

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian variasi sistem aliran fluida terhadap kinerja kincir air tipe sudu datar pada kecepatan putar kincir 30 rpm

- Tabel 4.1 Data pengujian kincir air tipe sudu datar dengan sistem aliran fluida *undershot* & *overshot*

No	Debit aliran air (m ³ /jam)	Debit aliran air (m ³ /s)	Kecepatan aliran air (m/s)	Tinggi penampang aliran (m)	Lebar saluran (m)	Luas penampang aliran (m ²)
1	10	$2,78 \times 10^{-3}$	1,24	$4,48 \times 10^{-3}$	0,5	$2,24 \times 10^{-3}$
2	12	$3,33 \times 10^{-3}$	1,29	$5,17 \times 10^{-3}$	0,5	$2,58 \times 10^{-3}$
3	14	$3,89 \times 10^{-3}$	1,35	$5,76 \times 10^{-3}$	0,5	$2,88 \times 10^{-3}$
4	16	$4,44 \times 10^{-3}$	1,38	$6,44 \times 10^{-3}$	0,5	$3,22 \times 10^{-3}$
5	18	5×10^{-3}	1,41	$7,09 \times 10^{-3}$	0,5	$3,55 \times 10^{-3}$
6	20	$5,56 \times 10^{-3}$	1,44	$7,72 \times 10^{-3}$	0,5	$3,86 \times 10^{-3}$

4.1.2 Contoh Perhitungan

- Data pengujian kincir air tipe sudu datar dengan sistem aliran fluida *undershot*
 - Debit aliran air (Q) = 14 m³/jam
 - Kecepatan putar kincir (n) = 30 rpm
 - Gaya pengereman kincir (F) = 5, 824 N

Sehingga dari data-data di atas dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

1. Kecepatan aliran air (V) :

$$Q = A \times V$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,003889}{0,00576 \times 0,5} = 1,35 \text{ m/s}$$

Dimana :

Q = debit aliran air (m³/s)

A = luas penampang saluran (m²)

Nilai A diperoleh dari tinggi air (0,00576 m) dikalikan dengan lebar saluran (0,5 m)

2. Torsi (T) :

$$T = F \times R$$

$$T = 5,8242 \times 0,1 = 0,582 \text{ Nm}$$

Dimana :

F = gaya pengereman kincir (N)

R = lengan gaya (m)

Nilai R diperoleh dari pengukuran jarak antara poros terhadap pulley (0,1 m)

3. Rasio U/Vs :

$$\frac{U}{V_s} = \frac{\omega \times R}{V_s}$$

$$\frac{U}{V_s} = \frac{\frac{2 \times \pi \times n}{60} \times R}{V_s} = \frac{\frac{2 \times \pi \times 30}{60} \times 0,205}{1,35} = 0,476$$

Dimana :

U = rasio kecepatan tangensial sudu

R = radius kincir (0,205 m)

Vs = kecepatan aliran air (m/s)

4. Daya Air (WHP) :

$$WHP = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V_s^3$$

$$WHP = \frac{1}{2} \times 1000 \times (0,00576 \times 0,5) \times 1,35^3 = 3,542 \text{ Watt}$$

Dimana :

ρ = massa jenis air (kg/m³)

A = luas penampang saluran (m²)

Vs = kecepatan aliran (m/s)

5. Daya Poros (BHP) :

$$BHP = T \times \omega$$

$$BHP = 0,58242 \times \frac{2 \times \pi \times 30}{60} = 1,828 \text{ Watt}$$

Dimana :

T = torsi (Nm)

ω = kecepatan sudut kincir (rad/s)

6. Efisiensi :

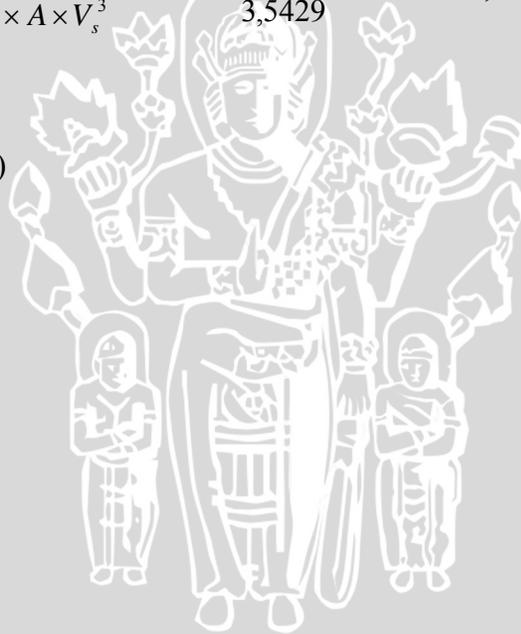
$$\eta = \frac{BHP}{WHP} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{T \times \omega}{\frac{1}{2} \times \rho \times A \times V_s^3} \times 100\% = \frac{1,8287}{3,5429} \times 100\% = 51,6\%$$

