

ANALISA PENGARUH DIAMETER RUNNER, SUDUT NOSEL, JARAK PANCARAN AIR, DAN DIAMETER NOSEL TERHADAP PERFORMA TURBIN PELTON MIKROHIDRO

Moh Andi Azrial¹⁾, Akdiem Khailani Basory²⁾, Supardi³⁾
Teknik Mesin Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya¹⁾, Teknik Mesin
Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya²⁾, Universitas 17 Agustus 1945
Surabaya³⁾
azrialandy@gmail.com¹⁾, akdim.khailani911@gmail.com²⁾,
supardis@gmail.com³⁾

Abstrak— Tujuan dari riset ini adalah memahami efek dari perubahan diameter runner, sudut nosel, jarak pancaran air, dan diameter nosel terhadap apa yang dihasilkan berupa daya generator, putaran turbin, dan efisiensi system turbin. Turbin pelton yang digunakan untuk runner terbuat dari aliminium dimana bahan tersebut lebih tahan terhadap korosi dan lebih ringan. Sedangkan turbin pelton yang digunakan untuk nosel terbuat dari teflon dimana bahan tersebut lebih ringan dan pembuatan menjadi nosel lebih muda dari pada material logam atau besi. Variasi diameter runner menggunakan ukuran 110 mm, 115mm, dan 120mm yang diuji dengan variasi sudut nosel $\angle 1=0^\circ$, $\angle 2= 45^\circ$, dan $\angle 3= 60^\circ$, Sedangkan untuk variasi jarak pancaran air menggunakan jarak 12 cm, 13 cm, dan 14 cm yang diuji menggunakan diameter nosel 9 mm, 10 mm, dan 11 mm. Dari data uji yang sudah didapat tentang total putaran turbin, tegangan listrik, serta arus listrik setelah pengujian dengan bola lampu. Hasil uji diameter runner dan sudut nosel diperoleh dengan diameter runner 110 mm diperoleh nilai daya generator dan efisiensi turbin relative lebih tinggi dari pada variasi diameter runner yang lain. Dalam hal ini, dapat disimpulkan semakin kecil diameter runner maka putaran turbin yang dihasilkan semakin tinggi, serta kinerja turbin semakin meningkat. Sementara itu, variasi sudut nosel 0° juga memberikan nilai daya generator dan efisiensi turbin yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan variasi sudut nosel 45° dan 60° yang menunjukkan, bahwa sudut nosel mempengaruhi nilai. Tetapi, sudut nosel menurut perhitungan desain menghasilkan variasi dengan kinerja yang lebih baik. Kinerja turbin yang tinggi dapat diperoleh pada variasi diameter runner 110 mm dengan sudut nosel 0° yang menghasilkan daya generator sebesar 6,529 Watt, dan efisiensi turbin 16,93%. Sedangkan hasil pengujian pada variasi jarak pancaran air dan diameter nosel didapatkan bahwa pada variasi jarak pancaran air 12 cm untuk memperoleh hasil daya generator dan efisiensi turbin yang lebih besar dari pada jarak pancaran air 13 cm dan 14 cm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin dekat nya jarak pancaran maka putaran yang dihasilkan semakin cepat, maka kinerja turbin juga semakin meningkat. Pada saat yang sama, variasi diameter nosel berukuran 9 mm juga memperoleh nilai daya generator dan efisiensi turbin yang relatif lebih tinggi dibandingkan variasi diameter nosel 10 mm dan 11 mm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil lobang nosel berpengaruh terhadap nilai performa turbin. Kinerja turbin yang tinggi dapat diperoleh pada variasi jarak pancaran air 12 cm dengan diameter nosel 9 mm yang nilai daya generator sebesar 6,546 Watt, dan efisiensi turbin 16,98%.

Kata-kata kunci: Turbin Pelton, Performa Turbin, Diameter Runner, Sudut Nosel, Jarak Pancaran Air, Diameter Nosel, Efisiensi Turbin.

Abstract— The purpose of this research is to understand the effect of changes in runner diameter, nozzle angle, water jet distance, and nozzle diameter on what is produced in the form of generator power, turbine rotation, and turbine system efficiency. The Pelton turbine used for the runner is made of aluminum which is more resistant to corrosion and lighter. While the Pelton turbine used for the nozzle is made of Teflon where the material is lighter and the manufacture of the nozzle is younger than metal or iron materials. Variations in runner diameter using sizes 110 mm, 115 mm, and 120 mm were tested with variations in nozzle angles $\angle 1=0^\circ$, $\angle 2= 45^\circ$, and $\angle 3= 60^\circ$, while for variations in the distance of the water jet using distances of 12 cm, 13 cm, and 14 cm tested with nozzle diameter variations of 9 mm, 10 mm and 11 mm. From the test data that has been obtained about the total rotation of the turbine, the electric voltage, and the electric current after testing with a light bulb. The test results for the runner diameter and nozzle angle were obtained with a runner diameter of 110 mm, the generator power value and turbine efficiency were relatively higher than the other runner diameter. In this case, it can be concluded that the smaller the runner diameter, the higher the resulting turbine rotation, and the turbine performance increases. Meanwhile, the variation of the nozzle angle of 0° also gives a relatively higher value of generator power and turbine efficiency compared to the variation of the nozzle angle of 45° and 60° indicating that the nozzle angle affects the value. However, the nozzle angle according to design calculations produces a variation with better performance. High turbine performance can be obtained by varying the runner diameter of 110 mm with a nozzle angle of 0° which produces a generator power of 6.529 Watts, and a turbine efficiency of 16.93%. While the test results on variations in water jet distance and nozzle diameter found that at a variation of 12 cm water jet distance to obtain generator power results and turbine efficiency which is greater than the variation of water jet distance of 13 cm and 14 cm. This shows that the closer the beam distance, the faster the resulting rotation, the turbine performance also increases. At the same time, variations in nozzle diameter measuring 9 mm also obtained relatively higher values for generator power and turbine efficiency compared to variations in nozzle diameters of 10 mm and 11 mm. This shows that the smaller the nozzle hole affects the turbine performance value. High turbine performance can be obtained by varying the distance of the water jet of 12 cm with a nozzle diameter of 9 mm with a generator power value of 6.546 Watt, and a turbine efficiency of 16.98%.

Keywords: Pelton turbine, turbine performance, runner diameter, nozzle angle, jet distance, nozzle diameter, turbine efficiency.

