudut masuk fluida kerja (β) yaitu pada 0° , $1/4 \theta$, $2/4 \theta$, $3/4 \theta$, θ .

3.2. Peralatan Pengujian

Peralatan pengujian yang digunakan antara lain:

- Terdapat 5 variasi sudut sudu (θ) yaitu dengan sudut 90° , 75° , 45° , 25° , 0°
- Pipa GIP serta perlengkapannya seperti *water-mur*, *elbow* dan *flange*.
- Flow meter*, untuk mengukur kapasitas aliran
- Neraca Pegas
- Tachometer*, untuk mengukur besarnya putaran poros turbin.
- Dudukan nosel yang berisi pengatur sudut untuk mengatur sudut masuk fluida kerja ke kincir.
- Kamera
- Lampu/lighting studio

3.3. Lingkup Penelitian

Adapun lingkup penelitian ini adalah pembuatan model kincir air *picohydro* sudu lurus dengan sudut sudu (θ) yaitu 90° , 75° , 45° , 25° , 0° . Semua sudu yang akan diteliti menggunakan sudut masuk fluida kerja (β) = 0° , $\frac{1}{4}\theta$, $\frac{2}{4}\theta$, $\frac{3}{4}\theta$, θ . Model diuji secara eksperimental untuk mendapatkan rancangan kincir air yang dapat menghasilkan daya dan efisiensi tinggi, dengan skala sangat kecil (*picohydro*) namun mudah dibuat, dan diketahui unjuk kerjanya. Dengan variasi kecepatan putaran (rpm) = 40, 50, 60, 70, 80 rpm.

3.4. Prosedur Pelaksanaan Pengambilan Data

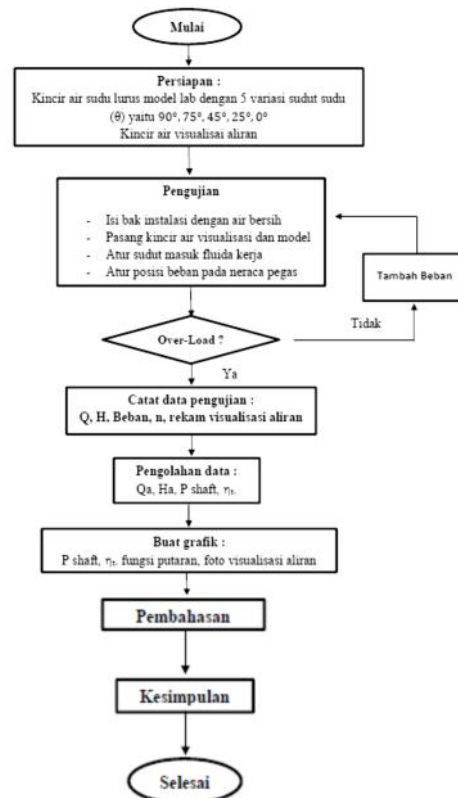
1. Pemasangan seluruh instalasi dan perlengkapan sistem PLTA.
2. Isi bak instalasi dengan air bersih.
3. Atur sudut nosel terhadap sudu sesuai dengan nilai sudut sudu yang diuji.
4. Hidupkan pompa untuk mendapatkan data *head* turbin.
5. Kapasitas aliran (Q), yang ditunjukkan oleh *flow meter*
6. *Setting* beban (torsi) dengan mengencangkan neraca pegas untuk mendapatkan rpm yang diinginkan.
7. Amati sistem sampai beroperasi stabil.
8. Catat pada kedua beban yang ditunjukkan neraca. Tulis/tabulasikan data-data.
9. Lakukan pengulangan 3 (tiga) kali untuk setiap pengambilan data pada tipe sudut sudu yang diuji.
10. Hitung daya aliran air sumber/ daya yang tersedia (P_{in}).
11. Hitung daya output kincir/ turbin (P_{out}).
12. Hitung efisiensi kincir/ turbin (η_t).
13. Buat grafik P_{out} , dan η_t pada masing-masing performansi sudut sudu (θ).
14. Lakukan analisa data hasil pengujian

3.5. Prosedur Pelaksanaan Visualisasi Aliran

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. Pasang kincir model visualisasi.
5. Hidupkan pompa untuk mendapatkan data *head* turbin.
6. Amati aliran fluida kerja yang melintasi ruang antar sudu.
7. Lakukan perekaman untuk video keadaan aliran fluida kerja yang terjadi pada ruang antar sudu.
8. *Convert* video ke gambar dan analisis fenomena yang terjadi
9. Ulangi tahap 4 s/d 9 dengan merubah variasi sudut kincir air (θ) 90° , 75° , 45° , 25° , 0° dengan sudut masuk fluida kerja (β) 0° , $1/4 \theta$, $2/4 \theta$, $3/4 \theta$, θ

3.6. Langkah-Langkah Penelitian

Berikut adalah langkah-langkah penelitian seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Langkah-Langkah Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Pengambilan Data

Data yang yang diperoleh berupa :

- a. Kapasitas (Q_{max}) = $\frac{Volume}{waktu} = \frac{10 \text{ liter}}{17 \text{ dt}}$
 $Q_{max} = 0,0006 \text{ m}^3/\text{dt}$
- b. Luas penampang pada nosel (A) = $0,000232 \text{ m}^2$
- c. Head efektif dibagi menjadi 2 titik elevasi :
Titik elevasi 1
 - Tekanan pada bak *intake* (P_1) = Tekanan Atmosfir
 - Kecepatan aliran pada bak *intake* (v_1) = 0 m/dt
 - Ketinggian elevasi 1 (z_1) = 0 m
 Titik elevasi 2
 - Tekanan pada *tailrace* (P_2) = Tekanan Atmosfir
 - Kecepatan aliran pada *tailrace* = $2,59 \text{ m/dt}$
 - Ketinggian elevasi (z_2) = $0,50 \text{ m}$
- d. *Head loss* total = $H_L \text{ Mayor} + H_L \text{ Minor}$
 $Head \text{ loss total} = 0,154 \text{ m} + 0,085 \text{ m}$
 $Head \text{ loss total} = 0,239 \text{ m}$
- e. Daya yang tersedia (P_{in}) = $\gamma \cdot Q \cdot H_E$
 $P_{in} = 9,810 \text{ N/m}^3 \times 0,0006 \text{ m}^3/\text{dt} \times 0,603 \text{ m}$
 $P_{in} = 3,549 \text{ watt}$

4.1.1 Pengujian Pada Sudut Sudu (θ) = 90°

Pada pengujian pada kincir sudu (θ) = 90° didapatkan data pengujian seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Kincir Air Sudu Sudu (θ) = 90°