Dimana :

BHP = Daya Poros (Watt)

WHP = Daya Air (Watt)



• Tabel 4.2 Data perhitungan kincir air tipe sudu datar dengan sistem aliran fluida *undershot*

No	Debit aliran air (m ³ /jam)	Kecepatan aliran air (m/s)	Gaya Pengereman (N)	Torsi (Nm)	Rasio U/Vs	Daya Air (Watt)	Daya Poros (Watt)	Efisiensi (%)
			3,549	0,355		2,135	1,115	52,192
1	10	1,24	3,549	0,355	0,519	2,135	1,115	52,192
			3,749	0,375		2,135	1,177	55,133
			4,510	0,451		2,774	1,416	51,062
2	12	1,29	4,721	0,472	0,498	2,774	1,482	53,448
			4,571	0,457		2,774	1,435	51,750
			5,824	0,582		3,544	1,829	51,600
3	14	1,35	5,824	0,582	0,476	3,544	1,829	51,600
			5,824	0,582		3,544	1,829	51,600
			6,648	0,665		4,233	2,087	49,318
4	16	1,38	6,389	0,639	0,466	4,233	2,006	47,398
			6,789	0,679		4,233	2,132	50,366
			8,187	0,819		4,970	2,571	51,725
5	18	1,41	8,187	0,819	0,456	4,970	2,571	51,725
			8,087	0,809		4,970	2,539	51,093
			8,746	0,875		5,760	2,746	47,679
6	20	1,44	8,746	0,875	0,447	5,760	2,746	47,679
			9,246	0,925		5,760	2,903	50,405

• Tabel 4.3 Data perhitungan kincir air tipe sudu datar dengan sistem aliran fluida *overshot*

No	Debit aliran air (m ³ /jam)	Kecepatan aliran air (m/s)	Gaya Pengereman (N)	Torsi (Nm)	Rasio U/Vs	Daya Air (Watt)	Daya Poros (Watt)	Efisiensi (%)
1	10	1,24	2,657	0,266	0,519	2,135	0,834	39,072
			2,657	0,266		2,135	0,834	39,072
			2,657	0,266		2,135	0,834	39,072
2	12	1,29	4,530	0,453	0,498	2,774	1,422	51,286
			4,630	0,463		2,774	1,454	52,418
			4,830	0,483		2,774	1,517	54,682
3	14	1,35	6,207	0,621	0,476	3,544	1,949	54,990
			6,648	0,665		3,544	2,087	58,899
			6,648	0,665		3,544	2,087	58,899
4	16	1,38	7,246	0,725	0,466	4,233	2,275	53,758
			7,246	0,725		4,233	2,275	53,758
			7,446	0,745		4,233	2,338	55,242
5	18	1,41	9,276	0,928	0,456	4,970	2,913	58,602
			9,276	0,928		4,970	2,913	58,602
			9,276	0,928		4,970	2,913	58,602
6	20	1,44	11,374	1,137	0,447	5,760	3,571	62,004
			11,574	1,157		5,760	3,634	63,095
			11,374	1,137		5,760	3,571	62,004

4.2 Analisa Statistik

Dari data pengujian dapat dianalisa apakah faktor-faktor dalam pengujian ini seperti variasi sistem aliran fluida kincir air dan debit aliran air memiliki pengaruh terhadap kinerja kincir air atau tidak. Pada setiap pengambilan data kinerja kincir air, kedua faktor di atas tercakup di dalamnya. Oleh karena itu, analisa statistik yang dilakukan adalah analisis varian dua arah (*two way ANOVA*).

4.2.1 Analisis Varian Dua Arah (*Two Way ANOVA*)

Untuk mengetahui berpengaruh atau tidaknya variasi sistem aliran fluida dan debit aliran air terhadap kinerja kincir air perlu dilakukan analisis varian dua arah. Apabila nilai F_{hitung} lebih besar daripada F_{tabel} maka faktor yang diuji berpengaruh secara nyata. Namun, bila nilai F_{hitung} lebih kecil atau sama dengan F_{tabel} maka faktor yang diuji tidak berpengaruh secara nyata.

