

UJI EKSPERIMENTAL BENTUK SUDU-SUDU PADA RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR TURBIN PELTON

Achmad Husen

Program studi Teknik Mesin , Fakultas Teknoogi Industri

Institut Sains Dan Teknolohi Nasional,

Jl. Moh. Kahfi II, Srengseng Sawah, Jagakarsa, DKI Jakarta 12630

amd.husen69@gmail.com

ABSTRAKSI

Turbin pelton merupakan sistem konversi energi air yang memiliki potensi yang baik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di dalam negri. Akan tetapi, untuk mendapatkan turbin pelton dengan efisiensi dan daya yang di ingin kan tergantung pada desain turbin itu sendiri. Tujuan penelitian ini adalah memahami karakteristik sudu-sudu turbin, khususnya turbin pelton. Penelitian ini menggunakan metode statistika perbandingan dengan 3 varian. Turbin pelton pada penelitian ini memiliki putaran diameter 225 mm dan panjang poros 250 mm. Model 3D dari turnin pelton dibuat dengan software CAD SolidWorks dengan Variasi 1 setengah bola, 2 setengah silinder, dan 3 plat persegi. Debit air yang digunakan pada pengujian diatur oleh katup, dengan penutupan katub 0°, 20°, 40° dan 45°. Dari pengujian tersebut dihasilkan data debit , jumlah putaran dan gaya beban turbin, yang kemudian dilanjutkan ke proses perhitungan untuk mendapatkan daya, torsi turbin dan efisiensi. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan adalah varian 3 menunjukan performa yang lebih baik dibandingkan dengan varian 1 dan 2. Varian 3 menghasilkan daya 4,04 watt dan torsi 0,105 N.m paling tinggi dibandingkan dengan varian yang lain. Dengan pengolahan data varian 3, dapat dilihat kebagusan dari kinerja turbin yaitu terlihat dari korelasi (r) antara efisiensi turbin dengan debit sebesar 62,75 % dipengaruhi oleh debit dan 37,25 % dipengaruhi yang lain.

Kata kunci ; Turbin pelton, Model 3D, Metode statistika perbandingan, Efisiensi.

ABSTRACT

Pelton turbine is a water energy conversion system that has good potential to meet domestic electrical energy needs. However, getting a Pelton turbine with the desired efficiency and power depends on the turbine design itself. The purpose of this research is to understand the characteristics of turbine blades, especially the Pelton turbine. This study uses a statistical comparison method with 3 variants. The Pelton turbine in this study has a diameter of 225 mm and a shaft length of 250 mm. 3D model of turnin pelton made with SolidWorks CAD software with variations of 1 half ball, 2 half cylinder, and 3 square plates. The water discharge used in the test is regulated by a valve, with valve closings at 0 °, 20 °, 40 ° and 45 °. From this test, data on the discharge, number of turns and load force of the turbine are generated, which is then proceed to the calculation process to obtain power, turbine torque and efficiency. The result of the research that has been done is that variant 3 shows better performance compared to variants 1 and 2. Variant 3 produces the highest 4.04 watts of power and 0.105 N.m of torque compared to other variants. By processing variant 3 data, it can be seen that the goodness of the turbine performance is seen from the correlation (r) between the efficiency of the turbine and the discharge of 62.75% is influenced by the discharge and 37.25% is influenced by others.

Keywords ; Pelton turbine, 3D model, Comparative statistical method, Efficiency.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sebagaimana yang kita ketahui penggunaan pembangkit listrik tenaga air (PLTA) sudah begitu luas baik dikalangan masyarakat maupun pada industri-industri baik skala kecil, menengah, maupun skala besar, bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari air. Untuk itu dalam pemanfaatan sumber daya alam terutama air, diperlukan tenaga-tenaga ahli yang dapat diandalkan untuk menjamin terlaksananya pemanfaatan sumber daya alam terutama air yang lebih optimal.

Dalam hasil rancang bangun pembangkit listrik tenaga air yang berbasis mikrohidro yang dibuat sodara Dito Bagus Prakoso dalam pemilihan bentuk turbin yang seefisien mungkin maka diperlukan sebuah eksperimen bentuk sudu turbin yang berfungsi untuk menerima energi kinetik air dan diteruskan ke poros turbin sehingga dapat memutar generator dan menghasilkan daya listrik yang diinginkan. Untuk mengetahui besar kecilnya pengaruh bentuk sudu-sudu turbin pada daya listrik yang dihasilkan tersebut dipandang perlunya mengadakan pengujian lebih lanjut.

Untuk itu maka dilakukanlah sebuah pengujian eksperimental bentuk sudu-sudu pada rancang bangun pembangkit listrik tenaga air. dalam pengujian nantinya, akan dilakukan dengan pemasangan beberapa eksperimen bentuk sudu-sudu turbin, dan akan dilakukan dalam beberapa kali pengujian, dengan adanya pengujian tersebut maka bisa dilihat prestasi kerja sudu-sudu turbin. Sehingga didapat data aktual apakah sesuai dengan karakteristik sudu-sudu turbin yang efisien atau tidak.

1.2. Tujuan Penelitian

Berdasarkan tujuan latar belakang yang telah di bahas dan batasan yang di jelaskan diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Memahami kinerja turbin pelton.