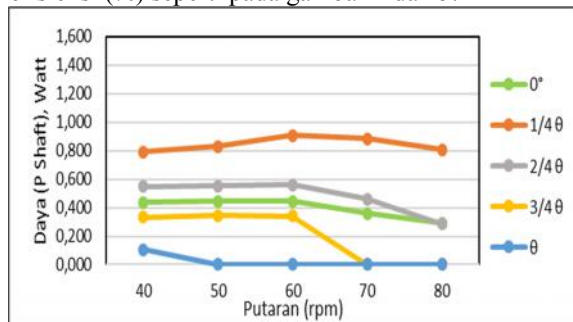
RPM	NO	Beban (kg) Pada Sudu Masuk Fluida Kerja (β)														
		0°			1/4 θ			2/4 θ			3/4 θ			θ		
		ml	m ²	Δm	ml	m ²	Δm	ml	m ²	Δm	ml	m ²	Δm	ml	m ²	Δm
40	1	0,790	0,260	0,530	1,290	0,390	0,900	0,980	0,305	0,675	0,605	0,205	0,400	0,225	0,100	0,125
	2	0,785	0,250	0,535	1,390	0,385	1,005	0,975	0,315	0,660	0,600	0,200	0,400	0,275	0,115	0,160
	3	0,979	0,255	0,530	1,380	0,400	0,980	0,970	0,300	0,670	0,615	0,195	0,420	0,200	0,100	0,100
	Rata-rata		0,532		0,962		0,668		0,407		0,128					
50	1	0,670	0,240	0,430	1,160	0,345	0,815	0,800	0,260	0,540	0,520	0,170	0,350	0	0	0
	2	0,660	0,220	0,440	1,170	0,355	0,815	0,795	0,255	0,540	0,510	0,175	0,335	0	0	0
	3	0,655	0,230	0,425	1,145	0,350	0,795	0,785	0,250	0,535	0,505	0,180	0,325	0	0	0
	Rata-rata		0,432		0,808		0,538		0,337		0					
60	1	0,560	0,190	0,370	1,050	0,315	0,735	0,670	0,215	0,455	0,425	0,140	0,285	0	0	0
	2	0,555	0,195	0,360	1,045	0,310	0,735	0,680	0,225	0,455	0,420	0,155	0,265	0	0	0
	3	0,550	0,200	0,350	1,040	0,305	0,735	0,665	0,220	0,445	0,410	0,150	0,280	0	0	0
	Rata-rata		0,360		0,735		0,455		0,277		0					
70	1	0,425	0,185	0,240	0,940	0,255	0,685	0,500	0,180	0,320	0	0	0	0	0	0
	2	0,435	0,180	0,255	0,800	0,250	0,550	0,490	0,175	0,315	0	0	0	0	0	0
	3	0,430	0,175	0,255	0,875	0,260	0,615	0,495	0,170	0,325	0	0	0	0	0	0
	Rata-rata		0,250		0,615		0,320		0							
80	1	0,310	0,140	0,170	0,710	0,215	0,500	0,315	0,130	0,185	0	0	0	0	0	0
	2	0,320	0,135	0,185	0,705	0,230	0,475	0,325	0,140	0,185	0	0	0	0	0	0
	3	0,310	0,130	0,180	0,715	0,220	0,495	0,310	0,155	0,155	0	0	0	0	0	0
	Rata-rata		0,178		0,490		0,175		0							
RPM tanpa beban		101		138		120		84		58						

Dengan data yang didapatkan pada tabel diatas, didapatkan hasil pengolahan data yang ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2. Daya dan Efisiensi Pada Kincir Air Sudu Lurus Sudu Sudu (θ) = 90°

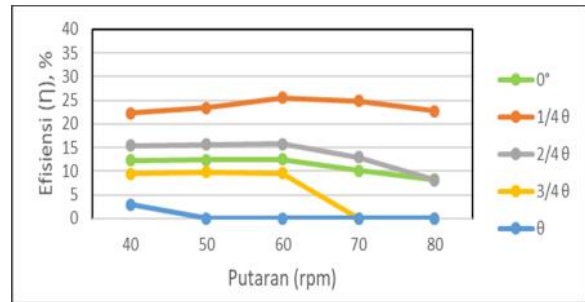
RPM	NO	Sudu Masuk Fluida Kerja (β)									
		0°		1/4 θ		2/4 θ		3/4 θ		θ	
		Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %
40	1	0,437	12,3	0,790	22,3	0,548	15,4	0,334	9,4	0,105	2,9
	2	0,443	12,4	0,829	23,4	0,552	15,6	0,346	9,8	0	0
	3	0,444	12,5	0,906	25,5	0,561	15,8	0,341	9,6	0	0
50	1	0,359	10,1	0,884	24,9	0,459	12,9	0	0	0	0
	2	0,292	8,2	0,805	22,7	0,288	8,1	0	0	0	0
	3	0,292	8,2	0,805	22,7	0,288	8,1	0	0	0	0
RPM tanpa beban		85		100		130		94		80	

Dari tabel diatas didapatkan grafik hubungan kecepatan putaran (rpm) terhadap daya (P_{out}) dan efisiensi (%) seperti pada gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Hubungan Kecepatan Putaran Terhadap Daya Pada Sudu Sudu (θ) = 90°

Pada gambar 5, grafik menunjukkan bahwa daya dan efisiensi meningkat seiring meningkatnya putaran sampai pada 60 rpm. Kemudian nilai menurun pada putaran yang lebih tinggi. Dapat dilihat pada sudut masuk fluida kerja (β) = 1/4 θ menunjukkan performansi tinggi daripada pada variasi sudut masuk fluida (β) lainnya.



Gambar 5. Hubungan Kecepatan Putaran Terhadap Efisiensi Pada Sudu Sudu (θ) = 90°

4.1.2 Pengujian Pada Sudu Sudu (θ) = 75°

Pada pengujian pada kincir sudu (θ) = 75° didapatkan data pengujian seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Kincir Air Sudu Sudu (θ) = 75°

RPM	NO	Beban (kg) Pada Sudu Masuk Fluida Kerja (β)														
		0°			1/4 θ			2/4 θ			3/4 θ			θ		
		ml	m ²	Δm	ml	m ²	Δm	ml	m ²	Δm	ml	m ²	Δm	ml	m ²	Δm
40	1	1,295	0,405	0,890	1,590	0,490	1,100	1,635	0,520	1,115	0,800	0,260	0,540	0,525	0,205	0,320
	2	1,280	0,400	0,880	1,565	0,480	1,085	1,640	0,510	1,130	0,820	0,265	0,555	0,495	0,195	0,300
	3	1,285	0,410	0,875	1,560	0,470	1,090	1,625	0,500	1,125	0,820	0,270	0,550	0,510	0,200	0,310
	Rata-rata		0,881		1,091		1,123		0,548		0,310					
50	1	1,165	0,370	0,795	1,305	0,400	0,905	1,400	0,465	0,935	0,670	0,220	0,450	0,415	0,155	0,260
	2	1,155	0,375	0,780	1,335	0,425	0,910	1,430	0,485	0,945	0,665	0,225	0,440	0,405	0,150	0,255
	3	1,155	0,380	0,775	1,335	0,420	0,915	1,395	0,470	0,925	0,675	0,230	0,445	0,390	0,140	0,250
	Rata-rata		0,783		0,910		0,935		0,945		0,255					
60	1	0,980	0,335	0,645	1,120	0,370	0,750	1,225	0,410	0,815	0,505	0,195	0,310	0,235	0,110	0,125
	2	0,970	0,330	0,640	1,140	0,380	0,760	1,220	0,400	0,820	0,515	0,200	0,315	0,235	0,105	0,130
	3	0,960	0,325	0,635	1,135	0,380	0,755	1,190	0,390	0,800	0,525	0,205	0,320	0,235	0,100	0,135
	Rata-rata		0,640		0,755		0,812		0,812		0,150					
70	1	0,785	0,265	0,520	0,960	0,325	0,635	1,055	0,350	0,705	0,370	0,150	0,220	0	0	0
	2	0,785	0,260	0,525	0,935	0,310	0,625	1,030	0,340	0,690	0,360	0,145	0,215	0	0	0
	3	0,790	0,255	0,535	0,950	0,320	0,630	1,010	0,330	0,680	0,370	0,140	0,220	0	0	0
	Rata-rata		0,527		0,630		0,690		0,690		0,222					
80	1	0	0	0	0,745	0,245	0,500	0,850	0,300	0,550	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0,780	0,255	0,525	0,850	0,280	0,570	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0,790	0,260	0,530	0,870	0,290	0,580	0	0	0	0	0	0
	Rata-rata		0		0,518		0,567		0		0					
RPM tanpa beban		85		100		130		94		80						

