

KAJI EKSPERIMENTAL PENGARUH DEBIT AIR DAN JUMLAH SUDU TERHADAP PERFORMA TURBIN PELTON MIKROHIDRO

Hendra Pradana¹⁾, Supardi²⁾
Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya¹⁾, Teknik Mesin
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya²⁾

hendrapradana513@gmail.com¹⁾, supardi@untag-sby.ac.id²⁾

Abstrak— Pada penelitian ini menentukan efek dari variasi debit air dan jumlah sudu terhadap besar daya generator yang dihasilkan, efisiensi generator dan efisiensi sistem turbin. Sudu dari turbin pelton yang dilakukan pengujian, terbuat dari material resin yang relatif lebih ringan dari material logam. Variasi jumlah sudu menggunakan jumlah sudu 16, 18 dan 20 yang diuji dengan variasi debit air dari bukaan katup air dalam sistem turbin. Untuk pengambilan data pengujian, adalah kecepatan putaran turbin, tegangan listrik dan arus listrik yang dihasilkan setelah dilakukan pembebanan dengan menggunakan lampu pijar. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa pada variasi debit air $0,00035 \text{ m}^3/\text{s}$ mendapatkan nilai daya generator, efisiensi generator dan efisiensi turbin relatif lebih besar daripada variasi debit air yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa seiring dengan bertambahnya debit air yang digunakan, maka performa dari turbin juga semakin meningkat. Sedangkan untuk variasi jumlah sudu 18 juga mendapatkan nilai daya generator, efisiensi generator dan efisiensi turbin relatif lebih besar daripada variasi jumlah sudu 16 dan 20. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan jumlah sudu tidak berpengaruh terhadap nilai performa turbin, namun jumlah sudu yang sesuai dengan perhitungan perencanaan menjadi variasi yang memiliki performa yang lebih baik. Performa turbin tertinggi didapatkan pada variasi debit air $0,00035 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan jumlah sudu 18 yang nilai daya generator sebesar 11,8 Watt, efisiensi generator 84,83% dan efisiensi turbin 42,740%.

Kata-kata kunci: Turbin Pelton, Performa Turbin, Jumlah Sudu, Debit Air, Efisiensi Turbin.

Abstract— In this research determine effect of water discharge and number of buckets to resulting from generator power, efficiency of generator and efficiency of turbine system. Bucket of pelton turbine used in testing, made by resin materials which is relatively lighter than metals. Variation number of buckets use 16, 18 and 20 tested with variation water of discharge from valve opening in turbin system. For retrieval of test data, is the rotational turbine speed, electrical voltage and electrical current generated after loading using an incandescent lamp. From the test results found it was found thar at a variation of the water discharge $0,00035 \text{ m}^3/\text{s}$ the value of generator, generator efficinecy and turbine efficiency was relatively greater than other variations. This shows that as the amount of water used increases, the performance of the turbine also increases. Whereas the variation in the number of buckets 18 also obtains the value of generator power, generator efficiency and turbine efficiency relatively greater than the variation the number of buckets 16 and 20. This shows that the addition of the number of buckets has no effect on the performance value of the turbine, but the number of buckets in accordance with planning calculations becomes a variation that

has better performance. The highest turbine performance was obtained at a variation of water discharge $0,00035 \text{ m}^3/\text{s}$ with a number of buckets 18, with a generator power value 11,8 Watt, generator efficiency 84,83% and turbine efficiency of 42,471%.

Keywords: Pelton Turbine, Perform of Turbine, Number of Buckets, Water Discharge, Turbine Efficiency

I. PENDAHULUAN

Persediaan energi kini menjadi tantangan yang harus dihadapi bersama. Ditengah krisis energi, banyak dilakukan upaya untuk mengatasi ketersediaan energi dimasa mendatang. Penelitian tentang penggunaan sumber energi terbarukan kini semakin banyak dilakukan, karena melihat potensi daripada energi yang dihasilkan besar. Sumber tenaga air adalah energi terbarukan yang berpotensi tinggi mencapai 75 Megawatt, sedangkan pemanfaatannya masuh 10% dari total potensi yang ada.

Turbin air bekerja memanfaatkan energi potensial dari air yang diubah menjadi energi mekanis sebelum nantinya menjadi energi listrik oleh generator listrik. Turbin air dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan cara kerja, yaitu Turbin Reaksi dan Turbin Impuls.