1. Formulasi Hipotesis :

1) $H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_b = 0$

(Tidak ada pengaruh variasi debit aliran fluida terhadap kinerja kincir air)

H_1 : sekurang-kurangnya satu ukuran variasi sistem aliran fluida berpengaruh terhadap kinerja kincir air

2) $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$

(Tidak ada pengaruh variasi sistem aliran fluida terhadap kinerja kincir air)

H_1 : sekurang-kurangnya satu ukuran variasi debit aliran fluida berpengaruh terhadap kinerja kincir air

3) $H_0 : (\alpha.\beta)_1 = (\alpha.\beta)_2 = \dots = (\alpha.\beta)_{ij} = 0$

(Tidak ada pengaruh variasi sistem aliran fluida dan debit aliran terhadap kinerja kincir air)

H_1 : sekurang-kurangnya satu ukuran variasi sistem aliran dan debit aliran fluida berpengaruh terhadap kinerja kincir air

2. Taraf Nyata dan Nilai F_{tabel}

$\alpha = 0,05$

Untuk baris $F_{tabel} = 2,62$

Untuk kolom $F_{tabel} = 4,25$

Untuk interaksi $F_{tabel} = 2,62$

3. Menentukan kriteria pengujian

a. Untuk baris :

H_0 diterima jika $F_{hitung} \leq 2,62$

H_0 ditolak jika $F_{hitung} > 2,62$

b. Untuk kolom :

H_0 diterima jika $F_{hitung} \leq 4,25$

H_0 ditolak jika $F_{hitung} > 4,25$

c. Untuk interaksi :

H_0 diterima jika $F_{hitung} \leq 2,62$

H_0 ditolak jika $F_{hitung} > 2,62$

4. Membuat Analisis Varians dalam bentuk tabel ANOVA

Tabel 4.4 ANOVA

ANOVA					
<i>Sumber Varian</i>	<i>Jumlah kuadrat</i>	<i>Derajat bebas</i>	<i>Kuadrat Tengah</i>	<i>Fhitung</i>	<i>F tabel</i>
Debit	367,2844	5	73,45688	47,69888	2,620654
Sistem aliran	87,40186	1	87,40186	56,75399	4,259677
Interaksi	666,6145	5	133,3229	86,57261	2,620654
Galat	36,9603	24	1,540013		
TOTAL	1158,261	35			

5. Kesimpulan

- 1) Untuk baris : karena $F_{hitung} > F_{tabel}$ yaitu $47,69 > 2,62$, maka H_0 ditolak jadi sekurang-kurangnya satu ukuran variasi sistem aliran fluida berpengaruh terhadap efisiensi kincir air.
- 2) Untuk kolom : karena $F_{hitung} > F_{tabel}$ yaitu $56,75 > 4,25$, maka H_0 ditolak jadi sekurang-kurangnya satu ukuran debit aliran berpengaruh terhadap efisiensi kincir air.
- 3) Untuk interaksi : karena $F_{hitung} > F_{tabel}$ yaitu $86,57 > 2,62$, maka H_0 ditolak jadi sekurang-kurangnya satu ukuran variasi sistem aliran fluida dan debit aliran berpengaruh terhadap efisiensi kincir air.

4.2.2 Contoh Perhitungan Analisis Statistik

Dari data hasil pengujian dapat dilakukan analisis statistik untuk menguji hipotesis. Sebagai contoh perhitungan, diambil data dari pengujian dengan variasi debit air dan sistem aliran fluida terhadap efisiensi pada kincir air.

Tabel 4.5 Data pengujian hipotesis pengaruh variasi debit air dan sistem aliran fluida terhadap efisiensi kincir air.

		Efisiensi pada variasi sistem aliran (%)		Σ_B
		Undershot	Overshot	
Debit air (m ³ /jam)		52,19171	39,07247	
		52,19171	39,07247	
		55,13258	39,07247	
	$\Sigma K1$	159,516	117,2174	276,7334
		51,06153	51,28569	
		53,44807	52,41782	
		51,74987	54,68209	
	$\Sigma K2$	156,2595	158,3856	314,6451
		51,6002	54,98989	
		51,6002	58,89875	
		51,6002	58,89875	
	$\Sigma K3$	154,8006	172,7874	327,588
		49,31847	53,75786	
		47,39849	53,75786	
		50,366	55,24161	
	$\Sigma K4$	147,083	162,7573	309,8403
		51,72482	58,60234	
		51,72482	58,60234	
		51,09304	58,60234	
	$\Sigma K5$	154,5427	175,807	330,3497
		47,67924	62,00449	
		47,67924	63,09478	
		50,40495	62,00449	
	$\Sigma K6$	145,7634	187,1038	332,8672
$\Sigma K Tot$	917,9651	974,0585	1892,024	

$$FK = \frac{1892,024^2}{6 \cdot 2 \cdot 3} = 99437,6338$$

$$\begin{aligned} JKT &= (52,19171^2 + 52,19171^2 + \dots + 62,00449^2) - FK \\ &= 100595,9 - 99437,6338 \\ &= 1158,2662 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} JKA &= \frac{(276,7334^2 + 314,6451^2 + \dots + 332,8672^2)}{2 \cdot 3} - FK \\ &= 99804,88 - 99437,6338 = 367,2462 \end{aligned}$$

