

Studi Experimental Pengaruh Variasi Bukaannya Katup Pada Aliran Fluida Terhadap Performa Simulator Turbin Pelton

R. Yudi Hartono^{1*}, Muhammad Nur Hakim²

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Qomaruddin, Gresik, Indonesia

* Korespondensi: yudih2502@gmail.com

ABSTRACT

Received: 28 March 2024

Accepted: 2 July 2024

Published: 7 July 2024

Citation: Hartono, R.Y., & Hakim, M.N., Studi Experimental Pengaruh Variasi Bukaannya Katup Pada Aliran Fluida Terhadap Performa Simulator Turbin Pelton. *Qomaruna Journal of Multidisciplinary Studies*, 1(2), 32-54

The Pelton turbine is a microhydro device that can convert kinetic energy into electrical energy with the help of water flow. A valve is a piping system that functions to regulate, direct and control the rate of fluid flow by opening and closing the fluid flow. The steps used in this research include design methods, tool testing methods, data collection methods, and data analysis methods. The aim of this research is to determine the effect of varying valve openings of 30°, 60° and 90° on the values of rotational speed, torque, turbine power, generator power and system efficiency from the Pelton turbine simulator. From the test results and data processing, it was found that a 90° valve opening had better rotational speed, torque, turbine power and generator power, as well as system efficiency compared to 30° and 60° valve openings.

Keywords: Power Plant, Pelton Turbine, Valve Aperture

ABSTRAK

Turbin pelton merupakan salah satu alat mikrohidro yang dapat merubah energi kinetik menjadi energi listrik dengan bantuan aliran air. Katup merupakan sistem perpipaan yang berfungsi untuk mengatur, mengarahkan dan mengontrol laju aliran fluida dengan cara membuka dan menutup aliran fluida. Langkah – langkah yang digunakan dalam penelitian ini meliputi metode perancangan, metode pengujian alat, metode pengambilan data, dan metode analisa data. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh variasi bukaannya katup 30°, 60° dan 90° terhadap nilai kecepatan putar, torsi, daya turbin, daya generator, dan efisiensi sistem dari simulator turbin pelton. Dari hasil pengujian dan pengolahan data maka didapatkan bahwa bukaannya katup 90° memiliki kecepatan putar, Torsi, Daya Turbin, dan Daya Generator, serta Efisiensi sistem yang lebih baik dibandingkan dengan bukaannya katup 30° dan 60°.

Kata kunci: Pembangkit Listrik, Turbin Pelton, Bukaannya Katup

1. Pendahuluan

Seiring dengan berkembangnya zaman, pemakaian energi listrik semakin besar, sehingga energi listrik merupakan unsur yang paling penting dalam berkembangnya suatu daerah atau negara. Di Indonesia merupakan salah satu negara yang dilwati garis khatulistiwa yang beriklim tropis memiliki hutan yang melimpah memiliki sumber daya alam berupa air yang dapat digunakan untuk



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

membangkitkan energi listrik yang terbarukan. Air dapat digunakan untuk memutar poros turbin yang dapat menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat ini. Jenis turbin yang digunakan di (PLTMH) yakni turbin pelton. Turbin Pelton merupakan mesin penggerak, yang menggunakan energi fluida air untuk memutar roda turbin. Prinsip turbin pelton yaitu menggunakan aliran fluida air untuk menghasilkan energi potensial air yang diubah menjadi energi kinetik melalui nozzle yang disemprotkan ke sudu kemudian diubah menjadi energi mekanik yang di gunakan untuk memutar poros turbin untuk menghasilkan tenaga listrik

Pada penelitian turbin pelton terdahulu yang berjudul “ Analisis Performansi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air Jenis Turbin Pelton Dengan Variasi Bukaannya Katup Dan Beban Lampu Menggunakan Inverter”, Irawan et al. (2019) menggunakan variasi bukaan katup 15° , 30° , 45° , 60° , 75° dan 90° . Pada penelitian ini daya listrik maksimum dari keempat beban lampu 3,5,9 dan 12 watt adalah dimana daya listrik tertinggi diperoleh pada beban lampu 9 watt dan pada bukaan katub 90° dengan perolehan 1,761 watt dan untuk efisiensi tertinggi pada bukaan katup 90° dengan perolehan 32,1 %. Pada penelitian yang lain menunjukkan daya listrik maksimum dari beberapa variasi bukaan katup dan nozzle adalah dimana daya listrik tertinggi diperoleh pada bukaan katup 85° dengan menggunakan diameter nozzle kombinasi 3 mm dan 5 mm dengan perolehan 2,7 Watt dengan kecepatan runner 1009 Rpm dan daya terendah diperoleh pada bukaan katup 45° dengan menggunakan diameter nozzle 3 mm dengan perolehan 1,5 Watt dengan kecepatan runner 142 rpm. (Purnomo, 2017). Penelitian turbin pelton juga pernah dilakukan oleh Rezky Setiawan, pada penelitian ini menggunakan variasi bukaan katup 15° , 30° , 45° , 60° , 75° dan 90° . Dari hasil tersebut didapatkan nilai output tertinggi pada bukaan katup 90° yaitu debit air sebesar 25,24 l/m dengan kecepatan rata-rata 559,2 Rpm dan nilai output terendah pada bukaan katup 15° yaitu debit air sebesar 8,17 l/m dengan kecepatan rata-rata 116,3 Rpm. (Setiawan, 2018).