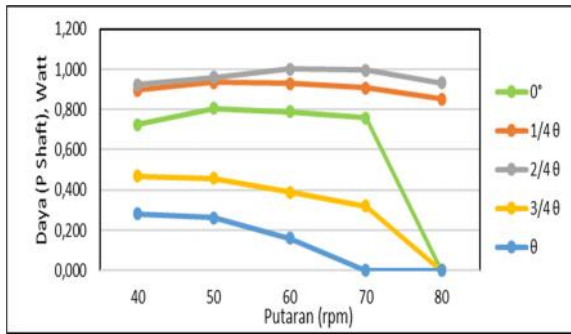
Dengan data yang didapatkan pada tabel diatas, didapatkan hasil pengolahan data yang ditampilkan pada tabel 4.

Tabel 4. Daya dan Efisiensi Pada Kincir Air Sudu Lurus Sudu Sudu (θ) = 75°

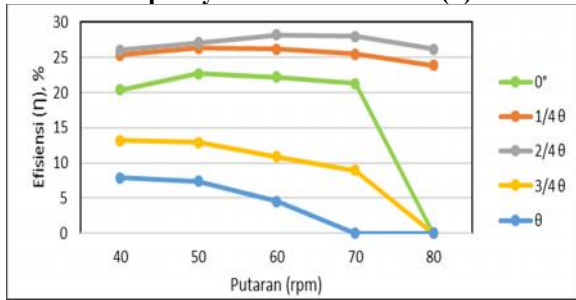
RPM	NO	Sudu Masuk Fluida Kerja (β)									
		0°		1/4 θ		2/4 θ		3/4 θ		θ	
		Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %
40	1	0,724	20,4	0,896	25,3	0,923	26,0	0,468	13,2	0,281	7,9
	2	0,804	22,7	0,934	26,3	0,960	27,1	0,457	12,9	0,262	7,4
	3	0,789	22,2	0,930	26,2	1,001	28,2	0,388	10,9	0,160	4,5
50	1	0,758	21,3	0,906	25,5	0,995	28,0	0,319	8,9	0	0
	2	0,851	23,9	0,931	26,2	0	0	0	0	0	0
	3	0,851	23,9	0,931	26,2	0	0	0	0	0	0
RPM tanpa beban		85		100		130		94		80	

Dari tabel diatas didapatkan grafik hubungan kecepatan putaran (rpm) terhadap daya (P_{out}) dan efisiensi (%) seperti pada gambar 6 dan 7.

Pada grafik menunjukkan bahwa daya dan efisiensi meningkat seiring meningkatnya putaran sampai pada 60 rpm. Kemudian nilai menurun pada putaran yang lebih tinggi. Dapat dilihat pada sudut masuk fluida kerja (β) = 2/4 θ menunjukkan performansi tinggi daripada pada variasi sudut masuk fluida (β) lainnya.



Gambar 6. Hubungan Kecepatan Putaran Terhadap Daya Pada Sudut Sudu (θ) = 75°



Gambar 7. Hubungan Kecepatan Putaran Terhadap Efisiensi Pada Sudut Sudu (θ) = 75°

4.1.3 Pengujian Pada Sudut Sudu (θ) = 45°

Didapatkan data pengujian seperti pada tabel 5.

Tabel 5. Pengujian Kincir Air Sudut Sudu (θ) = 45°

RPM	NO	Beban (kg) Pada Sudut Masuk Fluida Kerja (β)														
		0°			1/4 θ			2/4 θ			3/4 θ			θ		
		ml	m ²	Δ m	ml	m ²	Δ m	ml	m ²	Δ m	ml	m ²	Δ m	ml	m ²	Δ m
40	1	1.610	0.400	1.210	1.790	0.440	1.350	1.860	0.415	1.445	1.630	0.400	1.230	1.500	0.380	1.120
	2	1.575	0.385	1.190	1.790	0.445	1.345	1.920	0.420	1.500	1.650	0.410	1.240	1.580	0.395	1.185
	3	1.595	0.395	1.200	1.705	0.450	1.255	1.845	0.410	1.435	1.635	0.415	1.220	1.575	0.400	1.175
	Rata-rata	1.200		1.317		1.460		1.230		1.160						
50	1	1.410	0.350	1.060	1.605	0.425	1.180	1.680	0.380	1.300	1.440	0.360	1.080	1.385	0.355	1.030
	2	1.415	0.345	1.070	1.680	0.420	1.260	1.670	0.375	1.295	1.440	0.350	1.090	1.385	0.365	1.020
	3	1.405	0.340	1.065	1.575	0.400	1.175	1.655	0.370	1.285	1.440	0.340	1.100	1.375	0.350	1.025
	Rata-rata	1.065		1.205		1.293		1.090		1.025						
60	1	1.180	0.315	0.865	1.260	0.320	0.940	1.390	0.350	1.040	1.210	0.320	0.890	1.165	0.315	0.850
	2	1.180	0.310	0.870	1.225	0.315	0.910	1.360	0.340	1.020	1.195	0.315	0.880	1.155	0.310	0.845
	3	1.175	0.300	0.875	1.215	0.310	0.905	1.360	0.330	1.030	1.210	0.310	0.900	1.080	0.300	0.780
	Rata-rata	0.870		0.918		1.030		0.890		0.825						
70	1	0.795	0.265	0.530	0.975	0.305	0.670	1.090	0.300	0.790	0.860	0.290	0.570	0.800	0.285	0.525
	2	0.795	0.260	0.535	0.965	0.310	0.655	1.085	0.305	0.780	0.830	0.275	0.555	0.795	0.275	0.520
	3	0.800	0.275	0.525	0.940	0.300	0.640	1.100	0.310	0.790	0.825	0.285	0.540	0.780	0.280	0.480
	Rata-rata	0.530		0.655		0.797		0.555		0.508						
80	1	0.630	0.250	0.380	0.800	0.280	0.520	0.900	0.300	0.600	0.675	0.265	0.410	0.555	0.220	0.345
	2	0.630	0.255	0.375	0.780	0.270	0.510	0.910	0.290	0.620	0.675	0.265	0.410	0.540	0.210	0.330
	3	0.630	0.260	0.370	0.765	0.265	0.500	0.895	0.285	0.610	0.660	0.260	0.400	0.535	0.200	0.335
	Rata-rata	0.375		0.510		0.610		0.407								
RPM tanpa beban		128		138		142		130		118						

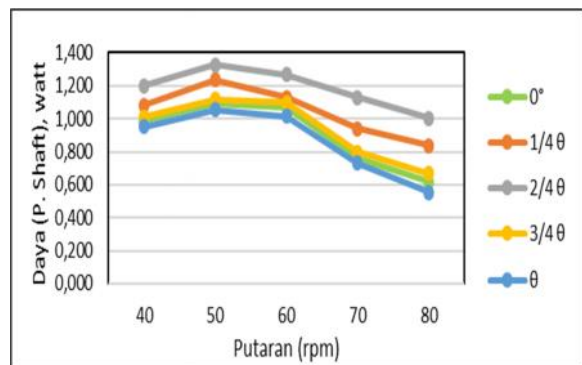
Dengan data yang didapatkan pada tabel diatas, didapatkan hasil pengolahan data yang ditampilkan pada tabel 6.