Turbin reaksi bekerja dengan memanfaatkan perubahan energi kinetik, dan beroperasi terendam didalam air. Seluruh sudu gerak Turbin Reaksi terisi oleh air hingga penuh, yang menyebabkan penggunaan persamaan kontiunitas. Sudu pengatur mengarahkan arah aliran masuk runner untuk memperoleh arah yang sebaik-baiknya [1]. Beberapa jenis turbin reaksi adalah Turbin Francis, Turbin Kaplan dan Turbin Propeller.

Sedangkan cara kerja dari Turbin Impuls adalah dengan memanfaatkan pancaran air yang mengalir dari nosel dengan kecepatan tinggi yang menjadi energi kinetik. Turbin Impuls bisa disebut juga turbin yang tidak memiliki tekanan, dikarenakan sudu geraknya bekerja pada tekanan atmosfer. Sudu geraknya biasa disebut bucket, yang terdorong oleh pancaran air yang keluar dari nosel dan beroperasi di saluran yang tidak terpenuhi air [1]. Beberapa jenis turbin impuls adalah Turbin Flow Through dan Turbin Pelton.

Turbin Pelton pada dasarnya terdiri dari roda turbin dengan sudu (bucket), dan 1 atau lebih injektor yang menghasilkan semprotan (jet) air berkecepatan tinggi setelah melewati nozzle. Perpindahan energi dari semprotan (jet) air berkecepatan tinggi ke roda Turbin Pelton dilakukan melalui interaksi antara jet dan buckets yang berputar [2].

Konsep dasar pada desain Turbin Pelton adalah menentukan jumlah minimal bucket agar tidak ada aliran air dari nozzle yang terbuang dan tidak mengenai sudu turbin. Karena aliran air yang mengenai sudu adalah sumber energi penggerak yang nantinya diubah menjadi energi listrik. Prasyarat untuk menentukan jumlah minimum bucket adalah bahwa turbin beroperasi dibawah laju aliran normal.

Pada umumnya semprotan (jet) air dengan ember berarti gangguan pancaran. Bagian dari air mendapat pengalihan yang tidak diinginkan. Ini menjelaskan mengapa jumlah bucket tidak boleh dipilih terlalu besar. Jumlah bucket mempengaruhi efisiensi turbin, tetapi tidak berpengaruh pada kecepatan optimal runner [3].

Hal ini sejalan dengan pernyataan bahwa jumlah bucket mempengaruhi koefisien kecepatan perifer dan kecepatan spesifik roda turbin. Jumlah bucket optimal dari Turbin Pelton dipilih untuk efisiensi maksimum, namun juga bergantung pada banyak parameter lainnya [2].

Debit air dan tinggi jatuhnya air adalah parameter yang digunakan untuk menentukan ukuran turbin. Oleh karenanya debit air menjadi salah satu parameter utama untuk memperoleh prototype Turbin Pelton dengan efisiensi yang maksimal. Injektor nozzle pada Turbin Pelton digunakan untuk meningkatkan tekanan air dan mengubah energi tekanan menjadi energi kinetik.

Head air dan diameter nozzle memiliki pengaruh yang signifikan terhadap daya yang dihasilkan Turbin Pelton. Semakin tinggi head air dari permukaan, maka semakin tinggi daya yang dihasilkan. Juga peningkatan daya ditemukan seiring dengan meningkatnya diameter nosel [4].

Oleh karena itu, penelitian ini membuat prototype Turbin Pelton Mikrohidro dengan skala laboratorium untuk memperoleh performa dan daya yang dihasilkan maksimal. Penelitian ini menggunakan variasi besar debit air dan jumlah sudu. Penelitian ini juga dilakukan dengan metode eksperimen, dengan sudu yang dibuat dari material resin dan pengujian di laboratorium fluida Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya. Harapannya Turbin Pelton dapat memiliki performa maksimal yang diperoleh dari variasi parameter yang diteliti.

II. PENELITIAN TERDAHULU

Irawan, dkk. [5], melakukan penelitian tentang pengaruh debit air dengan judul “Analisis Performansi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air Jenis Turbin Pelton Dengan Variasi Bukaannya Katup dan Beban Lampu Menggunakan Inverter” dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh bukaan katup dan beban lampu terhadap performa turbin pelton. Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa peningkatan bukaan katup sebanding dengan peningkatan daya listrik yang dihasilkan, ini membuktikan pengaruh dari debit air melalui variasi bukaan katup.

Saputra, dkk. [6], dalam penelitian “Pengaruh Jumlah Sudu Pada Prototype PLTMH dengan Menggunakan Turbin Pelton Terhadap Efisiensi yang Dihasilkan” menjelaskan bahwa penambahan jumlah sudu meningkatkan kinerja PLTMH.