Dimana A = baris, yaitu faktor debit air.

$$\begin{aligned} JKB &= \frac{(917,9651^2 + 974,0585^2)}{6 \cdot 3} - FK \\ &= 99525 - 99437,6338 = 87,366 \end{aligned}$$

Dimana B = kolom, yaitu faktor variasi sistem aliran fluida

JKPerlakuan

$$\begin{aligned} &= \frac{(159,516^2 + 156,2595^2 + \dots + 187,1038^2)}{3} - \frac{(276,7334^2 + 314,6451^2 + \dots + 332,8672^2)}{2 \cdot 3} \\ &\quad - \frac{(917,9651^2 + 974,0585^2)}{6 \cdot 3} + FK \\ &= 100558,9 - 99804,88 - 99525 + 99437,6338 \\ &= 666,654 \end{aligned}$$

Dimana perlakuan = kombinasi antara kondisi ke-I faktor debit air dan kondisi ke -j faktor variasi sistem aliran fluida.

$$JKI = JKPerlakuan = 666,654$$

Dimana I = interaksi antara faktor debit air dan faktor sistem aliran fluida

$$JKG = 1158,2662 - 1121,2662 = 37$$

Dimana G = galat

Kemudian, masing-masing suku dibagi dengan derajat bebasnya sehingga diperoleh nilai varian dari masing-masing suku tersebut. Nilai ini sering disebut dengan kuadrat tengah yang disingkat

KT. Nilai varian tersebut yaitu :

$$KTA = \frac{JKA}{(r-1)} = \frac{367,2462}{6-1} = 73,449$$

$$KTB = \frac{JKB}{(C-1)} = \frac{87,366}{(2-1)} = 87,366$$

$$KTI = \frac{JKI}{(r-1)(c-1)} = \frac{666,654}{(6-1)(2-1)} = 133,33$$

$$KTG = \frac{JKG}{r \cdot c(t-1)} = \frac{37}{6 \cdot 2(3-1)} = 1,542$$

Untuk menguji ketiga hipotesis diatas kita mencari harga Fhitung masing-masing sumber keragaman (variasi debit air, sistem aliran serta interaksi debit air dengan sistem aliran fluida), kemudian hasilnya dibandingkan dengan Ftabel pada derajat bebas sesuai dengan nilai α sebesar 5 %. Nilai Fhitung dari masing-masing sumber keragaman adalah sebagai berikut :

$$F_1 = \frac{KTA}{KTG} = \frac{73,449}{1,542} = 47,632$$

Dimana F1 = Fhitung dari debit air

$$F_2 = \frac{KTB}{KTG} = \frac{87,366}{1,542} = 56,657$$

Dimana F2 = Fhitung dari sistem aliran fluida

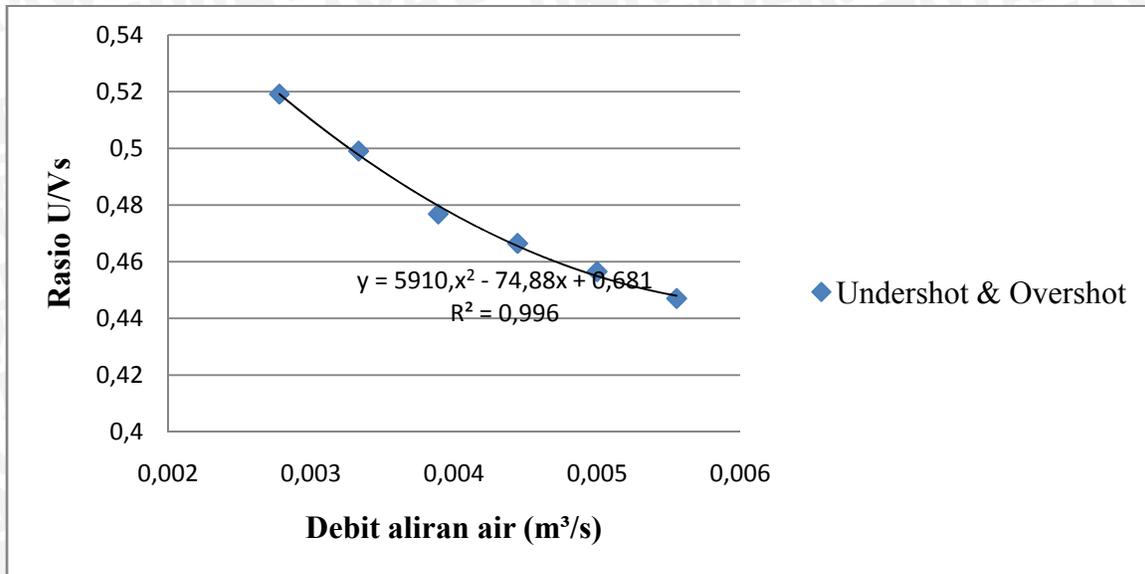
$$F_3 = \frac{KTI}{KTG} = \frac{133,33}{1,542} = 86,465$$