2. Memahami karakteristik sudu-sudu turbin, khususnya turbin pelton.

1.3. Manfaat Penelitian

Dari tujuan penelitian yang dilaksanakan, didapatkan manfaat dari penelitian ini adalah :

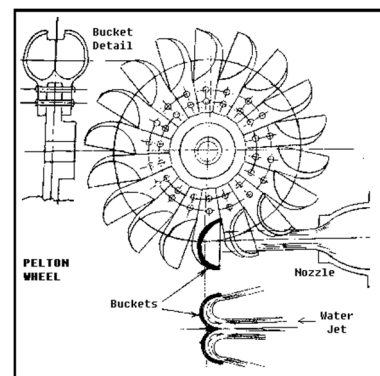
1. Menjadi referensi bagi mahasiswa teknik mesin yang mengambil peminatan konversi energi.
2. Sebagai bahan referensi mengenai langkah langkah atau prosedur perancangan suatu turbin air beserta instalasinya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

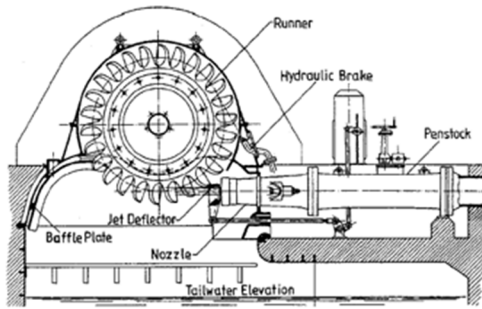
2.1 Turbin Pelton

Turbin Pelton disebut juga turbin impuls atau turbin tekanan rata atau turbin pancaran bebas karena tekanan air keluar nosel sama dengan tekanan atmosfer. Dalam instalasi turbin ini semua *energy* (geodetic dan tekanan) diubah menjadi kecepatan keluar nosel. Kontruksi nosel dapat dilihat pada Gambar 2.1. tidak semua sudu menerima hempasan air, tetapi secara bergantian tergantung posisi sudu tersebut. Jumlah nosel tergantung besarnya kapasitas air, dapat bervariasi satu sampai enam. Turbin pelton dipakai untuk tinggi jatuh air yang besar, dengan kecepatan spesifik 1 sampai 15.

Untuk mendapatkan efisiensi yang baik, dalam turbin pelton harus terdapat hubungan antara kecepatan keliling, u , dan kecepatan keluar nosel, c_1 , yang dapat dijelaskan sebagian berikut :



Gambar 2.1 Penampang nosel dan sudu jalan.

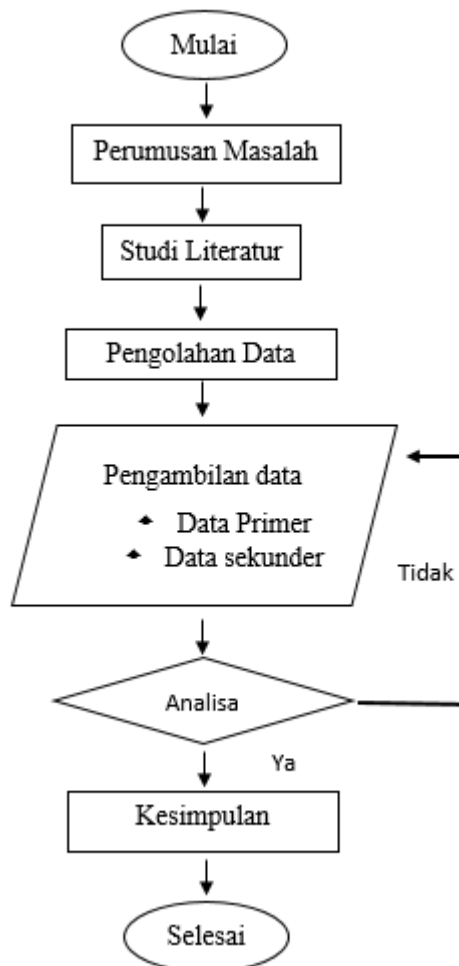


Gambar 2.2 Turbin Impuls (Pelton)

3. METODELOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Berikut ini merupakan diagram alir dalam penelitian uji eksperimental bentuk sudu-sudu pada rancang bangun turbin pelton.

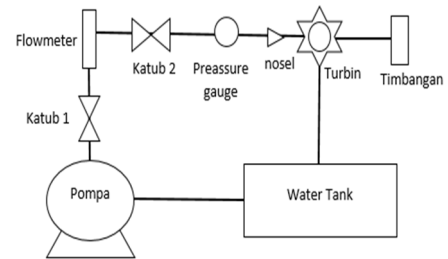


Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2. Layout dan Prosedur Penelitian

Layout dalam proses pengoperasian alat uji eksperimental bentuk sudu-sudu pada rancang bangun pembangkit listrik

tenaga air dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut :



Gambar 3.2 Skema pengujian eksperimental sudu-sudu turbin

Pengujian turbin ini dilakukan 5 kali pengambilan data dengan waktu yang berbeda dengan mengoperasikan variasi sudu-sudu turbin yang variasi 1, 2, dan 3. Data yang didapat dari hasil pengujian yaitu debit aliran air (Q), *preasure* air (P), jumlah putaran turbin (n) dan gaya turbin (F).