Mafurudin, dkk. [7], melakukan penelitian tentang pengaruh jumlah sudu dengan judul “Pengaruh Jumlah Sudu dan Diameter Nozel Terhadap Kinerja Turbin Pelton” dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh dari jumlah sudu dan

diameter nozel terhadap daya turbin. Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa daya turbin dipengaruhi oleh jumlah sudu dan diameter nosel.

III. METODE

A. Perencanaan Turbin Pelton

Dalam perencanaan Turbin Pelton untuk dapat menentukan ukuran harus memperhatikan 3 parameter utama, yakni Daya Air (P), Debit Aliran Air (Q) dan Head (H). Dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [3].

$$P = Q \cdot H \cdot g \cdot \rho \cdot \eta \quad (1)$$

Dimana:

P = Daya air (Watt)

Q = Debit aliran air (m^3/s)

H = Head (m)

g = Percepatan gravitasi ($9,81 m/s^2$)

ρ = Massa jenis air ($1000 kg/m^3$)

η = Efisiensi (%)

Nosel memiliki fungsi, yakni menghasilkan aliran jet berkecepatan tinggi, dan mengarahkannya menuju sudu turbin. Ukuran dan jumlah nosel mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan. Dengan memperkecil ukuran diameter nosel serta menambahkan jumlah nosel, mengakibatkan peningkatan daya listrik yang dihasilkan. Laju aliran air yang mendorong sudu berpengaruh terhadap peningkatan daya listrik, laju aliran air juga memberi gaya tumbukan yang searah dengan perubahan gaya yang memutar poros turbin [8].

Untuk dapat mengetahui diameter nosel terlebih dahulu dihitung kecepatan pancaran air.

$$c_1 = k_c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (2)$$

Lalu diameter nosel dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot c_1}} \quad (3)$$

Dimana:

c_1 = Kecepatan pancaran air (m/s)

k_c = Koefisien nosel (0,96 – 0,98)

g = Percepatan gravitasi ($9,81 m/s^2$)

H = Head (m)

d = Diameter optimal jet atau nosel (m)

Q = Debit aliran air (m^3/s)

Sudu merupakan komponen yang dipasang di runner atau roda turbin. Pada umumnya bentuk sudu pada Turbin Pelton adalah 2 mangkuk yang disatukan, dengan ditengahnya memiliki pemisah air. Bucket turbin Pelton dapat dibuat dari berbagai material. Pada masa sekarang ini, bucket turbin Pelton banyak dibuat dari baja tuang dengan krom. Tetapi banyak juga digunakan material yang lain seperti aluminium paduan, besi tuang, dll. Penggunaan material juga mengacu pada kekuatan yang dimiliki oleh material tersebut. Material yang digunakan nantinya juga berpengaruh pada berat bucket yang digunakan Turbin Pelton.

Dimensi sudu dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [3].

Besar lebar sudu

$$b = (2,5 \dots 3,2) \cdot d \quad (4)$$

Kedalaman sudu

$$t = 0,9 \cdot d \quad (5)$$

Panjang sudu

$$h = (2,1 \dots 2,7) \cdot d \quad (6)$$

Jarak bukaan sudu

$$h_1 = (0 \dots 0,35) \cdot d \quad (7)$$

Lebar bukaan sudu

$$a = 1,2 \cdot d \quad (8)$$

Jumlah sudu

$$z = \frac{D \cdot \pi}{d \cdot 2} \quad (9)$$

Dimana:

b = Lebar sudu (m)

d = Diameter nosel (m)

t = Kedalaman sudu (m)

h = Panjang sudu (m)

h_1 = Jarak bukaan sudu (m)

a = Lebar bukaan sudu (m)

z = Jumlah sudu

D = Diameter runner / PCD (m)

g = Percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

H = Head (m)

D = Diameter runner (m)

n_0 = Kecepatan putaran mesin atau generator (rpm)

d_a = Diameter luar runner (m)

h = Panjang sudu (m)

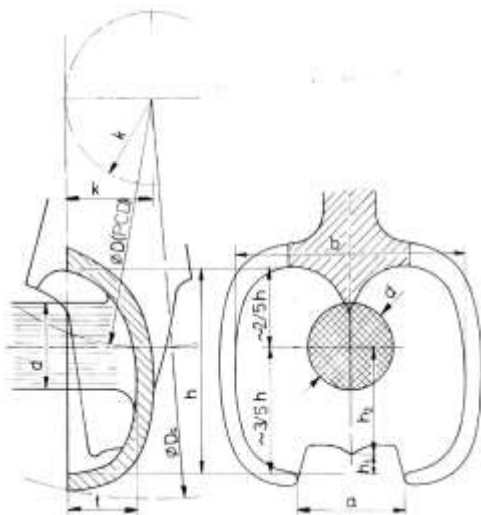
Dari hasil perhitungan pada perencanaan Turbin Pelton Mikrohidro, didapatkan hasil sebagai berikut:

- Kapasitas (Q) : 36 l/m
- Diameter nosel (d) : 9 mm
- Lebar sudu (b) : 29 mm
- Kedalaman sudu (t) : 8,4 mm
- Panjang sudu (h) : 25,25 mm
- Jumlah sudu (z) : 16, 18 dan 20 buah
- Diameter runner (D) : 109 mm
- Jarak pusat pancar air : 115 mm

B. Pembuatan Alat Uji

Pembuatan alat uji dilakukan setelah desain, alat dan bahan terpenuhi untuk pembuatan alat uji. Berikut adalah desain instalasi dari alat uji Turbin Pelton.

Berikut adalah gambar dimensi dari sudu turbin pelton [3].



Gambar 1. Dimensi sudu turbin pelton (Eisenring, 1991)

Pada dasarnya runner atau roda turbin terdiri dari piringan atau disk dengan sejumlah sudu atau buckets disekelilingnya. Pemasangan sudu pada runner dengan menggunakan baut dan pin, dan lubang untuk menempatkan bucket dilubangi dengan bor [3].

Untuk dapat mengetahui diameter runner, terlebih dahulu dihitung kecepatan putar pada runner.

$$u_1 = k_u \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (10)$$

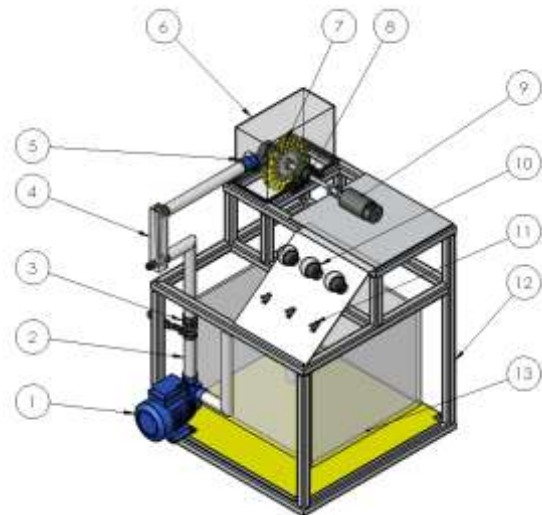
Besar diameter runner dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$D = \frac{60 \cdot u_1}{\pi \cdot n_0} \quad (11)$$

Dimana:

u_1 = Kecepatan putar pada runner (m/s)

k_u = Koefisien (0,45 ... 0,49)



Gambar 2. Instalasi alat uji turbin pelton

Keterangan dari gambar instalasi alat uji:

1. Pompa Air
2. Perpipaan (Diameter 1")
3. Katup Air (Ball Valve)
4. Flow Meter (maks. 70 lpm)
5. Nosel
6. Rumah Turbin
7. Sudu dan Runner
8. Bearing
9. Generator DC
10. Lampu
11. Saklar
12. Rangka
13. Reservoir

Pembuatan nosel menggunakan dimensi yang telah ditentukan sesuai desain yang dibuat, bahan pembuatan nosel adalah material teflon.



Gambar 3. Nosel

Untuk runner terbuat dari palt aluminium yang relatif lebih ringan daripada besi. Pembuatan runner disesuaikan dengan jumlah sudu yang digunakan. Sudu yang digunakan menggunakan material resin, dengan dimensi yang sesuai dengan desain yang telah dibuat. Pembuatan sudu dilakukan menggunakan metode mold casting dengan media silicone, cetakan dibuat dengan silicone rubber RTV. Lalu setelah cetakan selesai dibuat, dilakukan pembuatan sudu dengan material resin yang telah diberikan katalis kedalam cetakan silikon.



Gambar 4. Assembli sudu dan runner

C. Langkah Pengujian

Berikut adalah langkah-langkah untuk melakukan pengujian pada prototipe Turbin Pelton:

1. Mempersiapkan alat yang diperlukan.
2. Mengisi bak reservoir dengan air.
3. Setting turbin meliputi jumlah sudu sesuai variasi penelitian yang dilakukan.
4. Menghidupkan pompa air, buka katup air dan atur posisi bukaan katup air sesuai dengan variasi penelitian yang dilakukan.
5. Menghidupkan lampu yang digunakan sebagai pembebanan dengan mengubah posisi saklar menjadi ON (3 buah).
6. Pengambilan data pengujian yang dilakukan meliputi:
7. Debit air pada flow meter (lpm).
8. Putaran turbin (rpm)
9. Tegangan listrik (Volt)
10. Arus listrik (Ampere)
11. Pembebanan menggunakan lampu (3 buah).
12. Setelah dilakukan pengambilan data, katup air ditutup.
13. Lalu matikan pompa air.