I. PENDAHULUAN

Seiring berjalannya waktu, suhu yang ada di bumi semakin meningkat. Hal tersebut merupakan dampak dari pemanasan global akibat banyaknya pemakaian energi tidak terbarukan. Untuk mengatasi hal tersebut, diupayakan menggunakan energi terbarukan dengan memanfaatkan salah satu sumber daya air. Pengolahan air menjadi sumber energi terbarukan dapat dilakukan melalui turbin. Salah satunya, yaitu turbin air. Turbin air termasuk peralatan yang dapat menghasilkan daya listrik dari kinerja pancaran air menjadi energi mekanis untuk menggerakkan generator listrik. Turbin air dibagi menjadi dua macam, yaitu turbin reaksi dan turbin impuls..

Turbin reaksi bekerja dengan terendam didalam air dan pada turbin reaksi ini kecepatan serta tekanan yang digunakan tinggi sehingga terdapat perubahan yang terjadi didalam turbin, yaitu energi kinetik melalui sudu turbin. Arah gerakan air ini masuk kedalam piringan atau runner yang diarahkan oleh sudu pengatur untuk mendapatkan arah yang baik [1]. Misalnya turbin kaplan, turbin propeller dan turbin francis.

Sedangkan turbin Impuls bekerja pada kecepatan air melalui sudu yang menghasilkan energi kinetik dan tekanannya tidak berubah karena sudu yang ada bekerja pada tekanan berat yang ada diudara atau disebut dengan tekanan atmosfer. Sudu gerak pada turbin ini dinamakan bucket dengan pancaran air keluaran dari nosel dan cara bekerja pada sistem ini yaitu tidak memenuhi air [1]. Misalnya turbin pelton dan turbin flow through.

Turbin pelton memiliki runner yang terdiri dari sudu (bucket) dan satu atau lebih injektor yang melewati nozzle untuk mendapatkan semprotan atau jet air dengan kecepatan tinggi. Hubungan yang terjadi pada pancaran air (jet) dan bucket yang berputar memberikan energi dari semprotan atau pancaran air dengan kecepatan tinggi ke runner Turbin Pelton [2].

Turbin Pelton menghasilkan Head pompa dan besar diameter nozzle yang memberikan pengaruh pada hasil daya turbin. Jika head pompa yang digunakan tinggi dari dasar maka akan semakin tinggi pula daya yang didapatkan. Daya yang meningkat ditemukan bersamaan dengan diameter nosel yang meningkat [3].

Sudut penempatan nosel terhadap sudu memiliki pengaruh terhadap efisiensi dan kinerja turbin. Hal ini sejalan dengan pernyataan bahwa terdapat peningkatan pada kinerja PLTMH yang disebabkan oleh kenaikan angka tekanan air yang diberikan terhadap sudut nozzle yang maksimum [4].

Tekanan yang berasal dari air untuk memutar poros roda merupakan fungsi dari section runner. Sudu-sudu yang ada di runner juga digunakan sebagai permukaan pada tekanan air yang berasal dari nosel yang dapat difokuskan menjadi sebuah putaran. Bentuk dari runner yang ada di turbin pelton sendiri harus memiliki bentuk piringan bulat yang dipasang pada poros dalam keadaan berdiri atau vertikal.

Ide pertama yang dilakukan pada kerangka bentuk Turbin Pelton, yaitu memastikan jumlah minimal bucket guna aliran air dari nosel yang terabaikan tidak ada. Selain itu, jumlah minimal yang digunakan juga berguna agar tidak terkena pada sudu turbin karena arus yang terkena pada sudu merupakan energi menghasilkan energi listrik yang didapat dari sumber energi penggerak. Hal yang dilakukan sebelum menentukan jumlah minimum sudu ketika turbin bekerja dibawah laju arus normal.

Hal tersebut berhubungan dengan koefisien kecepatan perifer dan kecepatan pada runner turbin. Untuk menghasilkan turbin pelton dengan efisiensi maksimum, digunakan jumlah bucket optimum dan bergantung pada patokan lainnya [2].

Dalam penentuan ukuran turbin menggunakan skala volume air serta tinggi jatuhnya air. Oleh sebab itu, volume air menjadi skala utama dalam memperoleh sebuah rancangan atau prototype Turbin Pelton dengan efisiensi yang maksimal. Sedangkan untuk meningkatkan besar tekanan air dan mengganti energi kinetik dari energi tekanan berasal dari injektor nosel pada Turbin Pelton.

Maka dari itu, pada percobaan kali ini membuat sebuah prototype dari Turbin Pelton yang diperuntukkan di laboratorium agar kinerja dan daya yang didapatkan menjadi optimal. Percobaan ini menggunakan variasi diameter runner, sudut nosel, jarak pancaran air, dan diameter nosel. Percobaan ini dilakukan dengan metode eksperimen, yaitu material resin untuk sudu, material Teflon untuk nosel, dan percobaan dilakukan di Lab. fluida UNTAG Surabaya. Tujuan dilakukan percobaan ini agar Turbin Pelton dari variasi parameter yang diteliti atau digunakan memiliki performa yang maksimal.

II. PENELITIAN TERDAHULU

Barus, Muhammad Rizky, dkk, (Rizky Barus & Kurniawan, 2022) melaksanakan percobaan hasil variasi diameter nosel dengan judul “Respon Kinerja Turbin Pelton dengan Diameter Nozle Aliran Tekanan Air”, dilakukan untuk menguji pengaruh diameter nosel pada performa turbin pelton. Percobaan ini menghasilkan variasi diameter nosel yang digunakan bisa di ketahui bahwa penggunaan diameter nosel yang kecil telah mencapai daya output listrik maksimal.

Saputra, I Made, dkk (Saputra et al., 2020) dalam penelitian “Pengaruh tekanan air dan sudut nozzle terhadap karakteristik output pada prototype PLTMH dengan turbin Pelton” menjelaskan bahwa penempatan nosel terhadap sudu akan mempengaruhi kinerja PLTMH semakin meningkat.

Mafruddin, dkk. (Mafruddin et al., 2019), dalam percobaannya mengenai diameter nosel, yaitu “Pengaruh Jumlah Sudu dan Diameter Nozel Terhadap Kinerja Turbin Pelton” yang bertujuan untuk melihat daya turbin yang dilakukan oleh jumlah sudu dan diameter nozel.dengan tujuan untuk membuktikan pengaruh diameter nozel dengan daya turbin pelton.

III. METODE

A. Perancangan Turbin Pelton

Untuk mengetahui ukuran rencana Turbin Pelton, harus tau parameter yang digunakan. Parameter yang digunakan terdiri dari Debit Aliran Air (Q), Daya Air (P) dan Head (H). Rumus yang dapat digunakan dalam perencanaan turbin, yaitu: [7].