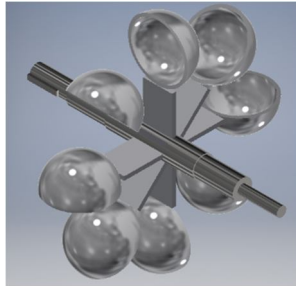
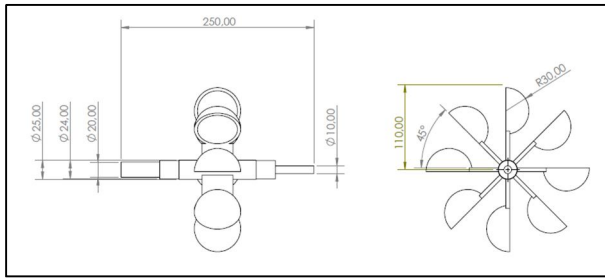
Berikut ini langkah-langkah yang dilakukan untuk mendapatkan data hasil pengujian :

1. Menyiapkan turbin varian 1,2,3 kemudian dilakukan pengujian bergantian dari turbin varian 1, kemudian turbin varian 2 dan yang terakhir turbin varian 3.
2. Mengatur penutupan katub sebesar 0° , 20° , 40° dan 45° .
3. Mengamati serta mencatat besaran debit yang mengalir pada pipa.
4. Mengamati serta mencatat besaran *pressure gauge* yang dilewati oleh *fluida*.
5. Mengamati serta mencatat banyaknya putaran turbin.
6. Memasang lengan torsi serta mencatat besarnya beban torsi.
7. Setiap pengujian dilakukan selama 3 menit, secara bergantian.

3.3. Variasi Sudu-Sudu Turbin

a. Varian 1

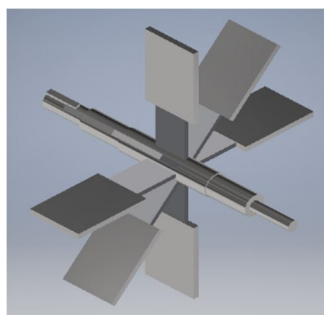
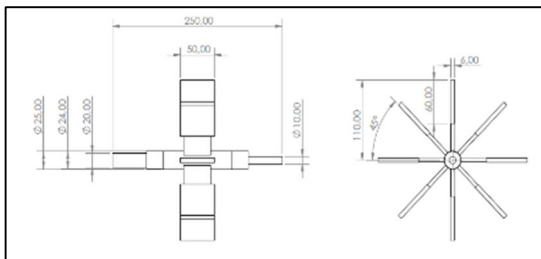
Bentuk sudu-sudu pada varian turbin 1, berbentuk setengah bola lingkaran. Dengan desain dapat dilihat pada Gambar 3.7 sebagai berikut :



Gambar 3.3 Varian 1 Turbin

b. Varian 2

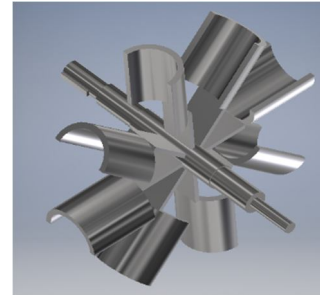
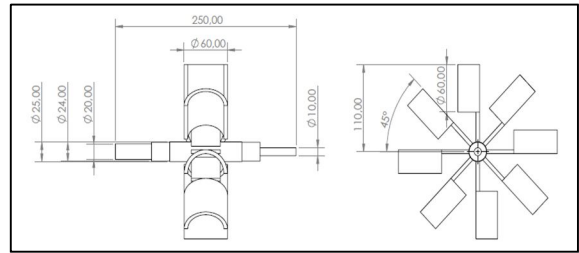
Bentuk sudu-sudu pada varian turbin 2, berbentuk persegi panjang datar. Dengan desain dapat dilihat pada Gambar 3.8 sebagai berikut :



Gambar 3.4 Varian 2 Turbin

c. Varian 3

Bentuk sudu-sudu pada varian turbin 3, berbentuk persegi panjang datar. Dengan desain dapat dilihat pada Gambar 3.7 sebagai berikut :



Gambar 3.5 Varian 3 Turbin

3.4. Hasil Data Pengujian

Data pengujian proses pengoperasian alat uji eksperimental bentuk sudu-sudu pada rancang bangun pembangkit listrik tenaga air, dilakukan pengujian pada tanggal 10 November 2020 pengambilan data pada waktu yang berbeda dengan mengoperasikan varian 1 turbin, dapat dilihat pada Table 3.1 di peroleh data sebagai berikut :

Tabel 3.1 Pengambilan data varian 1 pada tanggal 10 November 2020

Data pengujian varian turbin 1					
No	katub	n (rpm)	Q (10 ⁻³ m ³ /s)	Preassure Gauge (N/m ²)	Massa (kg)
1	0°	232	0,166	110316,2	0,065
2		229	0,166	110316,2	0,065
3		217	0,166	110316,2	0,065
4		226	0,166	110316,2	0,065
5		222	0,166	110316,2	0,065
1	20°	214	0,158	103421,4	0,045
2		218	0,158	103421,4	0,045
3		221	0,158	103421,4	0,045
4		225	0,158	103421,4	0,045
5		215	0,158	103421,4	0,045
1	40°	156	0,143	89631,88	0,03
2		153	0,143	89631,88	0,03
3		150	0,143	89631,88	0,03
4		146	0,143	89631,88	0,03
5		148	0,143	89631,88	0,03
1	45°	140	0,113	68947,6	0,02
2		135	0,113	68947,6	0,02
3		142	0,113	68947,6	0,02
4		134	0,113	68947,6	0,02
5		136	0,113	68947,6	0,02