14. Pengujian selesai.

D. Perhitungan Performa Turbin

Kapasitas aliran adalah besarnya luas pancaran air terhadap kecepatan aliran. Kapasitas aliran dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [9].

$$Q = A \cdot v \quad (12)$$

Dimana:

Q = Debit aliran air (m^3/s)

A = Luas pancaran air (m)

v = Kecepatan aliran (m/s)

Torsi turbin dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [9].

$$T = F \cdot r \quad (13)$$

Dimana:

T = Torsi turbin (Nm)

F = Gaya tangensial (N)

r = Jari-jari runner (m)

Untuk mengetahui kecepatan angular dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [9].

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (14)$$

Dimana:

ω = Kecepatan angular (rad/s)

n = Putaran turbin (rpm)

Untuk mengetahui besar head pompa, mengacu pada Prinsip Bernoulli yang juga memperhitungkan kerugian dalam aliran pipa. Berikut adalah persamaan untuk mengetahui besar head pompa [10].

$$H_p = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} - \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + (z_d - z_s) + h_{ls} \quad (15)$$

Dimana:

H_p = Head pompa (m)

P_1 = Tekanan suction (N/m^2)

P_2 = Tekanan discharge (N/m^2)

V_1 = Kecepatan aliran hisap (m/s)

V_2 = Kecepatan aliran dorong (m/s)

g = Percepatan gravitasi ($9,81 m/s^2$)

z_d = Jarak di sisi dorong terhadap pompa (m)

z_s = Jarak di sisi hisap terhadap pompa (m)

h_{ls} = Head losses (m)

Untuk mengetahui besar daya hidrolis menggunakan persamaan berikut [10].

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (16)$$

Dimana:

P_h = Daya hidrolis ($Watt$)

ρ = Massa jenis air ($1000 kg/m^3$)

g = Percepatan gravitasi ($9,81 m/s^2$)

Q = Debit aliran air (m^3/s)

H = Head (m)

Untuk mengetahui besar daya turbin menggunakan persamaan berikut [9].

$$P_t = T \cdot \omega \quad (17)$$

Dimana:

P_t = Daya turbin (*Watt*)

T = Torsi turbin (*Nm*)

ω = Kecepatan angular (*rad/s*)

Untuk mengetahui besar daya generator menggunakan persamaan berikut [10].

$$P_g = V \cdot I \quad (18)$$

Dimana:

P_g = Daya generator (*Watt*)

V = Tegangan listrik (*Volt*)

I = Arus listrik (*Ampere*)

Untuk mengetahui efisiensi generator menggunakan persamaan berikut [10].

$$\eta_g = \frac{P_g}{P_t} \times 100\% \quad (19)$$

Dimana:

η_g = Efisiensi generator (%)

P_g = Daya generator (*Watt*)

P_t = Daya turbin (*Watt*)

Untuk mengetahui efisiensi sistem turbin menggunakan persamaan berikut [10].

$$\eta_s = \frac{P_t}{P_h} \times 100\% \quad (20)$$

Dimana:

η_s = Efisiensi sistem turbin (%)

P_t = Daya turbin (*Watt*)

P_h = Daya hidroliis (*Watt*)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil dan pembahasan, ditunjukkan beberapa analisa data dan pembahasan mengenai pengaruh dari debit air dan jumlah sudu terhadap performa Turbin Pelton. Pada pengujian ini dilakukan pengambilan data sebanyak 3 kali pada tiap variasi. Setelah didapatkan data hasil pengujian di setiap variasi yang digunakan, digunakan perhitungan rata-rata yang nantinya digunakan untuk menghitung performa Turbin Pelton pada tiap variasi.

Tabel 1. Data hasil pengujian

Variasi	Nilai				
	Bukaan Katup	Jumlah Sudu	Debit Air (lpm)	Putaran (rpm)	Tegangan Listrik (Volt)
1/2	16	18	342,93	8,98	0,60
	18	18	371,43	9,09	0,67
	20	18	362,5	9,10	0,63
3/4	16	20	441,57	9,52	1
	18	20	462,20	9,65	1
	20	20	454,60	9,57	1
Full	16	21	477,60	9,72	1,17
	18	21	486,07	9,81	1,2
	20	21	484,53	9,75	1,2

Setelah mendapatkan data hasil pengujian yang telah dirata-rata, selanjutnya dilakukan perhitungan performa Turbin Pelton untuk mengetahui pengaruh dari debit air dan jumlah sudu.