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

Keterangan:

P = Daya air (Watt)

Q = Kapasitas air (m^3/s)

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

H = Tinggi Jatuhan Air atau Head (m)

η = Efisiensi (%)

ρ = Massa jenis air ($1000 kg/m^3$)

Arus pancaran atau jet yang memiliki kecepatan tinggi dan mengarah ke sudu turbin merupakan fungsi dari nosel. Daya listrik yang dihasilkan berpengaruh pada jumlah dan ukuran nosel. Misalkan jumlah pada nosel ditambah dan ukuran pada diameter nosel diperkecil maka akan berdampak pada daya listrik yang meningkat. Selain itu, laju aliran juga memiliki pengaruh terhadap daya listrik dengan mendorong sudu. Perubahan gaya yang terjadi di poros turbin dengan memutar juga terjadi saat sejalan dengan gaya tumbukan yang diterjadi pada laju aliran air [8].

Untuk mengetahui dan mendapat hasil angka atau nilai dari diameter nosel, perlu diketahui terlebih dahulu menghitung kecepatan pancaran air dengan persamaan sebagai berikut.

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

Setelah mengetahui persamaan kecepatan pancaran air, selanjutnya dapat menghitung diameter nosel menggunakan rumus berikut.

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

Keterangan:

c_1 = Kecepatan pancaran air (m/s)

k_c = Koefisien nosel (0,98)

d = Diameter nosel (m)

Pada runner atau disebut sebagai roda turbin, tentu memiliki bagian-bagian yang ada didalamnya salah satunya, yaitu sudu. Bentuk sudu seperti satu mangkuk dengan satu mangkuk lainnya yang digabungkan, dengan diantara mangkuk tersebut memiliki bagian pemisah air. Selain itu, ada bucket turbin yang dibuat dari berbagai macam bahan dan komponen, yaitu aluminium paduan, baja tuang dengan krom, dll. Sifat dari bahan-bahan yang digunakan untuk membuat bucket turbin akan berpengaruh terhadap seberapa kuatnya yang dimiliki oleh bahan tersebut. Tidak hanya itu saja, bahan yang digunakan juga memiliki pengaruh pada berat bucket yang akan digunakan untuk membuat Turbin Pelton.

Untuk mengetahui ukuran dari diameter sudu, dapat menggunakan rumus atau persamaan seperti mencari besar lebar sudu, kedalaman sudu, panjang sudu, lebar celah sudu, jarak bukaan sudu, serta banyak sudu sebagai berikut [7].

Besar lebar sudu $b = 3,2 \cdot d \quad (4)$

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

Panjang sudu $h = 2,7 \cdot d \quad (6)$

Jarak bukaan sudu $h_1 = 0,35 \cdot d \quad (7)$

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

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

Keterangan:

b = Lebar sudu (m)

t = Kedalaman sudu (m)

h = Panjang sudu (m)

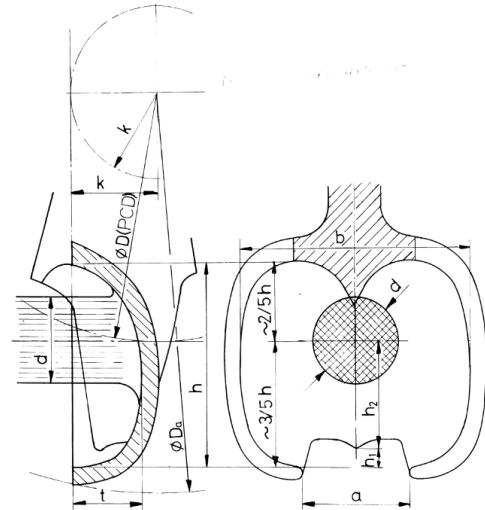
h_1 = Jarak bukaan sudu (m)

a = Lebar celah sudu (m)

z = Banyak sudu

D = Diameter runner (m)

Untuk mengetahui lebih lanjut tentang bagaimana gambaran dari dimensi sudu turbin yang dibuat, dapat disajikan gambar sebagai berikut ini [7].



Gambar 1. Keterangan dimensi dari sudu pada turbin pelton (Eisenring, 1991)

Pada pembahasan sebelumnya, pernah dibahas juga mengenai runner turbin yang terdapat piringan atau plat yang terdapat beberapa sudu yang ada di sekelilingnya dan runner atau turbin dibuat menggunakan bahan seperti aluminium, stainless steel, dll. Cara memasang sudu pada runner cukup mudah, yaitu dengan baut serta pin, dan melubangi dengan bor untuk penempatan bucket yang akan dibuat [7].

Setelah pembahasan diatas, diameter runner perlu dihitung dengan kecepatan putar yang akan digunakan seberapa banyaknya. Kecepatan putar runner terdapat pada rumus berikut.

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

Selanjutnya, luas diameter runner dikalkulasikan dengan memasukkan kecepatan putar yang sudah dihitung pada persamaan sebelumnya. Berikut rumus diameter runner yang akan digunakan.

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

Keterangan:

u_1 = Kecepatan putaran pada runner (m/s)

k_u = Koefisien (0,49)

d_a = Diameter luar runner (m)

n_0 = Kecepatan putaran turbin atau generator (rpm)

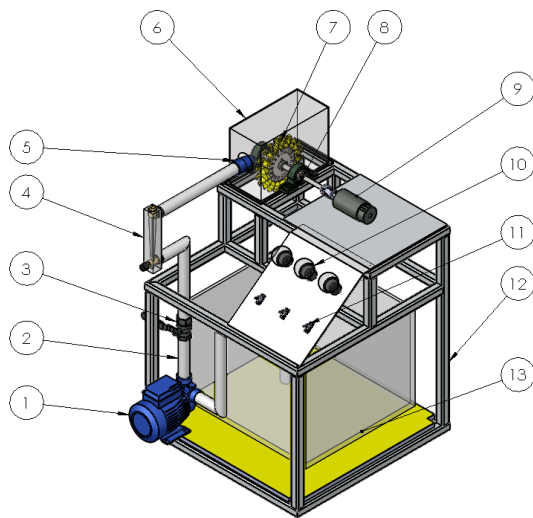
Dari hasil perhitungan menggunakan rumus atau persamaan sebelumnya yang sudah dilakukan untuk membuat Turbin Pelton Mikrohidro, dapat dihasilkan perhitungan sebagai berikut ini :

- Kapasitas pompa (Q) : 36 Liter per Menit
- Sudut sudu : 165 °

- Kedalaman pada sudu (t) : 8,4 mm
- Panjang pada sudu (h) : 25.25 mm
- Lebar pada sudu (b) : 29 mm
- Jumlah sudu (z) : 18 buah
- Diameter runner (D) : 110 mm, 115 mm, dan 120 mm
- Diameter nosel (d) : 9 mm, 10 mm, dan 11 mm
- Jarak pusat pancaran air : 12 cm, 13 cm, dan 14 cm

B. Pembuatan Alat Uji

Sebelum membuat alat uji yang akan digunakan, perlu membuat ide terlebih dahulu, alat dan bahan yang akan digunakan serta sudah memenuhi standar. Berikut ini ide atau desain yang akan digunakan membuat alat uji berupa Turbin Pelton dari beberapa bahan yang disediakan.