Dimana F3 = Fhitung dari interaksi debit air dengan sistem aliran fluida

Untuk perhitungan analisis statistik rasio U/v, daya poros dan daya air kincir air, tahapan perhitungan mengikuti uraian di atas.

4.3 Pembahasan

4.3.1 Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Air terhadap Rasio U/Vs pada Variasi sistem aliran fluida



Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara Debit Aliran Air terhadap Rasio U/Vs pada Variasi Sistem Aliran Fluida

Hubungan antara debit air terhadap rasio U/Vs tersaji dalam gambar 4.1. Sumbu absis pada gambar di atas menyatakan debit aliran air, sedangkan sumbu ordinat menyatakan rasio U/Vs. Rasio U/Vs adalah rasio kecepatan tangensial sudu (U) terhadap kecepatan aliran air (Vs). Fungsi dari rasio U/Vs adalah mempermudah mendesain kincir air yang akan digunakan untuk berbagai keperluan.

Dari gambar dapat diketahui bahwa pada debit yang sama baik untuk jenis *undershot* maupun *overshot*, rasio U/Vs adalah sama. Hal ini disebabkan pada debit yang sama, kecepatan aliran juga sama sedangkan nilai U yang merupakan perkalian kecepatan sudut (ω) dengan radius kincir (R) dimana keduanya dijaga konstan sehingga nilai rasio U/Vs sama.

Selain itu, pada gambar 4.1 dapat diketahui bahwa semakin tinggi debit aliran air maka semakin kecil pula nilai rasio U/Vs. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi debit aliran, tinggi penampang aliran bertambah sehingga kecepatan aliran juga ikut meningkat. Jika semakin tinggi kecepatan aliran maka nilai rasio U/Vs akan semakin kecil dengan nilai U dijaga konstan.

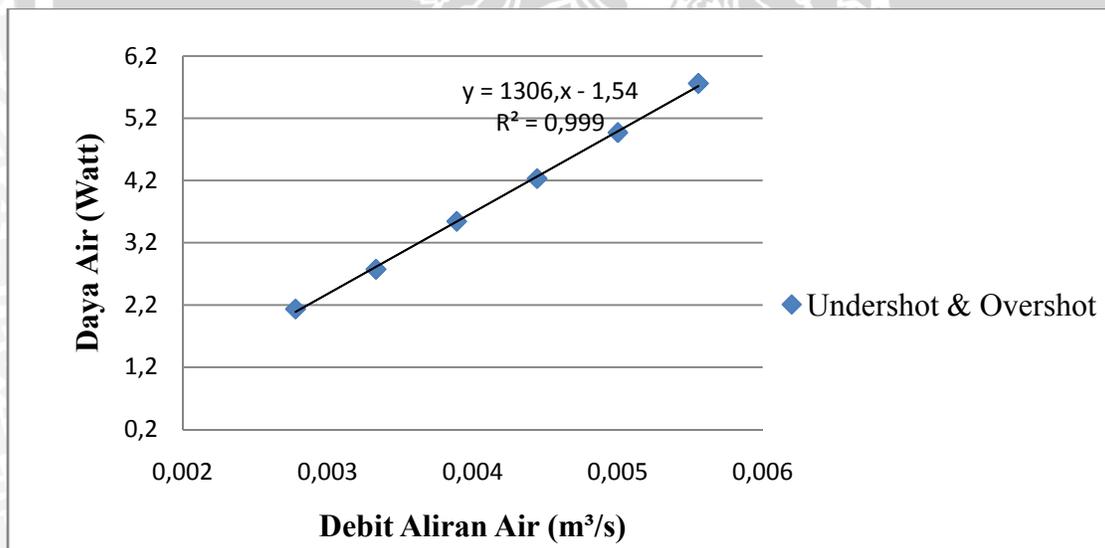
Selain itu dapat ditunjukkan melalui persamaan berikut :

$$\text{Rasio } \frac{U}{V_s} = \frac{\omega \times R}{V_s} = \frac{2 \times \pi \times n}{60} \times R$$

Dari persamaan di atas dapat dibuktikan bahwa semakin tinggi kecepatan aliran maka nilai rasio U/V_s akan semakin kecil dimana kondisi U selama penelitian adalah tetap. Nilai U tetap disebabkan karena nilai kecepatan sudut (ω) adalah konstan yaitu sebesar 3,14 rad/s dan nilai radius kincir (R) adalah tetap yaitu sebesar 0,205 m.