Berdasarkan penelitian yang sudah ada, maka akan dilakukan penelitian yang berbeda pada simulator turbin pelton dengan menggunakan variasi bukaan katup (30° , 60° dan 90°) untuk mendapatkan daya semaksimal mungkin dari variasi bukaan katup tersebut.

Adapun Rumusan Masalah pada penelitian kali ini adalah :

1. Bagaimana hubungan kecepatan putar dengan torsi sudu turbin pelton 20 pada bukaan katup 30° , 60° & 90° ?
2. Bagaimana hubungan kecepatan putar dengan daya mekanis turbin yang dihasilkan oleh sudu turbin pelton 20 pada variasi bukaan katup 30° , 60° & 90° ?
3. Bagaimana hubungan torsi dan daya mekanis turbin yang dihasilkan sudu turbin pelton 20 pada variasi bukaan katup 30° , 60° & 90° ?
4. Bagaimana daya generator yang dihasilkan sudu turbin pelton 20 pada variasi bukaan katub 30° , 60° & 90° ?
5. Berapa efisiensi sudu turbin pelton 20 pada variasi bukaan katup 30° , 60° & 90° ?

Adapun Tujuan Penelitian kali ini adalah :

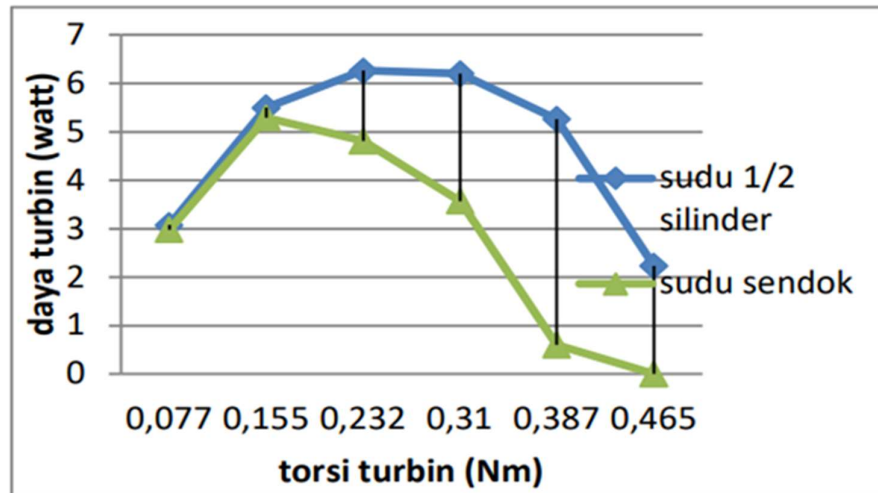
1. Mengetahui hubungan kecepatan putar dengan torsi sudu turbin pelton 20 pada bukaan katup 30° , 60° & 90° ?
2. Mengetahui hubungan kecepatan putar dengan daya mekanis turbin yang dihasilkan oleh sudu turbin pelton 20 pada variasi bukaan katup 30° , 60° & 90° ?
3. Mengetahui hubungan torsi dan daya mekanis turbin yang dihasilkan sudu turbin pelton 20 pada variasi bukaan katup 30° , 60° & 90° ?
4. Mengetahui daya generator yang dihasilkan sudu turbin pelton 20 pada variasi bukaan katup 30° , 60° & 90° ?
5. Mengetahui berapa efisiensi sudu turbin pelton 20 pada variasi bukaan katup 30° , 60° & 90° ?