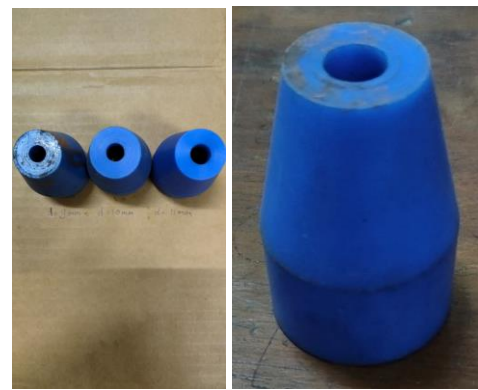


Gambar 2. Instalasi prototype turbin pelton

Keterangan dari gambar prototype turbin pelton:

1. Mesin Pompa Air
2. Pipa Berdiameter satu (1) inci
3. Katup Bola Air Kuningan (*Ball Valve*)
4. Flowmeter Kapasitas 70 LPM
5. Nosel
6. Rumah Turbin
7. Runner dan sudu
8. Bearing *pillow block*
9. Generator DC
10. Lampu tiga buah
11. Saklar *Switch on off*
12. Rangka Turbin
13. Reservoir Turbin

Setelah desain dari alat uji, juga digunakan atau dibuat nosel dengan ukuran yang sesuai dengan variasi serta desain yang akan digunakan. Berikut gambaran dari nosel yang dibuat dengan bahan teflon.



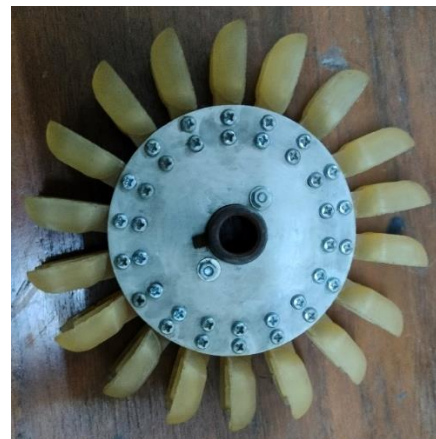
Gambar 3. Nosel

Selain nosel, juga dibuat runner menggunakan bahan plat aluminium. Pemilihan bahan plat aluminium sendiri digunakan karena bahan tersebut ringan dari pada bahan besi. Pada runner cara membuatnya disamakan dengan jumlah sudu yang akan digunakan membuat alat uji. Berikut ini gambaran runner yang akan dibuat pada alat uji ini.



Gambar 4. Runner

Pada bagian runner dipasang juga disekelilingnya berupa sudu dengan bahan resin. Sudu yang dibuat memiliki ukuran sesuai dengan desain yang rencanakan. Pembuatan sudu memiliki beberapa metode, salah satunya metode mold casting menggunakan *silicone*. Pada *silicone rubber* RTV digunakan untuk membuat cetakan. Setelah cetakan jadi, sudu dapat dibentuk dengan resin yang disediakan yang sudah diberi katalis dalam cetakan silikon yang dibuat. Berikut ini gambar sudu yang sudah dicetak dan dipasang disekeliling runner.



Gambar 5. Assembly runner dan sudu

C. Langkah-langkah Pengujian

Setelah membuat desain alat uji, selanjutnya dilakukan hal yang tidak boleh dilewatkan, yaitu cara membuat atau Langkah-langkah pengujian pada prototipe Turbin Pelton sebagai berikut ini:

1. Siapkan semua alat yang digunakan dalam proses ini.
2. Isi barang untuk menaruh air dengan air.
3. Atur turbin yang ada didalamnya berupa diameter runner, sudut nosel, jarak pancaran air, dan diameter nosel yang sesuai dengan variasi yang akan digunakan dalam percobaan ini.
4. Hidupkan pompa air. Setelanya buka valve secara penuh.
5. Hidupkan lampu digunakan untuk pembebanan dengan mengganti tombol saklar ke posisi ON yang berjumlah tiga buah lampu.
6. Setelah itu, dilakukan pengambilan data hasil pengujian yang akan didapatkan:
 - a. Besar debit air yang ditunjukkan flowmeter (lpm).
 - b. Besar putaran runner turbin (rpm)
 - c. Voltage atau tegangan listrik
 - d. Ampere atau arus listrik
7. Setelah hal tersebut dilaksanakan atau dijalankan, selanjutnya katup air ditutup.
8. Kemudian matikan pompa air.
9. Selesai pengujian yang dilakukan dengan Langkah diatas.

D. Perhitungan Performa Turbin

Pada kali ini, dibahas mengenai performa pada turbin. Untuk hasil yang maksimal, digunakan perhitungan performa turbin, diantaranya menghitung kapasitas aliran atau seberapa besar luas pancaran air yang digunakan terhadap kecepatan aliran. Berikut ini cara menghitung kapasitas aliran menggunakan persamaan dibawah ini [9].

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

Keterangan:

v = Kecepatan aliran air (m/s)

A = Luas jet air (m)

Pada bagian turbin terdapat torsi turbin. Torsi turbin dapat digunakan persamaan atau rumus dibawah ini [9].

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

Keterangan:

T = Torsi turbin (Nm)

r = Jari-jari pada runner (m)

F = Gaya tangensial (N)

Kecepatan angular pada performa turbin juga penting untuk mengetahuinya. Oleh karena itu didapatkan persamaan seperti dibawah ini [9].

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

Keterangan:

ω = Kecepatan angular (rad/s)

n = Putaran runner turbin (rpm)

Pada prinsip Bernoulli yang sudah dijelaskan, didapatkan tentang seberapa besar minus atau rugi dalam aliran pipa untuk mengetahui seberapa besarnya head pompa. Dengan pernyataan tersebut, didapatkan cara perhitungan yang benar menggunakan persamaan berikut [10].

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

Keterangan:

H_p = Head pompa air (m)

P_2 = Tekanan discharge (N/m^2)

P_1 = Tekanan suction (N/m^2)

V_2 = Kecepatan aliran air dorong (m/s)

V_1 = Kecepatan aliran air hisap (m/s)

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

z_s = Jarak hisap pada pipa terhadap pompa (m)

z_d = Jarak dorong pada pipa terhadap pompa (m)

h_{ls} = Head loss total (m)

Tidak hanya besar pada head pompa, juga perlu diketahui bagaimana untuk menentukan besar daya hidrolis yang akan digunakan persamaan dibawah ini [10].