Pada grafik menunjukkan bahwa daya dan efisiensi meningkat seiring meningkatnya putaran sampai pada 50 rpm. Kemudian nilai menurun pada putaran yang lebih tinggi. Dapat dilihat pada sudut masuk fluida kerja (β) = 2/4 θ menunjukkan performansi tinggi daripada pada variasi sudut masuk fluida (β) lainnya.

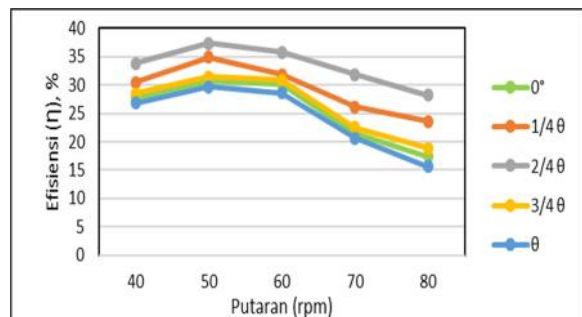
Tabel 6. Daya dan Efisiensi Pada Kincir Air Sudu Lurus Sudut Sudu (θ) = 45°

RPM	Sudut Masuk Fluida Kerja (β)									
	0°		1/4 θ		2/4 θ		3/4 θ		θ	
	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %
40	0,986	27,8	1,082	30,5	1,199	33,8	1,01	28,5	0,953	26,8
50	1,094	30,8	1,237	34,9	1,328	37,4	1,119	31,5	1,053	29,7
60	1,072	30,2	1,131	31,9	1,269	35,8	1,097	30,9	1,017	28,6
70	0,762	21,5	0,942	26,2	1,131	31,9	0,798	22,5	0,73	20,6
80	0,616	17,4	0,837	23,6	1,002	28,2	0,669	18,9	0,554	15,6

Dari tabel diatas didapatkan grafik hubungan kecepatan putaran (rpm) terhadap daya (P_{out}) dan efisiensi (%) seperti pada gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Hubungan Kecepatan Putaran Terhadap Daya Pada Sudut Sudu (θ) = 45°



Gambar 9. Hubungan Kecepatan Putaran Terhadap Efisiensi Pada Sudut Sudu (θ) = 45°

4.1.4 Pengujian Pada Sudut Sudu (θ) = 25°

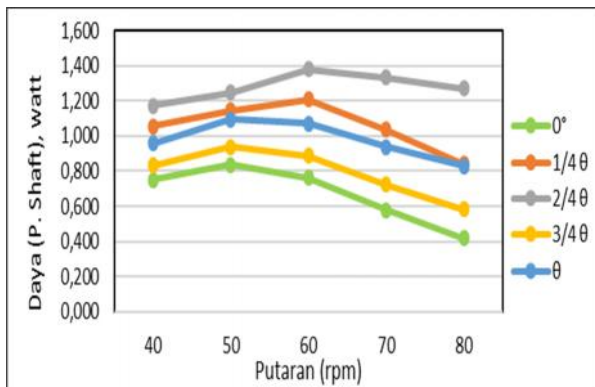
Pada pengujian pada kincir sudut (θ) = 25° didapatkan data pengujian seperti pada tabel 7. Dengan data yang didapatkan pada tabel dibawah, didapatkan hasil pengolahan data yang ditampilkan pada tabel 8. Dari tabel 8 didapatkan grafik hubungan kecepatan putaran (rpm) terhadap daya (P_{out}) dan efisiensi (%) seperti pada gambar 10 dan 11.

Tabel 7. Pengujian Kincir Air Sudut Sudu (θ) = 25°

RPM	NO	Beban (kg) Pada Sudut Masuk Fluida Kerja (β)														
		0°			1/4 θ			2/4 θ			3/4 θ			θ		
		ml	m ²	Δm	ml	m ²	Δm	ml	m ²	Δm	ml	m ²	Δm	ml	m ²	Δm
40	1	1,290	0,370	0,920	1,700	0,420	1,280	1,935	0,495	1,440	1,430	0,410	1,020	1,600	0,440	1,170
	2	1,280	0,365	0,915	1,705	0,425	1,280	1,920	0,490	1,430	1,415	0,400	1,015	1,600	0,435	1,165
	3	1,270	0,360	0,910	1,720	0,430	1,290	1,920	0,500	1,420	1,395	0,385	1,010	1,590	0,430	1,160
	Rate-rata	0,915			1,285			1,430			1,015			1,165		
50	1	1,150	0,335	0,815	1,510	0,405	1,105	1,690	0,470	1,220	1,240	0,330	0,920	1,430	0,360	1,070
	2	1,160	0,340	0,820	1,495	0,400	1,095	1,690	0,475	1,215	1,230	0,315	0,915	1,355	0,335	1,020
	3	1,140	0,330	0,810	1,555	0,410	1,145	1,675	0,465	1,210	1,220	0,310	0,910	1,355	0,330	1,025
	Rate-rata	0,815			1,115			1,215			0,915			1,025		
60	1	0,980	0,295	0,685	1,410	0,395	1,015	1,555	0,430	1,125	1,055	0,270	0,785	1,235	0,300	0,935
	2	0,965	0,290	0,675	1,400	0,390	1,010	1,555	0,435	1,120	1,040	0,265	0,775	1,235	0,310	0,925
	3	0,780	0,280	0,500	1,300	0,385	0,915	1,540	0,425	1,115	0,875	0,275	0,600	1,000	0,285	0,715
	Rate-rata	0,620			0,980			1,120			0,720			0,870		
70	1	0,620	0,230	0,390	1,075	0,340	0,735	1,265	0,345	0,920	0,725	0,235	0,490	0,895	0,255	0,640
	2	0,645	0,240	0,405	1,030	0,325	0,705	1,290	0,355	0,935	0,755	0,250	0,505	0,915	0,260	0,655
	3	0,645	0,235	0,410	1,050	0,330	0,720	1,275	0,350	0,925	0,755	0,245	0,510	0,755	0,245	0,510
	Rate-rata	0,402			0,720			0,937			0,502			0,652		
80	1	0,440	0,180	0,260	0,830	0,280	0,550	1,070	0,315	0,755	0,530	0,170	0,360	0,745	0,235	0,510
	2	0,425	0,175	0,250	0,805	0,270	0,535	1,080	0,320	0,760	0,535	0,185	0,350	0,740	0,240	0,500
	3	0,420	0,165	0,255	0,725	0,275	0,450	1,060	0,310	0,750	0,545	0,190	0,355	0,725	0,220	0,505
	Rate-rata	0,255			0,512			0,775			0,355			0,505		
RPM tanpa beban		128			136			143			132			120		

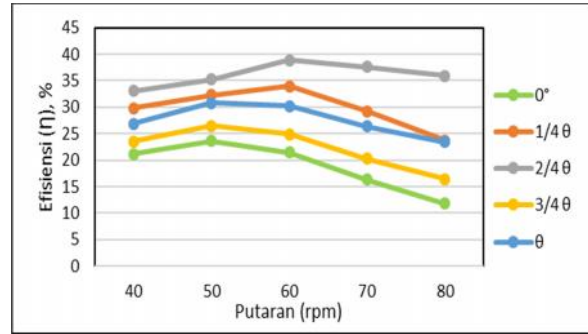
Tabel 8. Daya dan Efisiensi Pada Kincir Air Sudu Lurus Sudut Sudu (θ) = 25°