2. Tinjauan Pustaka

Penelitian terhadap pembangkit listrik microhydro atau tenaga air terutama berskala menengah kebawah sebenarnya sudah banyak dilakukan. Pada bangkit energy dari turbin pelton memiliki banyak sekali faktor-faktor yang dapat memengaruhi daya yang dihasilkan seperti jumlah, bentuk dan

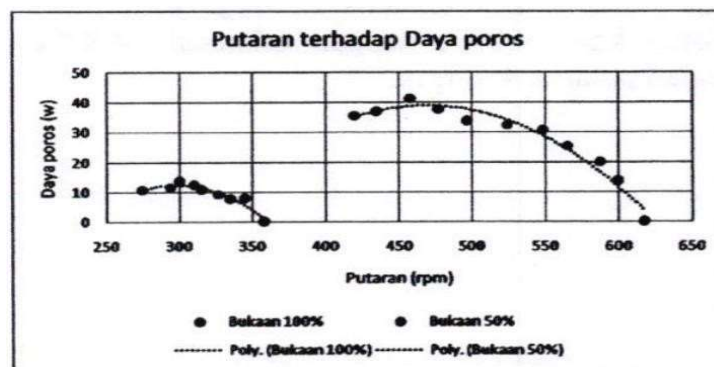
diameter dari sudu, adapun faktor lain seperti kapasitas air, diameter noozel, bukaan katup dan lain sebagainya. Berikut merupakan kajian penelitian terdahulu yang dapat digunakan sebagai acuan dalam penelitian.

Madagaskar, dkk. Pada penelitiannya pengujian turbin pelton skala mini dengan dua variasi bentuk sudu dan bukaan katup. Penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh keluaran daya yang dihasilkan pada variasi bentuk sudu sendok dan setengah silinder dengan menggunakan variasi bukaan katup 50% dan 100%.



Gambar 1. Grafik Hubungan Torsi Turbin Terhadap Daya Turbin Katup Bukaan Penuh (Full Opened Valve). Sumber: (Madagaskar, 2022)

Berdasarkan gambar 1, Pada sudu setengah silinder daya maksimum turbin terjadi pada daya 6,264 Watt dengan torsi turbin 0,232 Nm, dan daya minimum terjadi pada 2,236 Watt, dengan torsi turbin 0,465 Nm, kedua sudu sendok daya maksimum terjadi pada 5,288 Watt dengan torsi turbin 0,155 N.m dan daya minimum terjadi pada 0,599 Watt dengan torsi turbin 0,387 N.m (Madagaskar, 2022). Maridjo, dkk. Pada penelitiannya merancang bangun turbin pelton mikrohidro Penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh keluaran daya yang dihasilkan pada variasi bukaan katup 50% dan 100% dengan jumlah sudut 17.



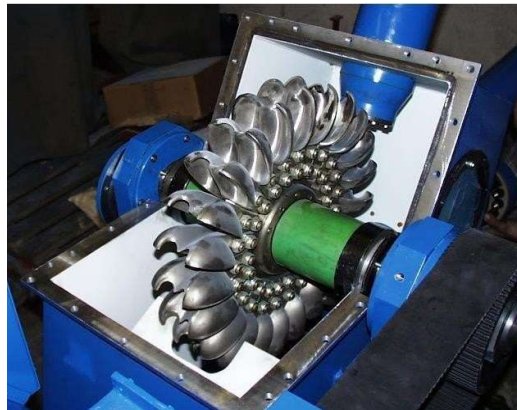
Gambar 2. Grafik Putaran Terhadap Daya Poros. Sumber : (Maridjo, 2016)

Pada gambar 2 grafik diatas bahwa daya poros akan semakin naik jika putaran turbin turun hal ini akibatkan karena pembebanan dari tanpa beban hingga beban 13,5 kg dan setelah mencapai titik optimum daya menurun. Pada Grafik saat bukaan 50% daya maksimum yang dihasilkan adalah 13,55 watt pada putaran 300 rpm sedangkan saat bukaan katup 100% daya maksimum yang dihasilkan

adalah 41,38 watt pada putaran 458 rpm, daya yang dihasilkan tergantung dari torsi dan putaran, semakin besar torsi semakin rendah putarannya, begitu juga sebaliknya. (Maridjo, 2016)

2.1 Turbin Pelton

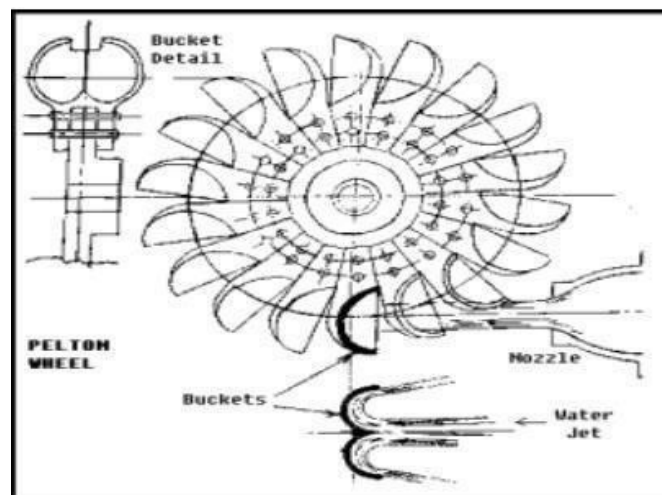
Turbin Pelton adalah mesin penggerak yang menggunakan aliran fluida kerja langsung untuk memutar roda turbin. Dari prinsip kerjanya, turbin dapat dikatakan sebagai mesin yang digerakkan oleh fluida yang berdensity konstan. Pemakaian turbin sangat luas baik di dunia industri maupun kehidupan sehari-hari. Suatu turbin didesain dan disesuaikan dengan instalasi serta keadaan di lapangan, sehingga untuk mendesain turbinnya pada kondisi tertentu sehingga pemanfaatannya lebih fleksibel dan lebih luas. Turbin air merupakan suatu peralatan konversi energi fluida kerja air, dan proses yang terjadi adalah perubahan energi kinetik air menjadi energi mekanis yang berupa putaran poros.