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

Keterangan:

P_h = Daya hidrolis ($Watt$)

Q = Debit air (m^3/s)

H = Head (m)

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

ρ = Massa jenis air ($1000 kg/m^3$)

Selain menentukan besaran daya hidrolis, juga ada cara menentukan seberapa besarnya daya turbin yang akan digunakan menggunakan persamaan dibawah ini [9].

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

Keterangan:

P_t = Daya turbin ($Watt$)

ω = Kecepatan angular (rad/s)

T = Torsi turbin (Nm)

Gunakan persamaan berikut untuk mendapatkan besar daya generator yang digunakan dalam alat uji ini [10].

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

Di mana:

P_g = daya generator ($watt$)

I = arus listrik ($ampere$)

V = tegangan listrik ($volt$)

Berikut cara menentukan efisiensi system turbin dengan menggunakan persamaan dibawah ini [10].

$$\eta_s = \frac{P_t}{P_h} \times 100\% \quad (19)$$

Keterangan:

η_s = Efisiensi turbin pelton (%)

P_h = Daya air ($Watt$)

P_t = Daya yang dihasilkan turbin pelton ($Watt$)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab kali ini, berupa Hasil dan Pembahasan menyajikan beberapa analisis data serta pembahasan tentang pengaruh diameter runner, sudut nosel, jarak jet atau pancaran air, dan diameter nosel pada kinerja Turbin Pelton. Pada percobaan ini, data diambil sebanyak tiga kali untuk setiap variasi atau variabel. Setelah data percobaan setiap variabel diperoleh, maka dilakukan perhitungan rata-rata yang kemudian rata-rata tersebut digunakan untuk menghitung efisiensi Turbin Pelton untuk setiap variabel.

Tabel 1. Data hasil pengujian pada variasi diameter runner dan sudut nosel

Variasi		Nilai			
Sudut Nosel (°)	Diameter Runner (mm)	Debit Air (lpm)	Putaran (rpm)	Tegangan Listrik (Volt)	Arus Listrik (Ampere)
0°	110	23	454,07	8,94	0,73
	115		433,17	8,90	0,65
	120		413,53	8,83	0,62
45°	110	23	410,50	8,46	0,56
	115		379,47	7,46	0,44
	120		352,40	7,33	0,42
60°	110	23	422,40	8,54	0,61
	115		401,83	7,74	0,51
	120		383,13	7,54	0,48

Tabel 2. Data hasil pengujian pada variasi jarak pancaran air dan diameter nosel

Variasi		Nilai			
Jarak Pancaran Air (cm)	Diameter Nosel (mm)	Debit Air (lpm)	Putaran (rpm)	Tegangan Listrik (Volt)	Arus Listrik (Ampere)
12	9	23	459,70	8,94	0,73
	10		426,17	8,62	0,52
	11		355,03	7,54	0,44
13	9	23	446,73	8,90	0,64
	10		404,20	8,54	0,50
	11		333,07	7,46	0,37
14	9	23	436,27	8,83	0,62
	10		388,23	8,46	0,48
	11		324,40	7,33	0,31

Setelah data hasil pengujian rata-rata diperoleh, perhitungan efisiensi turbin Pelton dilakukan untuk menentukan pengaruh pengujian beberapa variabel yang teridentifikasi.

Berikut ini hasil kalkulasi kapasitas aliran turbin pelton berdasarkan luas pipa serta kecepatan jet air atau pancaran air.

Tabel 3. Hasil perhitungan kapasitas aliran pada variasi diameter runner dan sudut nosel

Variasi		Debit Air		Luas Permukaan Pipa (m)	Kecepatan Pancaran Air (m/s)
Sudut Nosel (°)	Diameter Runner (mm)	Q (lpm)	Q (m ³ /s)		
0°	110	23	0,00038	0,00006359	6,029
	115				
	120				
45°	110	23	0,00038	0,00006359	6,029
	115				
	120				
60°	110	23	0,00038	0,00006359	6,029
	115				
	120				

Tabel 4. Hasil perhitungan kapasitas aliran pada variasi jarak pancaran air dan diameter nosel

Variasi		Debit Air		Luas Permukaan Pipa (m)	Kecepatan Pancaran Air (m/s)
Jarak Pancaran Air (cm)	Diameter Nosel (mm)	Q (lpm)	Q (m ³ /s)		
12	9	23	0,00038	0,000636	6,029
	10			0,000785	4,883
	11			0,000950	4,036
13	9	23	0,00038	0,000636	6,029
	10			0,000785	4,883
	11			0,000950	4,036
14	9	23	0,00038	0,000636	6,029
	10			0,000785	4,883
	11			0,000950	4,036

Setelah mendapat hasil dari perhitungan kapasitas aliran turbin Pelton, berikut ini adalah hasil perhitungan pada torsi serta kecepatan sudut turbin pelton berupa gaya tangensial serta kecepatan keliling yang telah tersedia.

Tabel 5. Hasil kecepatan angular dan perhitungan torsi pada variasi diameter runner dan sudut nosel

Variasi		Kecepatan Keliling (m/s)	Gaya Tangensial (N)	Torsi Turbin (Nm)	Kecepatan Angular (rad/s)
Sudut Nosel (°)	Diameter Runner (mm)				
0°	110	2,614	2,573	0,142	47,5
	115	2,607	2,579	0,148	45,3
	120	2,597	2,586	0,155	43,3
45°	110	2,363	2,762	0,152	43,0
	115	2,284	2,822	0,162	39,7
	120	2,213	2,875	0,173	36,9
60°	110	2,425	2,716	0,149	44,1
	115	2,418	2,271	0,156	42,1
	120	2,406	2,730	0,164	40,1

Tabel 6. Hasil perhitungan torsi dan kecepatan angular pada variasi jarak pancaran air dan diameter nosel

Variasi		Kecepatan Keliling (m/s)	Gaya Tangensial (N)	Torsi Turbin (Nm)	Kecepatan Angular (rad/s)
Jarak Pancaran Air (cm)	Diameter Nosel (mm)				
12	9	2,646	2,549	0,140	48,1
	10	2,453	1,831	0,101	44,6
	11	2,044	1,501	0,083	37,2
13	9	2,572	2,605	0,143	46,8
	10	2,327	1,926	0,106	42,3
	11	1,917	1,596	0,088	34,9
14	9	2,511	2,651	0,146	45,7
	10	2,235	1,996	0,110	40,6
	11	1,867	1,634	0,090	34,0

Setelah perhitungan sebelumnya selesai, dapat dilanjutkan kebalikan dengan menghitung hasil head pompa Turbin Pelton yang berupa angka Reynold, koefisien gesek, serta head loss.