RPM	Sudut Masuk Fluida Kerja (β)									
	0°		1/4 θ		2/4 θ		3/4 θ		θ	
	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %
40	0,752	21,2	1,056	29,8	1,175	33,1	0,957	26,9	0,834	23,5
50	0,837	23,6	1,145	32,3	1,248	35,2	1,094	30,8	0,939	26,5
60	0,764	21,5	1,207	34,0	1,379	38,9	1,072	30,2	0,887	24,9
70	0,578	16,3	1,035	29,2	1,333	37,6	0,937	26,4	0,722	20,3
80	0,419	11,8	0,841	23,7	1,273	35,9	0,829	23,4	0,583	16,4



Gambar 10. Hubungan Kecepatan Putaran Terhadap Daya Pada Sudut Sudu (θ) = 25°

Pada grafik menunjukkan bahwa daya dan efisiensi meningkat seiring meningkatnya putaran sampai pada 60 rpm. Kemudian nilai menurun pada putaran yang lebih tinggi. Dapat dilihat pada sudut masuk fluida kerja (β) = 2/4 θ menunjukkan performansi tinggi daripada pada variasi sudut masuk fluida (β) lainnya.



Gambar 11. Hubungan Kecepatan Putaran Terhadap Efisiensi Pada Sudut Sudu (θ) = 25°

4.1.5 Pengujian Pada Sudut Sudu (θ) = 0°

Pada pengujian pada kincir sudut (θ) = 0° didapatkan data pengujian seperti pada tabel 9.

Tabel 9. Pengujian Kincir Air Sudut Sudu (θ) = 0°

RPM	NO	Beban (kg) Pada Sudut Masuk Fluida Kerja (β)														
		0°			1/4 θ			2/4 θ			3/4 θ			θ		
		ml	m ²	Δm	ml	m ²	Δm	ml	m ²	Δm	ml	m ²	Δm	ml	m ²	Δm
40	1	1,410	0,425	0,985	1,620	0,520	1,100	1,860	0,545	1,315	1,450	0,450	1,000	1,000	0,340	0,670
	2	1,290	0,415	0,875	1,595	0,510	1,085	1,860	0,540	1,320	1,460	0,455	1,005	1,020	0,345	0,675
	3	1,300	0,420	0,880	1,565	0,500	1,065	1,860	0,535	1,325	1,475	0,460	1,015	1,030	0,350	0,680
	Rate-rata	0,913			1,083			1,320			1,007			0,675		
50	1	1,160	0,380	0,780	1,490	0,475	1,015	1,675	0,515	1,160	1,415	0,430	0,985	0,920	0,300	0,620
	2	1,145	0,370	0,775	1,470	0,465	1,005	1,670	0,505	1,165	1,300	0,425	0,875	0,945	0,315	0,630
	3	1,150	0,385	0,765	1,480	0,470	1,010	1,685	0,510	1,175	1,290	0,410	0,880	0,955	0,310	0,625
	Rate-rata	0,773			1,010			1,167			0,913			0,625		
60	1	0,985	0,335	0,650	1,295	0,425	0,870	1,535	0,470	1,065	1,165	0,385	0,780	0,820	0,265	0,555
	2	0,985	0,330	0,655	1,295	0,435	0,860	1,550	0,475	1,075	1,170	0,395	0,775	0,820	0,270	0,550
	3	0,970	0,325	0,645	1,310	0,445	0,865	1,560	0,490	1,070	1,145	0,380	0,765	0,800	0,260	0,540
	Rate-rata	0,650			0,865			1,070			0,773			0,548		
70	1	0,790	0,275	0,515	1,145	0,385	0,760	1,295	0,445	0,850	1,010	0,355	0,655	0,695	0,210	0,485
	2	0,810	0,280	0,530	1,150	0,400	0,750	1,285	0,440	0,845	1,000	0,350	0,650	0,695	0,205	0,480
	3	0,810	0,270	0,540	1,125	0,390	0,735	1,275	0,435	0,840	0,990	0,345	0,645	0,675	0,200	0,475
	Rate-rata	0,528			0,748			0,840			0,690			0,480		
80	1	0,660	0,230	0,430	0,965	0,330	0,635	1,115	0,385	0,730	0,825	0,275	0,550	0,580	0,130	0,250
	2	0,660	0,225	0,435	0,965	0,320	0,645	1,110	0,365	0,745	0,815	0,270	0,545	0,565	0,135	0,230
	3	0,665	0,220	0,445	0,960	0,310	0,650	1,115	0,375	0,740	0,800	0,265	0,535	0,565	0,120	0,245
	Rate-rata	0,437			0,643			0,738			0,543			0,242		
RPM tanpa beban		109			149			126			115			90		

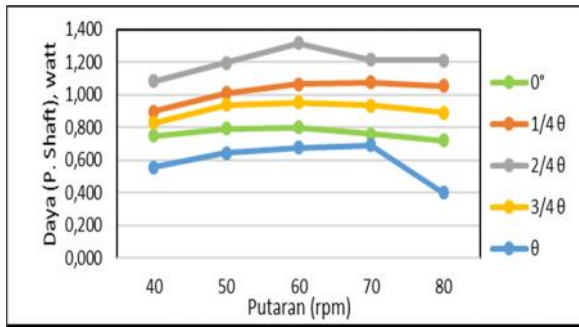
Dengan data yang didapatkan pada tabel diatas, didapatkan hasil pengolahan data yang ditampilkan pada tabel 10.

Tabel 10. Daya dan Efisiensi Pada Kincir Air Sudu Lurus Sudut Sudu (θ) = 0°

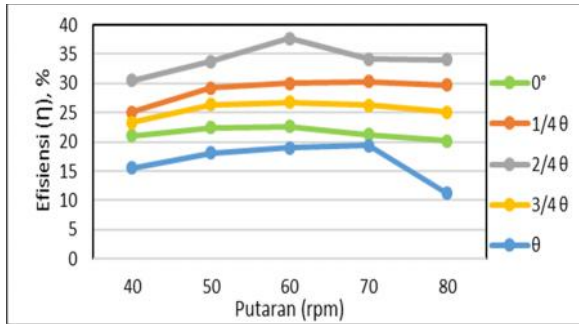
RPM	Sudut Masuk Fluida Kerja (β)									
	0°		1/4 θ		2/4 θ		3/4 θ		θ	
	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %	Daya (P. Shaft), watt	Efisiensi (η), %
40	0,749	21,1	0,899	25,1	1,084	30,5	0,827	23,3	0,555	15,6
50	0,794	22,4	1,01	29,2	1,198	33,8	0,937	26,4	0,642	18,1
60	0,801	22,6	1,066	30,0	1,318	37,7	0,952	26,8	0,675	19,0
70	0,758	21,3	1,075	30,3	1,215	34,2	0,934	26,3	0,689	19,4
80	0,718	20,2	1,056	29,7	1,211	34,1	0,892	25,1	0,398	11,2

Dari tabel diatas didapatkan grafik hubungan kecepatan putaran (rpm) terhadap daya (P_{out}) dan efisiensi (%) seperti pada gambar 12 dan 13.