Baik untuk kincir air dengan variasi sistem aliran fluida *overshot* maupun *undershot* memiliki nilai rasio U/V_s tertinggi dengan nilai 0,52 pada saat debit aliran 0,002778 m³/s sedangkan nilai rasio U/V_s terendah dengan nilai 0,45 pada saat debit aliran 0,005556 m³/s.

4.3.2 Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Air terhadap Daya Air pada Variasi sistem aliran fluida



Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara Debit Aliran Air terhadap Daya Air pada Variasi Sistem Aliran Fluida

Hubungan antara debit aliran air terhadap daya air tersaji dalam gambar 4.2. Sumbu absis pada gambar di atas menyatakan debit aliran air, sedangkan sumbu ordinat menyatakan daya air.

Daya air adalah input energi yang dihasilkan dari debit aliran air yang nantinya digunakan untuk memutar poros kincir air.

Dari gambar dapat diketahui bahwa pada debit yang sama untuk system aliran yang berbeda, nilai WHP adalah sama. Hal ini disebabkan karena pada debit yang sama, kecepatan aliran juga sama sehingga nilai WHP yang merupakan energi kinetik adalah sama.

Selain itu, pada gambar 4.2 dapat diketahui bahwa semakin tinggi debit aliran air maka semakin besar pula nilai daya air. Dimana debit berbanding lurus dengan daya teoritis (Rahmat dkk, hal 3). Hal ini disebabkan karena semakin tinggi debit aliran maka tinggi penampang aliran dan kecepatan aliran juga ikut bertambah sehingga jika semakin tinggi kecepatan aliran maka nilai daya air akan semakin besar.

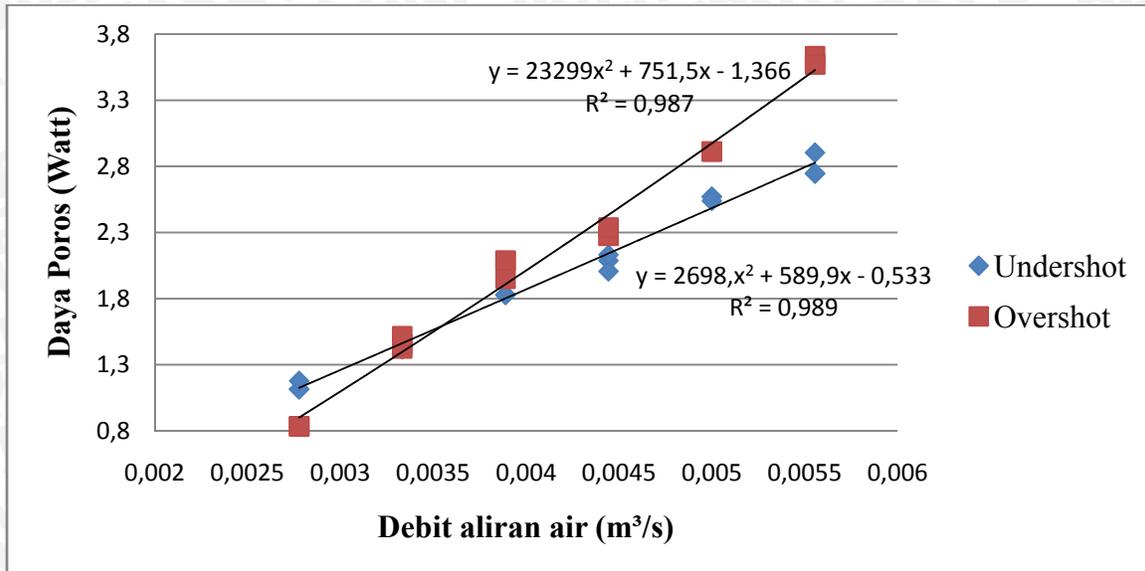
Selain itu dapat ditunjukkan melalui persamaan berikut :

$$\text{Daya air} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V_s^3 = \frac{1}{2} \times \rho \times (b \times h) \times V_s^3$$

Dari persamaan di atas dapat dibuktikan bahwa semakin tinggi kecepatan aliran (V_s) maka nilai daya air akan semakin besar dimana massa jenis (ρ) dan lebar saluran (b) selama penelitian adalah tetap yaitu 1000 kg/m^3 dan $0,5 \text{ m}$. Selain itu tinggi penampang aliran (h) juga berpengaruh terhadap nilai daya air dikarenakan semakin tinggi debit aliran maka tinggi air yang akan menubruk sudu baik jenis *overshot* dan *undershot* juga semakin tinggi sehingga nilai luas penampang (A) semakin meningkat. Jika nilai A dan V_s semakin meningkat maka daya air juga akan meningkat.