Tabel 7. Hasil perhitungan head pompa pada variasi diameter runner dan sudut nosel

Variasi		Reynold	Koefisien Gesek	Pipa Hisap	Pipa Dorong	Head (mka)
Sudut Nosel (°)	Diameter Runner (mm)			Head Loss	Head Loss	
0°	110	$178,09 \times 10^{-3}$	0,0154	3,300	4,886	10,573
	115	$178,09 \times 10^{-3}$	0,0154	3,300	4,886	10,573
	120	$178,09 \times 10^{-3}$	0,0154	3,300	4,886	10,573
45°	110	$178,09 \times 10^{-3}$	0,0154	3,300	4,710	10,397
	115	$178,09 \times 10^{-3}$	0,0154	3,300	4,710	10,397
	120	$178,09 \times 10^{-3}$	0,0154	3,300	4,710	10,397
60°	110	$178,09 \times 10^{-3}$	0,0154	3,300	4,757	10,445
	115	$178,09 \times 10^{-3}$	0,0154	3,300	4,757	10,445
	120	$178,09 \times 10^{-3}$	0,0154	3,300	4,757	10,445

Tabel 8. Hasil perhitungan head pompa pada variasi jarak pancaran air dan diameter nosel

Variasi		Reynold	Koefisien Gesek	Pipa Hisap	Pipa Dorong	Head (mka)
Jarak Pancaran Air (cm)	Diameter Nosel (mm)			Head Loss	Head Loss	
12	9	$178,09 \times 10^{-3}$	0,0154	3,300	4,886	10,573
	10	$144,25 \times 10^{-3}$	0,0162	2,186	3,249	7,184
	11	$119,22 \times 10^{-3}$	0,0170	1,507	2,247	5,118
13	9	$178,09 \times 10^{-3}$	0,0154	3,300	4,875	10,562
	10	$144,25 \times 10^{-3}$	0,0162	2,186	3,241	7,177
	11	$119,22 \times 10^{-3}$	0,0170	1,507	2,241	5,112
14	9	$178,09 \times 10^{-3}$	0,0154	3,300	4,863	10,551
	10	$144,25 \times 10^{-3}$	0,0162	2,186	3,233	7,169
	11	$119,22 \times 10^{-3}$	0,0170	1,507	2,236	5,107

Untuk yang terakhir, dapat ditunjukkan tabel yang menunjukkan hasil kalkulasi kinerja turbin pelton yang berupa daya hidrolik, daya turbin, daya listrik, serta efisiensi turbin.

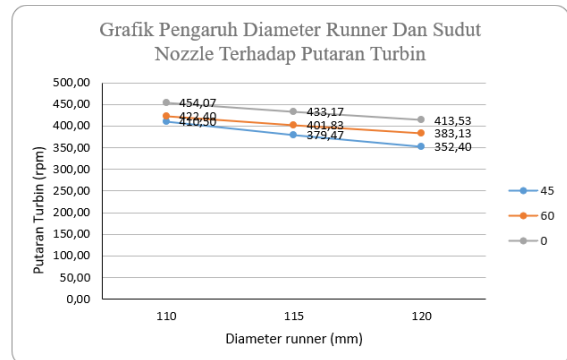
Tabel 9. Hasil perhitungan performa pada turbin pelton pada variasi diameter runner dan sudut nosel

Variasi		Performa Turbin			
Sudut Nosel (°)	Diameter Runner (mm)	Daya Hidrolis (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Daya Listrik (Watt)	Efisiensi Turbin (%)
0°	110	39,720	6,727	6,529	16,93
	115	39,720	6,722	5,815	16,92
	120	39,720	6,716	5,475	16,91
45°	110	43,934	6,528	4,736	14,86
	115	43,934	6,445	3,256	14,67
	120	43,934	6,364	3,077	14,48
60°	110	40,142	6,585	5,179	16,40
	115	40,142	6,580	3,920	16,39
	120	40,142	6,569	3,618	16,36

Tabel 10. Hasil perhitungan performa turbin pada variasi jarak pancaran air dan diameter nosel

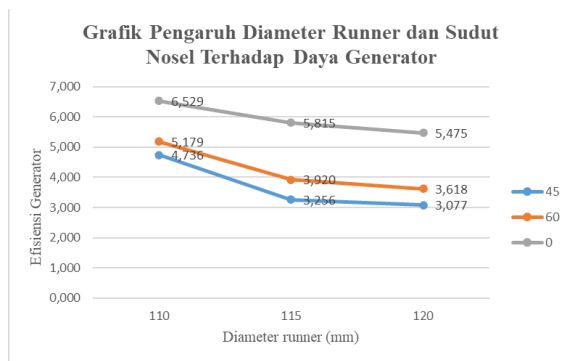
Variasi		Performa Turbin			
Jarak Pancaran Air (cm)	Diameter nosel (mm)	Daya Hidrolis (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Daya Listrik (Watt)	Efisiensi Turbin (%)
12	9	39,720	6,745	6,529	16,98
	10	26,990	4,492	4,454	16,64
	11	19,226	3,068	3,291	15,96
13	9	39,678	6,700	5,726	16,89
	10	26,961	4,483	4,240	16,63
	11	19,205	3,061	2,784	13,93
14	9	39,635	6,657	5,475	16,79
	10	26,931	4,460	4,059	16,56
	11	19,184	3,051	2,271	15,91

Setelah tabel yang sebelumnya sudah dihitung, selanjutnya dapat dibuat plot berupa grafik yang memiliki efek atau pengaruh dari diameter runner, sudut nosel, jarak jet, serta diameter nosel didasarkan pada nilai kinerja turbin yang diketahui.