Berikut adalah hasil perhitungan kapasitas aliran Turbin Pelton yang meliputi luas permukaan pipa dan kecepatan pancaran air.

Tabel 2. Hasil perhitungan kapasitas aliran

Bukaan Katup	Debit Air		Luas Permukaan Pipa (m)	Kecepatan Pancaran Air (m/s)
	Q (lpm)	Q (m ³ /s)		
1/2	18	0,00030	0,000636	4,718
3/4	20	0,00033	0,000636	5,242
Full	21	0,00035	0,000636	5,504

Berikut adalah hasil perhitungan torsi dan kecepatan angular Turbin Pelton yang meliputi kecepatan keliling dan gaya tangensial.

Tabel 3. Hasil perhitungan torsi dan kecepatan angular

Debit Air (m ³ /s)	Jumlah Sudu	Kecepatan Keliling (m/s)	Gaya Tangensial (N)	Torsi Turbin (Nm)	Kecepatan Angular (rad/s)
0,00030	16	1,956	4,086	0,223	35,9
	18	2,119	3,846	0,210	38,9
	20	2,068	3,921	0,214	37,9
0,00033	16	2,519	4,477	0,244	46,2
	18	2,637	4,284	0,233	48,4
	20	2,593	4,355	0,237	47,6
0,00035	16	2,724	4,799	0,262	50,0
	18	2,773	4,715	0,257	50,9
	20	2,764	4,730	0,258	50,7

Berikut adalah hasil perhitungan head pompa Turbin Pelton yang meliputi angka reynold, koefisien gesek dan head loss.

Tabel 4. Hasil perhitungan head pompa

Debit Air (m^3/s)	Reynold	Koefisien Gesek	Pipa Hisap	Pipa Dorong	Head (mka)
			Head Loss	Head Loss	
0,00030	$139,38 \times 10^{-2}$	0,0164	2,044	3,025	6,738
0,00033	$154,87 \times 10^{-2}$	0,0159	2,511	3,710	8,156
0,00035	$162,61 \times 10^{-2}$	0,0158	2,762	4,077	8,918

Berikut adalah tabel hasil perhitungan performa Turbin Pelton yang meliputi daya hidrolis, daya turbin, daya listrik, efisiensi generator dan efisiensi turbin.

Tabel 5. Hasil perhitungan performa turbin

Debit Air (m^3/s)	Jumlah Sudu	Performa Turbin				
		Daya Hidrolis (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Daya Listrik (Watt)	Efisiensi Generator (%)	Efisiensi Turbin (%)
0,0003	16		7,994	5,388	67,403	40,354
	18	19,809	8,148	6,060	74,371	41,135
	20		8,108	5,761	71,053	40,933
0,00033	16		11,277	9,517	84,387	42,329
	18	26,642	11,294	9,653	85,471	42,392
	20		11,293	9,567	84,711	42,389
0,00035	16		13,074	11,336	86,710	42,738
	18	30,59	13,074	11,768	90,009	42,740
	20		13,075	11,696	89,455	42,741

Dari tabel hasil perhitungan performa turbin, selanjutnya dibuatlah grafik pengaruh dari debit air serta jumlah sudu berdasarkan nilai performa turbin yang telah diketahui.



Gambar 5. Grafik pengaruh debit air dan jumlah sudu terhadap putaran turbin

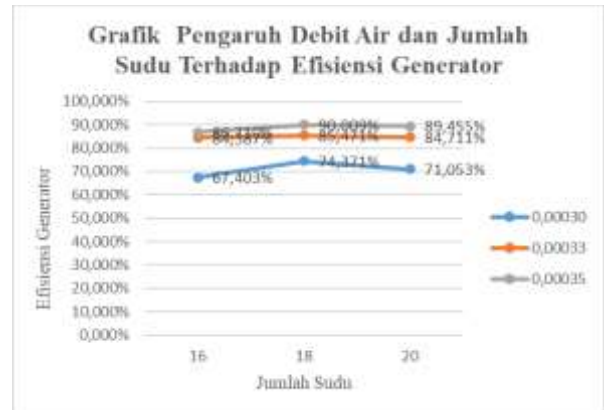
Kecepatan putaran turbin sangat mempengaruhi besar daya yang dihasilkan oleh turbin. Dari gambar grafik hubungan pengaruh dari debit air serta jumlah sudu terhadap putaran turbin, dilihat pada grafik nilai tertinggi ada pada variasi debit air $0,00035 m^3/s$ dengan jumlah sudu 18 yang menghasilkan putaran turbin $486,07 rpm$. Sedangkan nilai terendah ada pada variasi debit air $0,00030 m^3/s$ dengan jumlah sudu 16 yang menghasilkan putaran turbin $342,93 rpm$. Pada grafik juga terlihat bahwa disetiap variasi debit air, jumlah sudu yang menghasilkan putaran turbin tertinggi adalah jumlah sudu 18, sedangkan yang terendah ada pada variasi jumlah sudu 16. Penambahan jumlah sudu tidak mempengaruhi kecepatan putaran turbin secara signifikan,