Baik untuk kincir air dengan variasi sistem aliran fluida *overshot* maupun *undershot* memiliki nilai daya air tertinggi dengan nilai $5,76 \text{ Watt}$ pada saat debit aliran $0,005556 \text{ m}^3/\text{s}$ sedangkan nilai daya air terendah dengan nilai $2,2 \text{ Watt}$ pada saat debit aliran $0,002778 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.3.3 Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Air terhadap Daya Poros pada Variasi sistem aliran fluida



Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara Debit Aliran Air terhadap Daya Poros pada Variasi Sistem Aliran Fluida

Hubungan antara debit aliran air terhadap daya poros tersaji dalam gambar 4.3. Sumbu absis pada gambar di atas menyatakan debit aliran air, sedangkan sumbu ordinat menyatakan daya poros. Daya poros adalah output energi yang dihasilkan dari daya air, yang nantinya berupa putaran poros kincir air dan diberikan pembebanan.

Dari gambar dapat diketahui bahwa secara umum semakin tinggi debit aliran air maka nilai BHP akan semakin besar. Dimana debit berbanding lurus dengan daya efektif (Rahmat dkk, hal 3). Hal ini disebabkan karena semakin tinggi debit, massa aliran dan titik tangkap gaya akan semakin besar sehingga torsi yang dihasilkan juga ikut bertambah dan nilai BHP akan semakin besar pula.

Selain itu, pada gambar dapat diketahui bahwa kincir air *undershot* memiliki nilai BHP yang lebih kecil daripada *overshot*. Hal ini disebabkan karena pada kincir air *undershot* efisiensi volumetrik semakin kecil yaitu semakin tinggi debit aliran maka massa aliran yang menumbuk sudu sedikit yang nantinya akan mempengaruhi torsi. Jika torsi akan semakin menurun dengan nilai ω yang dijaga konstan sehingga nilai BHP *undershot* akan semakin kecil daripada *undershot*.

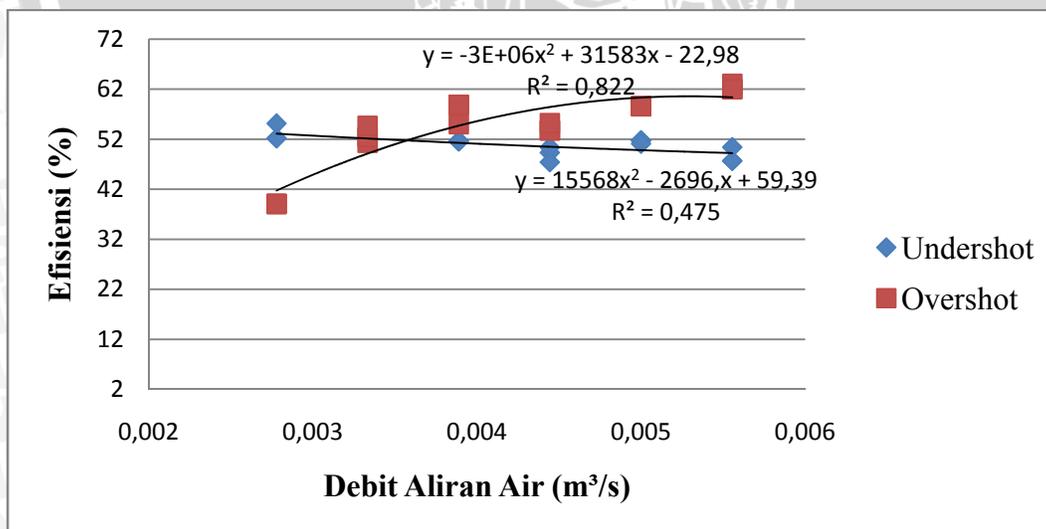
Selain itu dapat dilihat melalui persamaan berikut :

$$Daya\ poros = T \times \omega = F \times R \times \omega = m \times g \times R \times \omega$$

Dari persamaan di atas dapat dibuktikan bahwa semakin tinggi debit aliran maka semakin tinggi juga massa dan kecepatan alirannya sehingga titik tangkap gaya juga semakin besar, yang nantinya akan mempengaruhi torsi. Akibat perbedaan titik tangkap gaya, torsi semakin meningkat pula dengan nilai ω yang dijaga konstan sehingga nilai BHP *overshot* akan semakin besar daripada *undershot*.