Gambar 5. Grafik pengaruh diameter runner dan sudut nosel terhadap putaran turbin

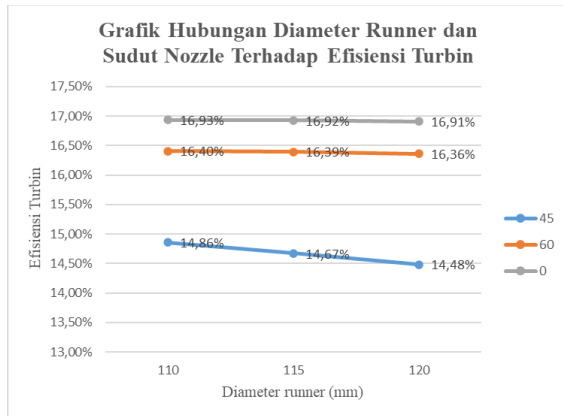
Jumlah perputaran poros turbin dalam satuan waktu serta dinyatakan dalam putaran permenit (RPM) dengan ditunjukkan dari kecepatan putaran disebut putaran turbin. Pada grafik yang tersedia, yaitu antara hubungan pengaruh diameter runner dan sudut nosel pada putaran turbin, terlihat dari diagram bahwa nilai tertinggi terdapat pada variasi sudut nosel 0° dengan Diameter runner 110 mm yang menghasilkan putaran turbin 454,07 RPM, sedangkan nilai terendah terdapat pada variasi sudut nosel 45° dengan diameter runner 120 mm yang menghasilkan putaran turbin 398,70 RPM. Ini menunjukkan bahwa semakin kecil diameter runner, maka semakin tinggi putaran turbin (RPM) yang dihasilkan. Sebaliknya, semakin besar diameter runner maka semakin rendah putaran turbin yang dihasilkan. Sedangkan untuk sudut nosel yang menghasilkan putaran turbin tertinggi ada pada 0°, dan putaran turbin terendah ada pada ukuran sudut nosel 45°.



Gambar 6. Grafik pengaruh diameter runner dan sudut nosel terhadap daya generator

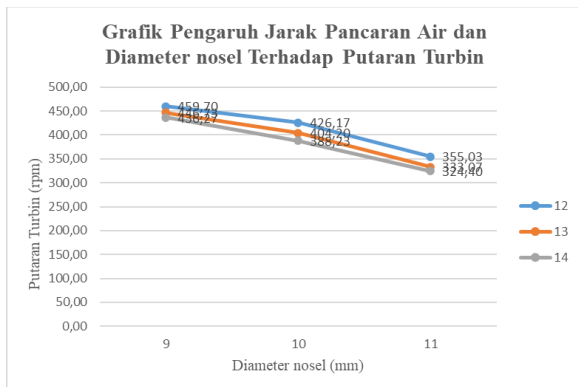
Putaran poros turbin yang tersambung oleh poros generator disebut sebagai daya generator. Tegangan dan arus dihasilkan dari perputaran generator dan stator yang dihasilkan. Dari gambar grafik hubungan antara efek diameter runner dan sudut nosel pada daya generator serta pada diagram tersebut terlihat nilai tertinggi terdapat pada variasi sudut nosel 0° dengan diameter runner 110 mm menghasilkan daya generator 6,529 watt, sedangkan nilai terendah terdapat pada variasi sudut nosel 45° dengan diameter runner 120 mm menghasilkan daya generator 3,077 watt. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil diameter

runner maka nilai daya generator semakin besar. Begitu juga sebaliknya, semakin besar diameter runner, semakin rendah nilai generatonya. Mengenai sudut nosel yang menghasilkan daya generator tertinggi adalah 0° dan daya generator terendah adalah 45° .



Gambar 8. Grafik pengaruh diameter runner dan sudut nosel terhadap efisiensi turbin

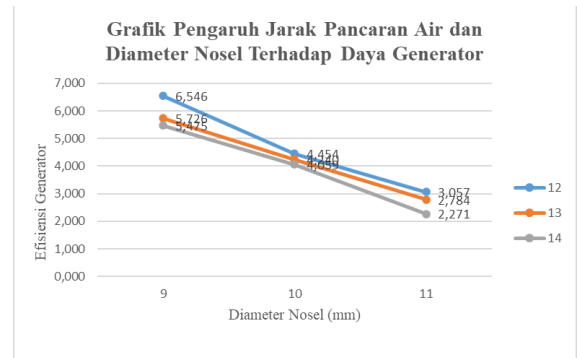
Pada rasio energi yang dimasukkan berupa daya hidrolis terhadap energi yang dihasilkan berupa daya turbin disebut efisiensi turbin. Gambar 8 menunjukkan hubungan antara diameter runner dan sudut nosel pada efisiensi turbin, serta terlihat bahwa efisiensi maksimum turbin berada pada variasi diameter runner ukuran 110 mm dan sudut nosel 0° . Efisiensi turbin mengalami penurunan pada variasi sudut nosel 45° dan ukuran diameter runner 120 mm.



Gambar 9. Grafik pengaruh jarak pancaran air dan diameter nosel terhadap putaran turbin

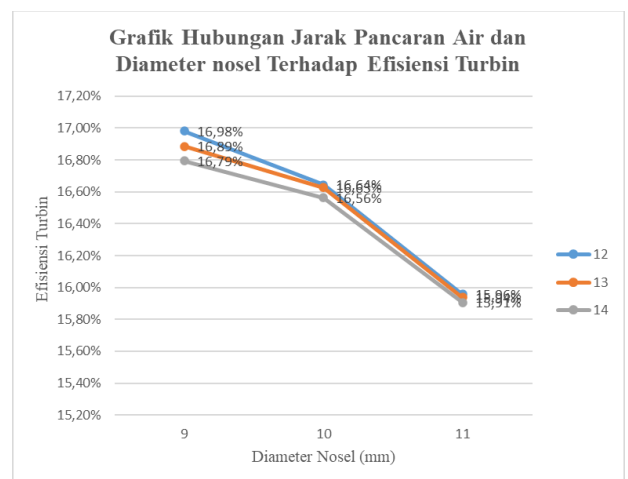
Pada pembahasan sebelumnya, pernah dibahas juga mengenai jumlah perputaran poros turbin dalam satuan waktu serta dinyatakan dalam putaran permenit (RPM) dengan ditunjukkan dari kecepatan putaran disebut putaran turbin. Pengaruh jarak pancar dan diameter nosel terhadap putaran turbin dari gambar grafik dan grafik terlihat bahwa nilai maksimum terdapat pada variasi jarak pancar 12 cm dengan diameter nosel 9 mm, yang menghasilkan putaran turbin sebesar 459,70 rpm, sedangkan nilai terendah pada variasi jarak pancaran air 14 cm dengan diameter nosel 11 mm, yang menghasilkan putaran turbin sebesar 369,90 rpm. Hal ini menandakan bahwa semakin dekat jarak jet atau jarak pancaran air, maka semakin tinggi pula putaran turbin (RPM) yang dihasilkan. Sebaliknya, semakin jauh jarak jet atau jarak pancaran air maka semakin kecil putaran turbin yang dihasilkan. Sedangkan diameter nosel yang menghasilkan

putaran turbin terbesar adalah 9 mm dan putaran turbin terkecil adalah dengan diameter nosel 11 mm



Gambar 10. Grafik pengaruh jarak pancaran air dan diameter nosel terhadap daya generator