Data pengujian proses pengoperasian alat uji eksperimental bentuk sudu-sudu pada rancang bangun pembangkit listrik tenaga air, dilakukan pengujian pada tanggal 10 November 2020 pengambilan data pada waktu yang berbeda dengan mengoperasikan varian 2 turbin, dapat dilihat pada Table 3.2 di peroleh data sebagai berikut :

Tabel 3.2 Pengambilan data varian 2 pada tanggal 10 November 2020

Data pengujian varian turbin 2					
No	katub	n (rpm)	Q (10 ⁻³ m ³ /s)	Preassure Gauge (N/m ²)	Massa (kg)
1	0°	744	0,166	110316,2	0,06
2		784	0,166	110316,2	0,06
3		822	0,166	110316,2	0,06
4		747	0,166	110316,2	0,06
5		702	0,166	110316,2	0,06
1	20°	617	0,158	103421,4	0,05
2		611	0,158	103421,4	0,05
3		552	0,158	103421,4	0,05
4		567	0,158	103421,4	0,05
5		681	0,158	103421,4	0,05
1	40°	524	0,143	89631,88	0,045
2		552	0,143	89631,88	0,045
3		562	0,143	89631,88	0,045
4		637	0,143	89631,88	0,045
5		538	0,143	89631,88	0,045
1	45°	298	0,113	68947,6	0,04
2		298	0,113	68947,6	0,04
3		332	0,113	68947,6	0,04
4		303	0,113	68947,6	0,04
5		315	0,113	68947,6	0,04

Data pengujian proses pengoperasian alat uji eksperimental bentuk sudu-sudu pada rancang bangun pembangkit listrik tenaga air, dilakukan pengujian pada 10 November 2020 pengambilan data pada waktu yang berbeda dengan mengoperasikan varian 3 turbin, dapat dilihat pada Table 3.3 di peroleh data sebagai berikut :

Tabel 3.3 Pengambilan data varian 3 pada tanggal 10 November 2020

Data pengujian varian turbin 3					
No	katub	n (rpm)	Q (10 ⁻³ m ³ /s)	Preassure Gauge (N/m ²)	Massa (kg)
1	0°	917	0,166	110316,2	0,065
2		922	0,166	110316,2	0,065
3		795	0,166	110316,2	0,065
4		780	0,166	110316,2	0,065
5		799	0,166	110316,2	0,065
1	20°	804	0,158	103421,4	0,06
2		814	0,158	103421,4	0,06
3		774	0,158	103421,4	0,06
4		781	0,158	103421,4	0,06
5		784	0,158	103421,4	0,06
1	40°	599	0,143	89631,88	0,05
2		588	0,143	89631,88	0,05
3		524	0,143	89631,88	0,05
4		597	0,143	89631,88	0,05
5		635	0,143	89631,88	0,05
1	45°	429	0,113	68947,6	0,04
2		355	0,113	68947,6	0,04
3		340	0,113	68947,6	0,04
4		380	0,113	68947,6	0,04
5		327	0,113	68947,6	0,04

3.5. Hasil Pengolahan Data Pengujian

Penghitungan yang akan diukur pada alat uji eksperimental bentuk sudu-sudu pada rancang bangun pembangkit listrik tenaga air dan dapat di lihat hasil pada table yaitu sebagai berikut :

a. Kapasitas (Q)

Dimana untuk menentukan kapasitas pompa dapat di lihat dari rumus sebagai berikut :

$$Q = \frac{V}{t} \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana : Q = debit (m³/s)

V = Volume (m³)

t = Waktu (second)

b. Torsi (T)

Dimana untuk menentukan Torsi tubin dapat di lihat dari rumus sebagai berikut :

$$T = F_w \cdot R \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana : T = Torsi (N.m)

F_w = Gaya Berat (N)

R = Radius (m)

c. Kecepatan sudut (ω)

Dimana untuk menentukan kecepatan sudut dapat di lihat dari rumus sebagai berikut :

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \dots\dots\dots(3.4)$$

Dimana : ω = kecepatan sudut (rps)

n = jumlah rotasi turbin (rpm)

d. Daya Turbin (Pt)

Dimana untuk menentukan daya turbin dapat di lihat dari rumus sebagai berikut:

$$P_t = T \cdot \omega \dots\dots\dots(3.5)$$

Dimana : Pt = Daya Turbin (watt)

3.6. Hasil Pehitungan Data Pengujian

Setelah di lakukan pengujian variasi 1, di dapat table hasil pengolahan dilihat pada Tabel 3.4 didapat data sebagai berikut :