Kincir air dengan variasi sistem aliran fluida *overshot* memiliki nilai daya poros tertinggi dengan nilai 3,63 Watt pada saat debit aliran 0,005556 m³/s sedangkan nilai daya poros terendah dengan nilai 0,83 Watt pada saat debit aliran 0,002778 m³/s. Sedangkan kincir air dengan variasi sistem aliran fluida *undershot* memiliki nilai daya poros tertinggi dengan nilai 2,9 Watt pada saat debit aliran 0,005556 m³/s sedangkan nilai daya poros terendah dengan nilai 1,11 Watt pada saat debit aliran 0,002778 m³/s.

4.3.4 Grafik Hubungan Antara Debit Aliran Air terhadap Efisiensi pada Variasi sistem aliran fluida



Gambar 4.4 Grafik Hubungan antara Debit Aliran Air terhadap Efisiensi pada Variasi Sistem Aliran Fluida

Hubungan antara debit aliran air terhadap efisiensi tersaji dalam gambar 4.4. Sumbu absis pada gambar di atas menyatakan debit aliran air, sedangkan sumbu ordinat menyatakan efisiensi. Efisiensi menyatakan kemampuan turbin untuk mengubah energi fluida menjadi energi yang berguna bagi poros turbin (Rahmat dkk, hal 5).

Dari gambar dapat diketahui bahwa pada kincir air *overshot*, semakin tinggi debit aliran air, maka nilai efisiensi akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi debit maka tinggi penampang aliran dan kecepatan ikut bertambah sehingga nilai WHP yang merupakan energi kinetik menjadi besar sedangkan semakin tinggi debit maka semakin besar pula nilai massa aliran dan titik tangkap gaya sehingga torsi yang dihasilkan ikut bertambah dan nilai BHP akan semakin besar. Jadi efisiensi yang merupakan perbandingan antara nilai BHP dengan WHP akan semakin besar pula.

Selain itu, dari gambar di atas dapat diketahui bahwa pada kincir air *undershot*, semakin tinggi debit aliran air, maka nilai efisiensi akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena pada kincir air *undershot* terdapat kerugian yaitu, semakin tinggi debit maka nilai massa dan kecepatan aliran yang menumbuk tidak terkonversi seluruhnya sehingga titik tangkap gaya menjadi kecil dan torsi yang dihasilkan ikut menurun sehingga nilai BHP akan semakin kecil pula. Jadi efisiensi yang merupakan perbandingan antara nilai BHP dengan WHP akan semakin kecil pula.

Selain itu dapat ditunjukkan melalui persamaan berikut :

$$\eta = \frac{BHP}{WHP} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{T \times \omega}{\frac{1}{2} \times \rho \times A \times V_s^3} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{FxR \times \omega}{\frac{1}{2} \times \rho \times A \times V_s^3} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{m \times g \times R \times \omega}{\frac{1}{2} \times \rho \times A \times V_s^3} \times 100\%$$

Dari persamaan di atas dapat dibuktikan bahwa untuk nilai WHP yang sama, kincir air *overshot* memiliki nilai efisiensi yang paling tinggi daripada *undershot* dikarenakan nilai BHP *overshot* lebih besar daripada *undershot*. Nilai BHP yang merupakan perkalian antara torsi (T) dengan nilai ω . Pada kincir air *undershot* efisiensi volumetrik bernilai kecil yaitu massa aliran saat menumbuk sudu sedikit sehingga nilai torsi akan semakin menurun pula untuk nilai ω yang dijaga konstan.

Kincir air dengan variasi sistem aliran fluida *overshot* memiliki nilai efisiensi tertinggi dengan nilai 62% pada saat debit aliran $0,005556 \text{ m}^3/\text{s}$ sedangkan nilai efisiensi terendah dengan nilai 39% pada saat debit aliran $0,002778 \text{ m}^3/\text{s}$. Sedangkan kincir air dengan variasi sistem aliran fluida *undershot* memiliki nilai efisiensi tertinggi dengan nilai 55% pada saat debit aliran $0,002778 \text{ m}^3/\text{s}$ sedangkan nilai efisiensi terendah dengan nilai 47% pada saat debit aliran $0,005556 \text{ m}^3/\text{s}$.