Pada pembahasan sebelumnya, pernah dibahas juga mengenai putaran poros turbin yang tersambung oleh poros generator disebut sebagai daya generator. Tegangan dan arus dihasilkan dari perputaran generator dan stator yang dihasilkan. Pengaruh jarak pancar dan diameter nosel terhadap daya generator dari gambar grafik dan grafik terlihat bahwa nilai maksimum terdapat pada variasi jarak pancar 12 cm dengan diameter nosel 9 mm, yang menghasilkan daya generator sebesar 6,546 watt, sedangkan nilai terendah pada variasi jarak pancaran air 14 cm dengan diameter nosel 11 mm, yang menghasilkan daya generator sebesar 2,271 watt. Hal ini menunjukkan bahwa semakin dekat jarak jet atau jarak pancaran air, maka semakin besar pula nilai daya generator yang didapatkan. Sebaliknya, semakin jauh jarak jet atau jarak pancaran air maka semakin rendah nilai generator yang dihasilkan. Sedangkan diameter nosel yang menghasilkan daya generator terbesar adalah 9 mm dan daya generator terkecil adalah dengan diameter nosel 11 mm.



Gambar 11. Grafik pengaruh jarak pancaran air dan diameter nosel terhadap efisiensi turbin

Pada bab sebelumnya juga pernah dibahas mengenai rasio energi yang dimasukkan berupa daya hidrolis terhadap energi yang dihasilkan berupa daya turbin disebut efisiensi turbin. Gambar 11 menunjukkan hubungan antara jarak pancaran air atau jet dan diameter nosel pada efisiensi turbin, serta terlihat bahwa efisiensi maksimum turbin berada pada variasi diameter nosel ukuran 9 mm dan jarak jet atau pancaran air sebesar 12 cm. Efisiensi turbin mengalami penurunan pada

variasi jarak jet atau pancaran air sebesar 14 cm dan besar diameter nosel sebesar 11 mm.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang berjudul “Analisa Pengaruh Diameter Runner, Sudut Nosel, Jarak Pancaran Air, Dan Diameter Terhadap Performa Turbin Pelton Mikrohidro” dapat disimpulkan:

Jumlah perputaran poros turbin dalam satuan waktu serta dinyatakan dalam putaran permenit (RPM) dengan ditunjukkan dari kecepatan putaran disebut putaran turbin. Variasi diameter runner 110 mm dan sudut nosel 0° menghasilkan putaran turbin tertinggi dengan nilai 454,07 RPM Sedangkan pada variasi jarak pancaran air 12 cm dan diameter nosel 9 mm menghasilkan putaran turbin tertinggi dengan nilai 459,70 RPM.

Daya generator menjadi lebih besar seiring dengan bertambahnya kecepatan air yang bekerja pada turbin. Pada variasi diameter runner 110 mm dan sudut nosel 0° menghasilkan daya generator tertinggi dengan nilai 6,529 Watt, Sedangkan pada variasi jarak pancaran air 12 cm dan diameter nosel 9 mm menghasilkan daya generator tertinggi dengan nilai 6,546 Watt.

Rasio energi yang dimasukkan berupa daya hidrolis terhadap energi yang dihasilkan berupa daya turbin disebut efisiensi turbin. Pada variasi diameter runner 110 mm dan sudut nosel 0°, menghasilkan efisiensi turbin tertinggi dengan nilai 16,93%, sedangkan pada variasi jarak pancaran air 12 cm dan diameter nosel 9 mm, menghasilkan efisiensi turbin tertinggi dengan nilai 16,98%

Berdasarkan pengujian variasi diameter runner dan sudut nosel yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa semakin kecil diameter runner akan semakin tinggi nilai daya kecepatan putaran turbin yang mengubah nilai daya generator dan efisiensi turbin. Sudut nosel dengan performa terbaik adalah sudut 0°.

Sedangkan pengujian dengan variasi jarak pancaran air dan diameter nosel yang telah dilakukan, jarak jet atau pancaran air berpengaruh terhadap kecepatan putaran turbin pelton, menyebabkan nilai daya generator dan efisiensi turbin naik seiring dengan dekat jarak pancaran air dan juga diameter nosel yang dipakai juga berpengaruh kepada nilai dari kinerja turbin. Diameter nosel yang mendapat kinerja tertinggi adalah diameter nosel 9 mm yang sesuai dengan persamaan perencanaan desain diameter nosel.

REFERENSI

- [1] Paryatmo W. Turbin Air. Yogyakarta: Graha Ilmu; 2007.
- [2] Zhang Z. Pelton Turbines. Zurich: Springer; 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-31909-4>.
- [3] Kholifah N, Setyawan AC, Wijayanto DS, Widiastuti I, Saputro H. Performance of Pelton Turbine for Hydroelectric Generation in Varying Design Parameters. IOP Conf Ser Mater Sci Eng, vol. 288, Institute of Physics Publishing; 2018. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/288/1/012108>.
- [4] Saputra IMAT, Jasa L, Wijaya IWA. PENGARUH TEKANAN AIR DAN SUDUT NOZZLE TERHADAP KARAKTERISTIK OUTPUT PADA PROTOTYPE PLTMH DENGAN TURBIN PELTON. SPEKTRUM 2020;7:17–26.
- [5] Rizky Barus M, Kurniawan F. RESPON KINERJA TURBIN PELTON DENGAN DIAMETER NOZZLE ALIRAN TEKANAN AIR. vol. 17. Online; 2022.
- [6] Mafruddin, Irawan RM, Setiawan N, Rajabiah N, Irawan D. Pengaruh Jumlah Sudu dan Diameter Nozel Terhadap Kinerja Turbin Pelton. TURBO 2019;8:214–8.
- [7] Eisenring M. Micro Pelton Turbines. Switzerland: SKAT, Swiss Center for Appropriate Technology, St.Gallen, Switzerland and GATE, German Appropriate Technology Exchange, Eschborn, Germany; 1991.
- [8] Kurniawan Y, Erlanda AP, Ismail. Pengaruh Jarak dan Posisi Nozle Terhadap Daya Turbin Pelton. Jurnal Teknik Pertanian 2017;5:275–82. <https://doi.org/10.19025/jtep.05.3.275-282>.
- [9] Yani A, Susanto B, Rosmiati. ANALISIS JUMLAH SUDU MANGKUK TERHADAP KINERJA TURBIN PELTON PADA ALAT PRAKTIKUM TURBIN AIR. TURBO 2018;7.
- [10] Prasetya E. NOZZLE DAN SUDUT BUANG SUDU TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI MODEL TURBIN PELTON DI LAB. FLUIDA. vol. 1. 2015.