Tabel 3.4 Hasil Pengolahan Data Varian 1

N o	katub	N (rpm)	T (N.m)	ω (rps)	Pt (watt)
1	0°	232	0,159	24,28	3,871
2		229	0,159	23,96	3,821
3		217	0,159	22,71	3,621
4		226	0,159	23,65	3,771
5		222	0,159	23,23	3,704
Hasil Rata- Rata		225,2	0,159	23,57	3,758
1	20°	214	0,110	22,39	2,472
2		218	0,110	22,81	2,518
3		221	0,110	23,13	2,553
4		225	0,110	23,55	2,599
5		215	0,110	22,503	2,484
Hasil Rata- Rata		218,6	0,110	22,88	2,525
1	40°	156	0,074	22,88	1,201
2		153	0,074	16,328	1,178
3		150	0,074	16,014	1,155
4		146	0,074	15,7	1,124
5		148	0,074	15,281	1,14
Hasil Rata- Rata		150,6	0,074	15,49	1,16
1	45°	140	0,049	14,65	0,718
2		135	0,049	14,13	0,693
3		142	0,049	14,86	0,729
4		134	0,049	14,03	0,688
5		136	0,049	14,23	0,698
Hasil Rata- Rata		137,4	0,049	14,38	0,705

Setelah di lakukan pengujian variasi 2, di dapat table hasil pengolahan dilihat pada Tabel 3.5didapat data sebagai berikut :

Tabel 3.5 Hasil Pengolahan Data Varian 2

N o	katub	N (rpm)	T (N.m)	ω (rps)	Pt (watt)
1	0°	744	0,147	77,87	11,459
2		784	0,147	82,05	12,075
3		822	0,147	86,03	12,66
4		747	0,147	78,18	11,505
5		702	0,147	73,47	10,811
Hasil Rata-Rata		759,8	0,147	79,52	11,702
1	20°	617	0,123	64,57	7,919
2		611	0,123	63,95	7,842
3		552	0,123	57,77	7,085
4		567	0,123	59,34	7,277
5		681	0,123	71,27	8,74
Hasil Rata-Rata		605,6	0,123	63,38	7,773
1	40°	524	0,11	54,84	6,053
2		552	0,11	57,77	6,376
3		562	0,11	58,82	6,492
4		637	0,11	66,67	7,358
5		538	0,11	56,31	6,215
Hasil Rata-Rata		562,6	0,11	58,88	6,499
1	45°	298	0,098	31,19	3,06
2		298	0,098	31,19	3,06
3		332	0,098	34,75	3,41
4		303	0,098	31,71	3,111
5		315	0,098	32,97	3,234
Hasil Rata-Rata		309,2	0,098	32,36	3,174

Setelah di lakukan pengujian variasi 3, di dapat table hasil pengolahan dilihat pada Tabel 3.6 didapat data sebagai berikut :

Tabel 3.6 Hasil Pengolahan Data Varian 3

N o	katub	N (rpm)	T (N.m)	ω (rps)	Pt (wat.)
1	0°	917	0,159	95,97	15,3
2		922	0,159	96,50	15,384
3		795	0,159	83,21	13,265
4		780	0,159	81,64	13,014
5		799	0,159	83,62	13,331
Hasil Rata-Rata		842,6	0,159	88,19	14,059
1	20°	804	0,147	84,15	12,383
2		814	0,147	85,19	12,537
3		774	0,147	81,01	11,921
4		781	0,147	81,74	12,029
5		784	0,147	82,05	12,075
Hasil Rata-Rata		791,4	0,147	82,83	12,189
1	40°	599	0,123	62,69	7,688
2		588	0,123	61,54	7,547
3		524	0,123	54,84	6,725
4		597	0,123	62,48	7,662
5		635	0,123	66,463	8,15
Hasil Rata-Rata		588,6	0,123	61,611	7,554
1	45°	429	0,105	44,902	4,735
2		355	0,105	37,157	3,918
3		340	0,105	35,587	3,753
4		380	0,105	39,77	4,194
5		327	0,105	34,226	3,609
Hasil Rata-Rata		366,2	0,105	38,328	4,042

Dari hasil pengolahan data diatas maka hasil dari debit dan jumlah putaran turbin seperti tertera pada Tabel 3.7, 3.8 dan 3.9 :

Tabel 3.7 Data hasil pengujian debit dan jumlah putaran turbin untuk varian 1

Debit (Q) (10 ⁻³ m ³ /s)	Jumlah putaran (n)
0,166	225,2
0,158	218,6
0,143	150,6
0,113	137,4

Tabel 3.8 Data hasil pengujian debit dan jumlah putaran turbin untuk varian 2

Debit (Q) (10 ⁻³ m ³ /s)	Jumlah putaran (n)
0,166	759,8
0,158	605,6
0,143	562,6
0,113	309,2

Tabel 3.9 Data hasil pengujian debit dan jumlah putaran turbin untuk varian 3

Debit (Q) (10 ⁻³ m ³ /s)	Jumlah putaran (n)
0,166	842,6
0,158	791,4
0,143	588,6
0,113	366,2

3.7. Analisa Kebagusan

Melakukan analisa data untuk melihat kebagusan pengukuran kinerja turbin variasi 3 diuji dengan statistic ganda :

$$y = a_0 + bx_1 + cx_2$$

$$\eta = a_0 + bQ + cQ^3$$

Tabel 3.10 Data hasil analisa pengukuran kinerja turbin

No	Q(10 ⁻³ m ³ /s)	Q ³	n
	x ₁	x ₂	y
1	0,166	0,00457	842,6
2	0,158	0,00394	791,4
3	0,143	0,00292	588,6
4	0,113	0,00144	366,2