namun jumlah sudu yang sesuai dengan hasil perencanaan menjadi variasi yang menghasilkan putaran turbin tertinggi.



Gambar 6. Grafik pengaruh debit air dan jumlah sudu terhadap daya generator

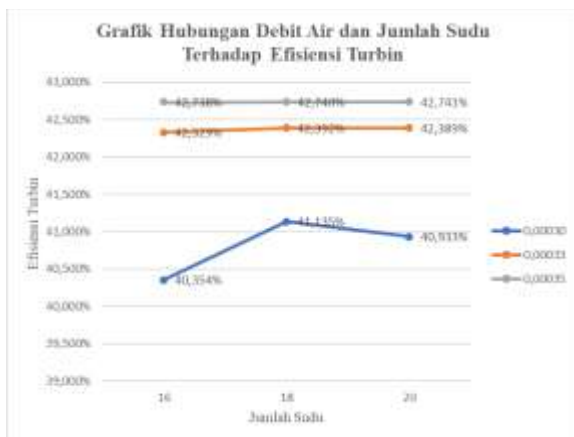
Daya generator adalah daya yang dihasilkan dari putaran poros turbin yang nantinya disambungkan menuju poros generator. Melalui putaran generator, dapat menghasilkan tegangan dan kuat arus melalui putaran rotor dan stator daripada generator. Dari gambar grafik hubungan pengaruh debit air dan jumlah sudu terhadap daya generator, dapat dilihat pada grafik nilai tertinggi ada pada variasi debit air $0,00035 m^3/s$ dengan jumlah sudu 18 yang menghasilkan daya generator $11,768 Watt$, sedangkan nilai terendah ada pada variasi debit air $0,00030 m^3/s$ dengan jumlah sudu 16 yang menghasilkan daya generator $5,4 Watt$. Ini menunjukkan seiring bertambahnya debit air, semakin tinggi nilai daya generator yang dihasilkan. Sebaliknya, semakin kecil debit air maka semakin rendah nilai daya generator. Variasi jumlah sudu yang menghasilkan daya generator tertinggi adalah jumlah sudu 18, sedangkan daya generator terendah ada pada jumlah sudu 16.



Gambar 7. Grafik pengaruh debit air dan jumlah sudu terhadap efisiensi generator

Efisiensi generator adalah perbandingan energi yang masuk yakni daya turbin terhadap energi yang keluar atau daya generator. Dari gambar grafik hubungan pengaruh debit air dan jumlah sudu terhadap efisiensi generator. Dapat dilihat bahwa efisiensi generator paling rendah adalah jumlah sudu 16, dan mengalami peningkatan pada jumlah sudu 18 sebelum mengalami penurunan pada jumlah sudu 20. Penambahan debit air berpengaruh terhadap besar efisiensi generator terlihat pada variasi debit air $0,00035 m^3/s$ menghasilkan efisiensi generator tertinggi, sedangkan variasi

debit air $0,00030 \text{ m}^3/\text{s}$ menghasilkan efisiensi generator terendah. Variasi debit air yang memiliki efisiensi generator tertinggi ada pada variasi $0,00035 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan jumlah sudu 18 menghasilkan nilai efisiensi 90,009%, sedangkan nilai efisiensi generator terendah ada pada variasi $0,00030 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan jumlah sudu 16 yang menghasilkan nilai efisiensi 67,403%.