Pada grafik menunjukkan bahwa daya dan efisiensi meningkat seiring meningkatnya putaran sampai pada 60 rpm. Kemudian nilai menurun pada putaran yang lebih tinggi. Dapat dilihat pada sudut masuk fluida kerja (β) = 2/4 θ menunjukkan performansi tinggi daripada pada variasi sudut masuk fluida (β) lainnya



Gambar 12. Hubungan Kecepatan Putaran Terhadap Daya Pada Sudut Sudu (θ) = 0°



Gambar 13. Hubungan Kecepatan Putaran Terhadap Efisiensi Pada Sudut Sudu (θ) = 0°

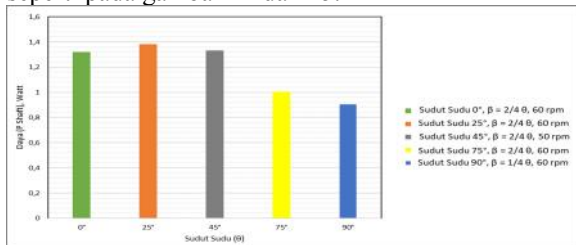
4.1.6. Performansi Terbaik Tiap Sudut Sudu

Dalam pengujian diatas didapatkan nilai daya dan efisiensi maksimum dari masing-masing sudut sudu yang di uji dengan nilai sudut masuk fluida kerja (β) terbaik dari masing-masing sudu, dapat ditampilkan dalam tabel 11.

Tabel 11. Daya dan Efisiensi Maksimum Pada Masing-Masing Sudut Sudu Kincir

No	Sudut Sudu (θ)	Sudut Masuk Fluida Kerja (β)	RPM	Daya (watt)	Efisiensi (%)
1	0°	$2/4 \theta$	60	1,318	37,7
2	25°	$2/4 \theta$	60	1,379	38,9
3	45°	$2/4 \theta$	50	1,328	37,4
4	75°	$2/4 \theta$	60	1,001	28,2
5	90°	$1/4 \theta$	60	0,906	25,5

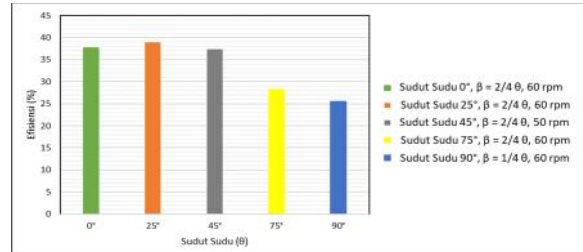
Pada tabel diatas diambil nilai daya dan efisiensi terbaik dari setiap masing-masing sudut masuk fluida kerja, dan ditampilkan berupa grafik perbandingan seperti pada gambar 14 dan 15.



Gambar 14. Perbandingan Variasi Sudut Sudu (θ) Terhadap Nilai Daya Maksimum

Pada gambar diagram batang dibawah menampilkan pada sudut sudu (θ) = 25° dengan nilai sudut masuk fluida kerja (β) = $2/4 \theta$ pada dengan kecepatan putaran 60 rpm, memiliki nilai daya

maksimum yaitu 1,379 watt dan nilai efisiensi yang paling tinggi diantara sudut sudu lainnya yaitu 38,9 % . Pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19 adalah perbandingan variasi sudut sudu dengan daya dan efisiensi, dimana nilai sudut masuk fluida kerja pada (β) = $2/4 \theta$ paling efektif dengan kecepatan putar adalah 60 rpm.

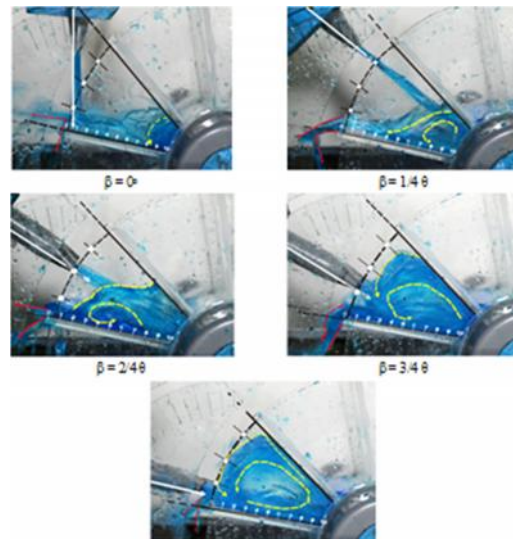


Gambar 15. Perbandingan Variasi Sudut Sudu (θ) Terhadap Nilai Efisiensi Maksimum

4.2 Hasil Visualisasi

4.2.1 Visualisasi Sudut Sudu (θ) = 90°

Pada penelitian visualisasi pada kincir sudut sudu 90° menggunakan variasi sudut masuk fluida kerja (β) yaitu 0° , $1/4 \theta$, $2/4 \theta$, $3/4 \theta$ dan θ .



Gambar 16. Pengaruh Variasi Sudut Masuk Fluida Pada Sudut Sudu (θ) 90°

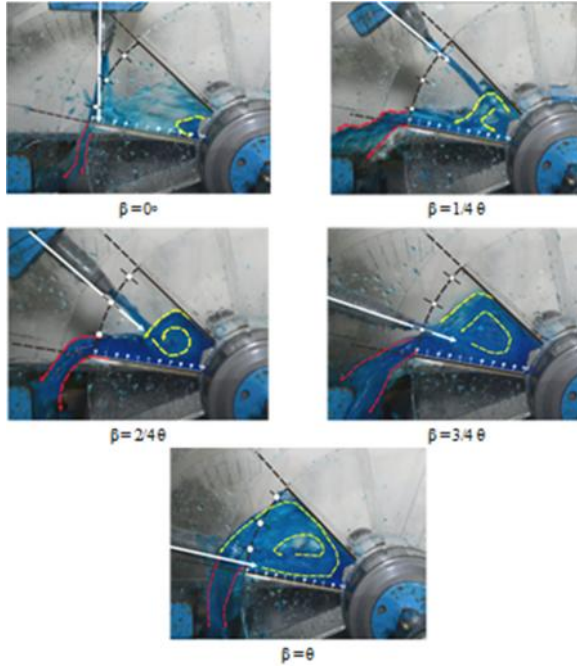
Penjelasan fenomena akan ditampilkan melalui penunjuk untuk mempermudah menjelaskan, Pada garis berwarna merah menunjukkan fenomena *excess water* (air yang tak terpakai) yaitu fenomena dimana fluida kerja yang telah menumbuk *blade* sudu kincir. Pada garis berwarna kuning menunjukan fenomena *back pressure flow* dan pada garis berwarna putih menunjukan aliran fluida kerja yang keluar dari nosel.

Pada pengujian visualisasi sudut sudu (θ) = 90° didapatkan fenomena *back pressure* terlihat pada saat sudut masuk fluida kerja β = $2/4 \theta$, $3/4 \theta$, dan θ dimana pengaruh dari fenomena *back pressure flow* adalah mengurangi luasan momentum fluida kerja dan mengakibatkan pengumpulan massa (*blockage mass*) dimana timbul efek pengeraman dan kincir

mengalami *stuck* (tidak dapat berputar). *Back pressure flow* menumbuk pada fluida kerja yang keluar dari nosel, dan terjadinya *excess water* (air yang tidak terpakai). Efek dari *excess water* adalah kurangnya momentum fluida kerja pada kincir.

4.2.2 Visualisasi Sudut Sudu (θ) = 75°

Pada penelitian visualisasi pada kincir sudut sudu 75° menggunakan variasi sudut masuk fluida kerja (β) yaitu 0°, 1/4 θ , 2/4 θ , 3/4 θ dan θ .