4. ANALISA HASIL PENGUJIAN

x ₁ ²	x ₂ ²	y ²
0,0276	2,09E-05	709974,8
0,025	1,55E-05	626314
0,0204	8,55E-06	346449,96
0,0128	2,08E-06	134102,44
x ₁ .x ₂	x ₁ .y	x ₂ .y
0,000759	139,87	3,85
0,000623	125,04	3,12
0,000418	84,17	1,72
0,000163	41,38	0,53

S.x ₁	S.x ₂	S.y
0,58	0,012885712	2588,8
SS.x ₁	SS.x ₂	SS.y
0,085738	4,71147 x 10 ⁻⁵	1816841,1 2
SP.x ₁ .x ₂	SP.x ₁ .y	SP.x ₂ .y
0,001963 7	390,4632	8,6970185 6
$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	$\bar{y}$
0,145	0,003221428	647,2

SSD. x ₁	SSD. x ₂	SSD.y
0,001638	5,60433*10 ⁻⁶	141369,76
SPD. x ₁ .x ₂	SPD. x ₁ .y	SPD. x ₂ .y
9,5315*10 ⁻⁵	15,0872	0,3573857 6
b ₁	b ₂	a ₀
9210,19175 4	2812,78642	- 697,33899
S ₁ ²	S ₂ ²	S ²
70684,88	69980,6274 3	1408,5051 5
e %	r ₁ %	Sb ₁
1,0038	98,9962	927,25
bmin	bmax	Sb ₂
6259,65	12160,73	76110.26

Maka dari pada itu dalam pengetesan untuk varian 3 turbin pelton bisa dihitung efisiensi turbin pada berbagai laju aliran yang di sirkulasikan. Untuk perhitungan hasil observasi dari tabel 4.1 adalah sebagai berikut :

$$\bar{x}_1 = \frac{Sx_1}{k} = \frac{0,58}{4} = 0,145$$

$$\bar{x}_2 = \frac{Sx_2}{k} = \frac{0,012885712}{4} = 0,003221428$$

$$\bar{y} = a = \frac{Sy}{k} = \frac{2588,8}{4} = 647,2$$

$$\begin{aligned} SSDx_1 &= SSx_1 - \frac{Sx_1^2}{k} \\ &= 0,085738 - \frac{0,58^2}{4} \\ &= 0,001638 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SSDx_2 &= SSx_2 - \frac{Sx_2^2}{k} \\ &= 4,71147 * 10^{-5} - \frac{0,0128857^2}{4} \\ &= 5,60433 * 10^{-6} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SSDy &= SSy - \frac{Sy^2}{k} \\ &= 1816841,12 - \frac{2588,8^2}{4} = 141369,76 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SSDx_1x_2 &= SPx_1x_2 - \frac{Sx_1 \cdot Sx_2}{k} \\ &= 0,001963743 - \frac{0,58 * 0,0128857}{4} \\ &= 9,53152 * 10^{-5} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SSDx_1y &= SPx_1y - \frac{Sx_1 \cdot Sy}{k} \\ &= 390,4632 - \frac{0,58 * 2588,8}{4} \\ &= 15,0872 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SSDx_2y &= SPx_2y - \frac{Sx_2 \cdot Sy}{k} \\ &= 8,697018567 - \frac{0,0128857 * 2588,8^2}{4} \\ &= 0,35738576 \end{aligned}$$

Mencari Cii dan Cij

$$C_{11} \cdot SSDx_1 + C_{12} \cdot SPDx_1x_2 = 1$$

$$C_{11} \cdot SPDx_1x_2 + C_{12} \cdot SSDx_2 = 0$$

$$C_{11} \cdot 0,001638 + C_{12} \cdot 9,53152 * 10^{-5} = 1$$

$$C_{11} \cdot 9,53152 * 10^{-5} + C_{12} \cdot 5,60433 * 10^{-6} = 0$$

Dengan eliminasi gauss di dapat :

$$C_{11} = 610,4387854$$

$$C_{12} = 1,062471009$$

$$C_{21} \cdot 0,001638 + C_{22} \cdot 9,53152 * 10^{-5} = 1$$

$$C_{21} \cdot 0,00019063 + C_{22} \cdot 5,60433 * 10^{-6} = 0$$

Dengan eliminasi gauss di dapat :

$$C_{21} = 314,4362013$$

$$C_{22} = -5403,616068$$

$$\begin{aligned} b_1 &= C_{11} \cdot SPDx_1y + C_{12} \cdot SPDx_2y \\ &= (610,4387854 * 15,0872) + (1,062471009 * 0,35738576) \\ &= 9210,191754 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_2 &= C_{21} \cdot SPDx_1y + C_{22} \cdot SPDx_2y \\ &= (314,4362013 * 15,0872) + ((-5403,616068) * 0,35738576) \\ &= 2812,78642 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_0 &= a - b_1 \bar{x}_1 - b_2 \bar{x}_2 \\ &= 647,2 - (9210,191754 * 0,145) - (2812,78642 * 0,003221428) \\ &= -697,3389933 \end{aligned}$$

$$\eta = a_0 + bQ + cQ^3$$

$$\text{dimana } b = b_1, \quad c = b_2$$

$$\begin{aligned} &= (-697,3389933) + (9210,191754)Q \\ &+ (2812,78642)Q^3 \end{aligned}$$