Gambar 8. Grafik pengaruh debit air dan jumlah sudu terhadap efisiensi turbin

Efisiensi turbin adalah perbandingan energi input yakni daya hidrolis terhadap energi output yakni daya turbin. Dari gambar grafik hubungan pengaruh debit air dan jumlah sudu terhadap efisiensi turbin, terlihat efisiensi turbin tertinggi ada pada variasi debit air $0,00035 \text{ m}^3/\text{s}$, sedangkan efisiensi turbin terendah ada pada variasi debit air $0,00030 \text{ m}^3/\text{s}$. Untuk variasi jumlah sudu, yang menghasilkan efisiensi turbin terendah adalah variasi jumlah sudu 16, sedangkan untuk variasi jumlah sudu yang menghasilkan efisiensi turbin tertinggi adalah variasi jumlah sudu 18. Namun, pada debit air $0,00035 \text{ m}^3/\text{s}$ yang menghasilkan efisiensi turbin tertinggi adalah variasi jumlah sudu 20 dengan nilai 42,741%, sedangkan pada variasi jumlah sudu 18 menghasilkan efisiensi turbin 42,740%. Jadi pada variasi jumlah sudu 18 dan 20 di debit air $0,00035 \text{ m}^3/\text{s}$ memiliki nilai efisiensi turbin yang hampir sama karena selisih nilai yang sangat kecil.

V. KESIMPULAN

Performa turbin tertinggi didapatkan pada variasi debit air $0,00035 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan jumlah sudu 18 yang menghasilkan daya generator 11,8 Watt, efisiensi generator 84,83% dan efisiensi turbin 42,740%. Hal ini menunjukkan seiring bertambahnya debit air yang digunakan, maka performa dari turbin juga semakin meningkat. Penambahan jumlah sudu tidak berpengaruh terhadap nilai performa turbin, namun jumlah sudu yang sesuai dengan perhitungan perencanaan menjadi variasi yang memiliki performa yang lebih baik.

Setelah melakukan pengujian ini, dapat diketahui bahwa besar debit air mempengaruhi kecepatan putaran turbin yang menjadikan nilai daya generator, efisiensi generator dan efisiensi turbin meningkat seiring dengan bertambahnya debit air.

Jumlah sudu yang digunakan juga mempengaruhi nilai dari performa turbin. Jumlah sudu yang memiliki performa

terbaik adalah jumlah sudu 18 yang sesuai dengan rumus perencanaan jumlah sudu.

REFERENSI

- [1] W. Paryatmo, *Turbin Air*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2007.
- [2] Z. Zhang, *Pelton Turbines*. Zurich: Springer, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-31909-4.
- [3] M. Eisenring, *Micro Pelton Turbines*. Switzerland: SKAT, Swiss Center for Appropriate Technology, St.Gallen, Switzerland and GATE, German Appropriate Technology Exchange, Eschborn, Germany, 1991.
- [4] N. Kholifah, A. C. Setyawan, D. S. Wijayanto, I. Widiastuti, and H. Saputro, "Performance of Pelton Turbine for Hydroelectric Generation in Varying Design Parameters," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Jan. 2018, vol. 288, no. 1. doi: 10.1088/1757-899X/288/1/012108.
- [5] H. Irawan, Syamsuri, and Rahmad, "Analisis Performansi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air Jenis Turbin Pelton Dengan Variasi Buka-an Katup Dan Beban Lampu Menggunakan Inverter," *Jurnal Hasil Penelitian LPPM Untag Surabaya*, vol. 03, no. 01, pp. 27–31, Jan. 2018.
- [6] I. G. N. Saputra, L. Jasa, and I. W. A. Wijaya, "Pengaruh Jumlah Sudu Pada Prototype PLTMH Dengan Menggunakan Turbin Pelton Terhadap Efisiensi Yang Dihasilkan," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 7, no. 4, pp. 161–172, Dec. 2020.
- [7] Mafruddin, R. M. Irawan, N. Setiawan, N. Rajabiah, and D. Irawan, "Pengaruh Jumlah Sudu dan Diameter Nozel Terhadap Kinerja Turbin Pelton," *TURBO*, vol. 8, no. 2, pp. 214–218, 2019.
- [8] Y. Kurniawan, A. P. Erlanda, and Ismail, "Pengaruh Jarak dan Posisi Nozle Terhadap Daya Turbin Pelton," *Jurnal Teknik Pertanian*, vol. 5, no. 3, pp. 275–282, Dec. 2017, doi: 10.19025/jtep.05.3.275-282.
- [9] A. Yani, B. Susanto, and Rosmiati, "ANALISIS JUMLAH SUDU MANGKUK TERHADAP KINERJA TURBIN PELTON PADA ALAT PRAKTIKUM TURBIN AIR," *TURBO*, vol. 7, no. 2, 2018.
- [10] E. Prasetya, "NOZZLE DAN SUDUT BUANG SUDU TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI MODEL TURBIN PELTON DI LAB. FLUIDA," 2015.