Gambar 17. Pengaruh Variasi Sudut Masuk Fluida Pada Sudut Sudu (θ) 75°

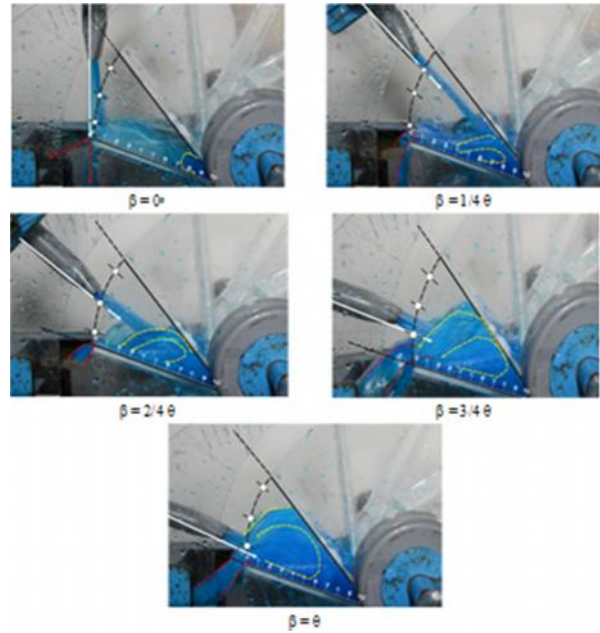
Pada pengujian visualisasi sudut sudu (θ) = 75° didapatkan fenomena *back pressure* terlihat pada saat sudut masuk fluida kerja $\beta = 2/4 \theta$, $3/4 \theta$, dan θ dimana pengaruh dari fenomena *back pressure flow* adalah mengurangi luasan momentum fluida kerja dan mengakibatkan pengumpulan massa (*blockage mass*) dimana timbul efek pengeraman dan kincir mengalami *stuck* (tidak dapat berputar). Fenomena *blockage mass* terjadi pada saat sudut masuk fluida kerja $\beta = 3/4 \theta$, dan θ .

Back pressure flow menumbuk pada fluida kerja yang keluar dari nosel, dan terjadinya *excess water* (air yang tidak terpakai). Efek dari *excess water* adalah kurangnya momentum fluida kerja pada kincir.

Pada saat sudut masuk fluida kerja (β) = 0°, fluida kerja menumbuk pada sisi luar sudu dimana terjadinya *excess water* akibat fluida kerja yang terpotong pada ujung sudu dan fluida kerja tidak sempat menuju ruang antar sudu untuk memberikan gaya berat.

4.2.3 Visualisasi Sudut Sudu (θ) = 45°

Pada penelitian visualisasi pada kincir sudut sudu 45° menggunakan variasi sudut masuk fluida kerja (β) yaitu 0°, 1/4 θ , 2/4 θ , 3/4 θ dan θ .



Gambar 18. Pengaruh Variasi Sudut Masuk Fluida Pada Sudut Sudu (θ) 45°

Pada saat sudut masuk fluida kerja (β) = 0°, fluida kerja menumbuk pada sisi luar sudu dimana terjadinya *excess water* akibat fluida kerja yang terpotong pada ujung sudu dan fluida kerja tidak sempat menuju ruang antar sudu untuk memberikan gaya berat.

Pada pengujian visualisasi sudut sudu (θ) = 45° didapatkan pada saat sudut masuk fluida kerja (β) = 1/4 θ dan 2/4 θ dimana fluida kerja menumbuk pada sisi dalam sudu yang mengakibatkan terjadinya fenomena *back pressure flow* dan terjadinya efek pengeraman karena *blockage mass* pada ruang antar sudu.

Fenomena *back pressure* terlihat juga pada saat sudut masuk fluida kerja $\beta = 3/4 \theta$, dan θ dimana pengaruh dari fenomena *back pressure flow* adalah mengurangi luasan momentum fluida kerja dan mengakibatkan pengumpulan massa (*blockage mass*) dimana timbul efek pengeraman dan kincir mengalami *stuck* (tidak dapat berputar).

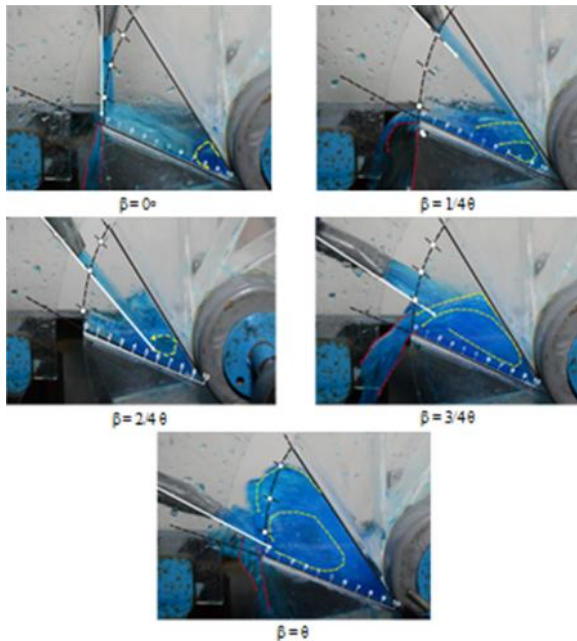
Fenomena *blockage mass* terjadi pada saat sudut masuk fluida kerja $\beta = 3/4 \theta$, dan θ . *Back pressure flow* menumbuk pada fluida kerja yang keluar dari nosel, dan terjadinya *excess water* (air yang tidak terpakai). Efek dari *excess water* adalah kurangnya momentum fluida kerja pada kincir

4.2.4 Visualisasi Sudut Sudu (θ) = 25°

Pada penelitian visualisasi pada kincir sudut sudu 25° menggunakan variasi sudut masuk fluida kerja (β) yaitu 0°, 1/4 θ , 2/4 θ , 3/4 θ dan θ .

Pada pengujian sudut sudu (θ) = 25° skala laboratorium, menunjukkan performansi terbaik pada sudut masuk fluida kerja (β) = 2/4 θ oleh Putra, KKJ (2019). Pada pengujian sudut sudu (θ) = 25° saat sudut masuk fluida kerja (β) = 0°, fluida kerja menumbuk pada sisi luar sudu dimana terjadinya

excess water akibat fluida kerja yang terpotong pada ujung sudu dan fluida kerja tidak sempat menuju ruang antar sudu untuk memberikan gaya berat.



Gambar 19. Pengaruh Variasi Sudut Masuk Fluida Pada Sudut Sudu (θ) 25°

Pada saat sudut masuk fluida kerja (β) = $1/4 \theta$ dimana fluida kerja menumbuk pada sisi dalam sudu yang mengakibatkan terjadinya fenomena *back pressure flow* dan terjadinya efek pengeraman karena *blockage mass* pada ruang antar sudu.

Pada saat sudut masuk fluida kerja (β) = $2/4 \theta$, fluida kerja menumbuk pada panjang lintasan (L) $0,8 L$ dengan menunjukkan fenomena *back pressure flow* yang tidak memenuhi ruang antar sudu.