Varian :

a. Varian withing set

$$S_1^2 = \frac{SSDy}{n-1} = \frac{141369,76}{4-1} = 70684,88$$

b. Varian between regression value

$$S_2^2 = \sum_{i=1}^m \frac{bm. SPD_{xm}y}{m}$$

$$S_2^2 = \sum_{i=1}^m \frac{bm. SPD_{xm}y}{m}$$

$$= b_1 SPD_{x_1}y + b_2 SPD_{x_2}y$$

$$= (9210,191754 * 15,0872) + (2812,78642 * 0,35738576)$$

$$= 69980,62743$$

c. Varian residual

$$\frac{SSDy}{x_1 * x_2} = SSDy$$

$$- \sum_{i=1}^m bm. SPD_{xm}y$$

$$= SSDy - b_1 SPD_{x_1}y + b_2 SPD_{x_2}y$$

$$= 1408,50515$$

$$S^2 = \frac{SSDy/x_1x_2}{n-m-1}$$

$$S^2 = \frac{1408,50515}{4-2-1} = 1408,50515$$

SSD residual terhadap SSD within set

$$e = \frac{SSDy/x_1x_2}{SSDy}$$

$$= \frac{141369,76}{1408,50515}$$

$$= 1,0038$$

95% bilateral confidence limits bagi parameter b dan c

Parameter b = b₁ dimana :

$$Sb_1 = \sqrt{S^2 C_{11}}$$

$$= \sqrt{1408,50515 \cdot 610,4387}$$

$$= 927,257$$

$$b_{\min} < \beta < b_{\max}$$

$$b_1 - t_{0,975(f)} \times Sb_1 < \beta < b_1 + t_{0,975(f)} \times Sb_1$$

$$t_{0,975(f)} = t_{0,975(3)} = 3,182$$

$$9210,19 - 3,182 \times 927,26 < \beta$$

$$< 9210,19 + 3,182 \times 927,26$$

$$6259,648 < \beta < 12160,731$$

Jadi untuk perhitungan $b_{\min}$ adalah 6259,648 sedangkan $b_{\max}$ adalah 12160,731

Parameter C = b₂ dimana :

$$Sb_2 = \sqrt{S^2 C_{22}}$$

$$= \sqrt{1408,50515 \cdot 5403,616}$$

$$= 76110,26598$$

$$C_{\min} < \beta < C_{\max}$$

$$C_1 - t_{0,975(f)} \times Sb_2 < \beta$$

$$< C_1 + t_{0,975(f)} \times Sb_2$$

$$2812,79 - 3,182 \times (-76110,26)$$

$$< \beta$$

$$< 2812,79 + 3,182 \times (-76110,26)$$

$$-239370,06 < \beta < 244995,6373$$

Jadi untuk perhitungan $C_{\min}$ adalah -239370,06 sedangkan $C_{\max}$ adalah 244995,63

$$Sb_1 b_2 = \sqrt{S^2 \times C_{21}}$$

$$Sb_1 b_2 = \sqrt{1408,50515 \times 1408,50515}$$

$$Sb_1 b_2^2 = 1408,50515 \times 1408,50515$$

$$= 422884,7253$$

$$r = \frac{Sb_1 b_2^2}{Sb_1 b_2}$$

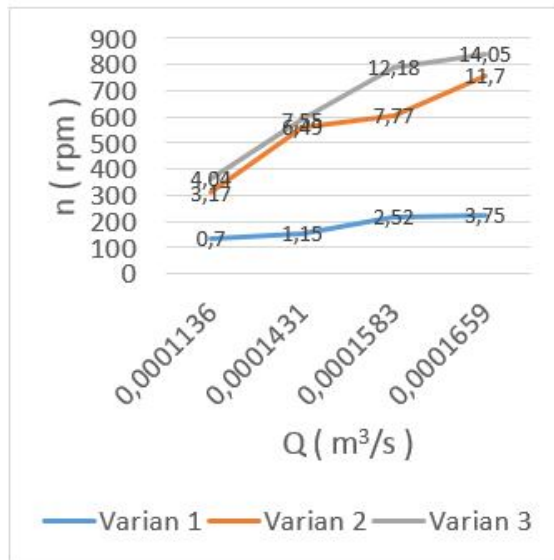
$$r = \frac{1408,50515}{927,257339 \times 76110,26598}$$

$$r = 0,627548 \%$$

dari hasil pengujian dan pengolahan data dapat melihat kebagusan dari kinerja turbin yaitu terlihat dari korelasi (r) antara efisiensi turbin dengan debit sebesar 62,75 % dipengaruhi oleh debit dan 37,25 % dipengaruhi yang lain.

4.1. Hasil Data Pengukuran Varian

Adapun Hasil yang diperoleh dari pengoperasian alat uji eksperimental bentuk sudu-sudu pada rancang bangun pembangkit listrik tenaga air.