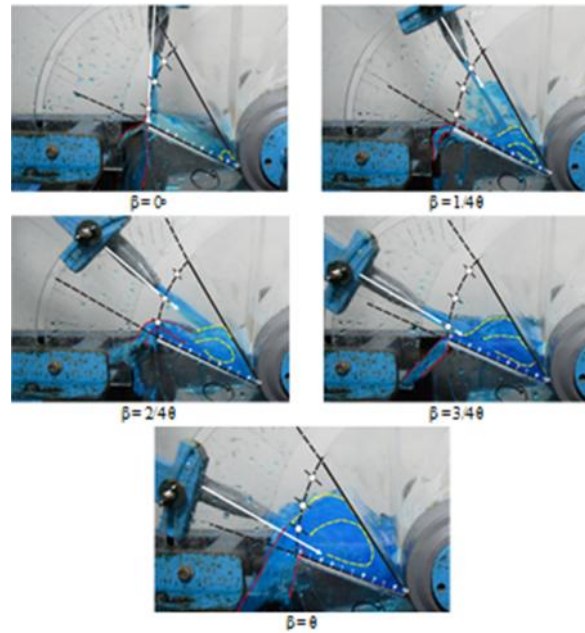
Pada saat sudut masuk fluida kerja $\beta = 3/4 \theta$, dan θ terlihat fenomena *back pressure flow* dan memberikan efek pengurangan luasan efektif fluida kerja dan mengakibatkan pengumpulan massa (*blockage mass*) dimana timbul efek pengeraman dan kincir mengalami *stuck* (tidak dapat berputar).

Back pressure flow menumbuk pada fluida kerja yang keluar dari nosel, dan terjadinya *excess water* (air yang tidak terpakai). Efek dari *excess water* adalah kurangnya momentum fluida kerja pada kincir.

4.2.5 Visualisasi Sudut Sudu (θ) = 0°

Pada penelitian visualisasi pada kincir sudut sudu 0° menggunakan variasi sudut masuk fluida kerja (β) yaitu 0° , $1/4 \theta$, $2/4 \theta$, $3/4 \theta$ dan θ .

Pada saat sudut masuk fluida kerja (β) = 0° , fluida kerja menumbuk pada sisi luar sudu dimana terjadinya *excess water* akibat fluida kerja yang terpotong pada ujung sudu dan fluida kerja tidak sempat menuju ruang antar sudu untuk memberikan gaya berat.



Gambar 20. Pengaruh Variasi Sudut Masuk Fluida Pada Sudut Sudu (θ) 0°

Pada pengujian visualisasi saat sudut masuk fluida kerja (β) = $2/4 \theta$ dimana fluida kerja menumbuk pada sisi dalam sudu yang mengakibatkan terjadinya fenomena *back pressure flow* dan terjadinya efek pengeraman karena *blockage mass* pada ruang antar sudu. Sedangkan visualisasi pada sudut masuk fluida kerja (β) = $1/4 \theta$, terlihat fluida menumbuk pada tidak menumbuk ke ruang antar sudu dan fenomena *back pressure flow* tidak memenuhi ruang antar sudu.

Fenomena *back pressure* terlihat juga pada saat sudut masuk fluida kerja $\beta = 3/4 \theta$, dan θ dimana pengaruh dari fenomena *back pressure flow* adalah mengurangi luasan momentum fluida kerja dan mengakibatkan pengumpulan massa (*blockage mass*) dimana timbul efek pengeraman dan kincir mengalami *stuck* (tidak dapat berputar).

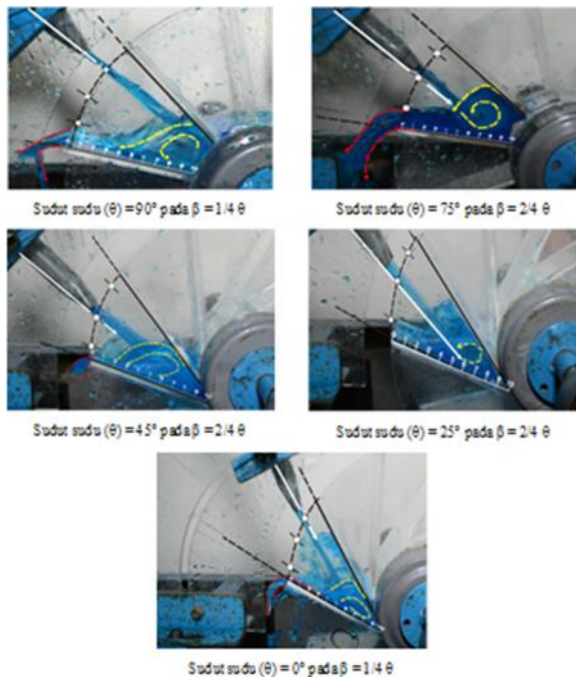
Pengaruh dari fenomena *back pressure flow* menumbuk pada fluida kerja yang keluar dari nosel, dan terjadinya *excess water* (air yang tidak terpakai). Efek dari *excess water* adalah kurangnya momentum fluida kerja pada kincir.

4.2.6 Visualisasi Pada Performansi Terbaik

Pada perbandingan hasil visualisasi pada performa terbaik dapat menjawab mengapa pada sudut sudu (θ) = 25° menghasilkan performa yang terbaik diantara sudut sudu lainnya.

Pada visualisasi sudut sudu (θ) = 25° , fluida kerja menumbuk pada sudu di titik 6 dan memberikan dorongan yang lebih maksimal dibandingkan lainnya. Fenomena *back pressure flow* pada sudut sudu (θ) = 25° ditunjukkan pada garis berwarna kuning, fenomena tersebut menumbuk balik pada fluida kerja yang hendak masuk dan efek pengeraman akibat fenomena *back pressure flow* lebih kecil dibandingkan lainnya. Fenomena *excess*

water pada sudut sudu (θ) = 25° lebih sedikit dibandingkan dengan sudut sudu lainnya dimana *excess water* terlihat banyak akibat efek pengeraman yang terjadi.



Gambar 21. Visualisasi Pada Performansi Terbaik Tiap Sudu Sudu

5. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari pengujian eksperimental skala laboratorium pada kincir air sudu lurus.

1. Pada sudut sudu (θ) = 25° menghasilkan performansi yang terbaik. Pada sudut sudu (θ) = 25° dengan sudut masuk fluida kerja (β) = $2/4 \theta$ dan kecepatan putaran = 60 rpm menghasilkan performansi maksimum, dimana menghasilkan daya poros maksimum 1,379 watt dengan efisiensi mencapai 38,9 %.
2. Pengaruh dari aliran separasi terhadap performansi kerja kincir air yaitu, terjadinya penurunan akibat efek pengeraman (disebabkan oleh fenomena back pressure flow).
3. Pengaruh sudut masuk fluida kerja (β) akan mempengaruhi terjadinya fenomena back pressure flow. Pada saat nilai sudut masuk fluida kerja $\beta = \theta$, maka fenomena back pressure flow akan muncul dan terjadi penurunan debit aliran dan momentum aliran berkurang, yang dimana ini terjadi akibat back pressure flow yang menumbuk pada aliran fluida kerja yang hendak menumbuk ke blade sudu kincir, timbul efek pengeraman dan stuck yang berakibat kincir tidak dapat berputar.

Daftar Pustaka

- [1] Jasa,L., I Putu Ardana, I Nyoman Setiawan, 2011, *Usaha Mengatasi Krisis Energi Dengan Memanfaatkan Aliran Sungai (Pangkung) Sebagai Pembangkit Energi*

Listrik Alternatif, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri XV, Universitas Udayana, Bali

- [2] Atmaja, S.T., Khoiri Rozi, 2011, *Distribusi Tekanan Akibat Efek Secondary Flow Dan Separasi Pada Inner Wall Dari Rectangular Elbow*, Jurnal, Univeristas Diponegoro



Kadek Krisna Jaya Putra menyelesaikan studi program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2015 sampai 2019. menyelesaikan studi program sarjana dengan topik penelitian Pengaruh Aliran Separasi Pada Sudu Lurus Terhadap Performansi Kerja Kincir Air.