Gambar 4.1 Grafik hasil data pengukuran varian

- a. Untuk pengukuran kinerja turbin varian 1 didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :
 - 1) Perhitungan maksimal pada katup tertutup 0° : $Q = 0,000166 \text{ m}^3/\text{s}$; $n = 225,2$; $T = 0,159 \text{ N.m}$, $\omega = 23,57 \text{ rps}$; dan $P_t = 3,75 \text{ Watt}$.
 - 2) Perhitungan minimal pada katup tertutup 45° : $Q = 0,000114 \text{ m}^3/\text{s}$; $n = 137,4$; $T = 0,049 \text{ N.m}$, $\omega = 14,38 \text{ rps}$; dan $P_t = 0,7 \text{ Watt}$.
- b. Untuk pengukuran kinerja turbin varian 2 didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :
 - 1) Perhitungan maksimal pada katup tertutup 0° : $Q = 0,000166 \text{ m}^3/\text{s}$; $n = 759,8$; $T = 0,147 \text{ N.m}$, $\omega = 79,52 \text{ rps}$; dan $P_t = 3,75 \text{ Watt}$.
 - 2) Perhitungan minimal pada katup tertutup 45° : $Q = 0,000114 \text{ m}^3/\text{s}$; $n = 309,2$; $T = 0,09 \text{ N.m}$, $\omega = 32,36 \text{ rps}$; dan $P_t = 0,7 \text{ Watt}$.

- c. Untuk pengukuran kinerja turbin varian 3 didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

- 1) Perhitungan maksimal pada katup tertutup 0° : $Q = 0,000166 \text{ m}^3/\text{s}$; $n = 842,6$; $T = 0,159 \text{ N.m}$, $\omega = 88,19 \text{ rps}$; dan $P_t = 14,05 \text{ Watt}$.
- 2) Perhitungan minimal pada katup tertutup 45° : $Q = 0,000114 \text{ m}^3/\text{s}$; $n = 366,2$; $T = 0,105 \text{ N.m}$, $\omega = 38,32 \text{ rps}$; dan $P_t = 4,04 \text{ Watt}$.

4.2. Analisa Hasil Data Pengujian

Dari hasil data pengukuran dan perhitungan dapat diketahui bahwa semakin besar nilai debit (Q) dan jumlah putaran turbin (n), semakin besar pula daya turbin yang didapatkan. Hal ini dikarenakan besar kecil nya debit air akan mempengaruhi tekanan dan kecepatan air yang mendorong turbin untuk berputar.

Sedangkan pengaruh bentuk variasi turbin, dapat dilihat melalui grafik pada Gambar 4.1, 4.2 dan 4.3. Pada besar debit yang sama menghasilkan jumlah putaran turbin yang berbeda, sehingga mendapatkan daya turbin yang berbeda-beda di setiap variasi. Hal ini dikarenakan air yang keluar dari nosel untuk mendorong turbin dengan bentuk variasi yang berbeda, menyebabkan perubahan energi potensial, tekanan dan kecepatan air menjadi energi kinetik pada turbin menunjukkan hasil yang berbeda tergantung pada bentuk penampang sudu-sudu turbin.

5. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari pengoperasian alat uji eksperimental bentuk sudu-sudu pada rancang bangun pembangkit listrik tenaga air.

- a. Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat menyimpulkan bahwa bentuk penampang sudu-sudu turbin mempengaruhi perubahan energi potensial, tekanan, dan kecepatan air menjadi energi kinetik pada turbin menghasilkan data yang berbeda. Sehingga kinerja turbin sangat

- dipengaruhi oleh karakteristik turbin itu sendiri.
- b. Dari hasil pengujian dan pengolahan data dapat melihat kebaikan dari kinerja turbin yaitu terlihat dari korelasi (r) antara efisiensi turbin dengan debit sebesar 62,75 % dipengaruhi oleh debit dan 37,25 % dipengaruhi yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

1. Pudjanarsa, Astu., Djati Nursuhud., 2012, Mesin Konversi Energi Edisi 3, Surabaya; Andi.
2. Himran, Syukril, 2017, Turbin Air Teori dan Dasar Perancangan, Yogyakarta; Andi
3. Sarwono, Jonathan, 2018, Statistika untuk Riset Skripsi, Yogyakarta; Andi
4. Rewu, Oddang, 2016, Proyek PLTA Risalah Studi Kelayakan Investasi Yogyakarta; Teknosain
5. Dr. Hamdi, M.Si. 2017, Energi Terbarukan, Jakarta; Prenada Media Group
6. Arismunandar W., 2004, Penggerak Mula Turbin, ITB, Bandung
7. Budiarmo, Harinaldi, 2015, Sistem Fluida, Jakarta; Erlangga
8. Rosmiyati & Yani A, 2017, Jurnal : “Pengaruh variasi diameter nosel terhadap torsi dan daya turbin air”. Jurnal Turbo No. 1 Volume 6.. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Metro, Lampung.
9. Agi Ibrahim, Muhammad, 2019, Tugas Akhir : Rancangan Bangun Alat Uji Performa Pompa Sentrifugal Instalasi Seri dan Paralel Metode Matrix, ISTN, Jakarta
10. Bagas P, Dito, 2020, Tugas Akhir : Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Air Berbasis Mikrohydro Menggunakan Metode VDI221, ISTN, Jakarta.