Gambar 3. Turbin Pelton. Sumber : (Kontruksibesar.com, 2022)

2.2 Prinsip Kerja Turbin Pelton

Prinsip kerja turbin pelton adalah menghidupkan motor pompa yang terdapat pada panel listrik yang bertujuan agar pompa menyala dan menghisap air yang berada pada bak penampung, lalu air mengalir melalui pipa menuju ke nozzle. Sebelum sampai ke nozzle air terlebih dahulu melewati katub dan alat ukur flow meter. Dan dari nozzle lalu air disemprotkan ke sudu turbin yang menyebabkan roda turbin berputar sehingga kita bisa mengukur prestasi turbin. Dan air yang disemprotkan oleh nozzle ke sudu itu jatuh kembali pada bak penampungan air. (Simamora, 2017)



Gambar 4. Penampang Nozzle Pada Sudu Jalan. Sumber : (Husen, 2021)

2.3 Perhitungan Kinerja Turbin

Berikut adalah berbagai formula atau rumus yang digunakan untuk perhitungan kinerja turbin

Debit Aliran Air

Persamaan yang dibuat oleh Kindsvater-Shen dapat digunakan untuk takik berkontraksi penuh dari sudut mana pun antara 25 derajat dan 100 derajat (Compton, 1975). Persamaan yang termasuk sudut sebagai variabel ditulis sebagai:

$$Q = 4,28 C_e \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) (h_1 + k_h)^{5/2} \quad (1)$$

Dimana :

Q = Debit aliran (m³/detik)

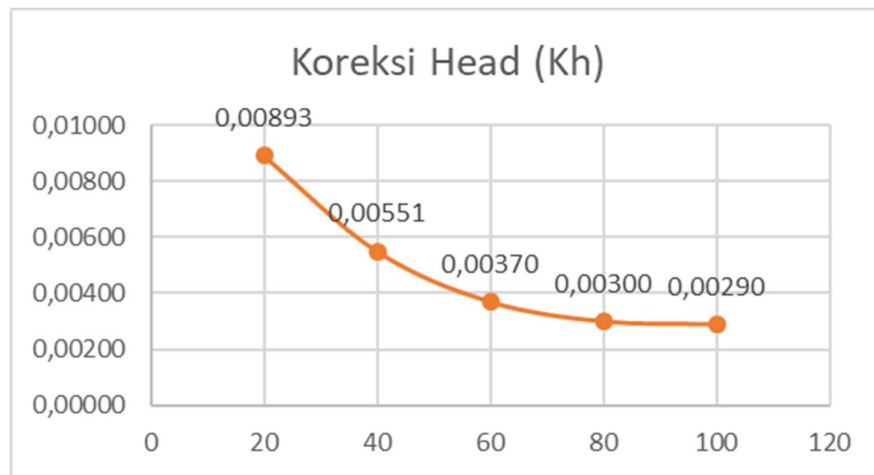
C_e = Koefisiensi debit

θ = Sudut V-notch (°)

h₁ = Ketinggian aliran V-notch (m)

h_{1e} = h₁ + k_h

Faktor k_h berubah oleh rasio yang berbeda dari panjang puncak, L, dengan lebar rata-rata pendekatan saluran, B. Nilai k_h untuk rasio L/B dari 0 sampai 1 diberikan pada Gambar 5. Faktor k_h ialah nilai konstan sama dengan 0,003 ft. Ft di konversi ke mm dimana 1 ft = 304,8 mm jadi (0.003 × 304.8 = 0.9144 mm)



Gambar 5. Faktor koreksi head (kh)

Koefisien debit efektif C_e mencakup efek dari kedalaman relatif dan lebar relatif saluran pendekatan. Jadi, C_e adalah fungsi dari h₁/p dan L/B, dan nilai C_e dapat diperoleh dari gambar kurva pada gambar 6, p adalah jarak vertikal dari puncak bendung ke kolam, Untuk mengetahui nilai C_e 30 dan 90 menggunakan metode interpolasi.

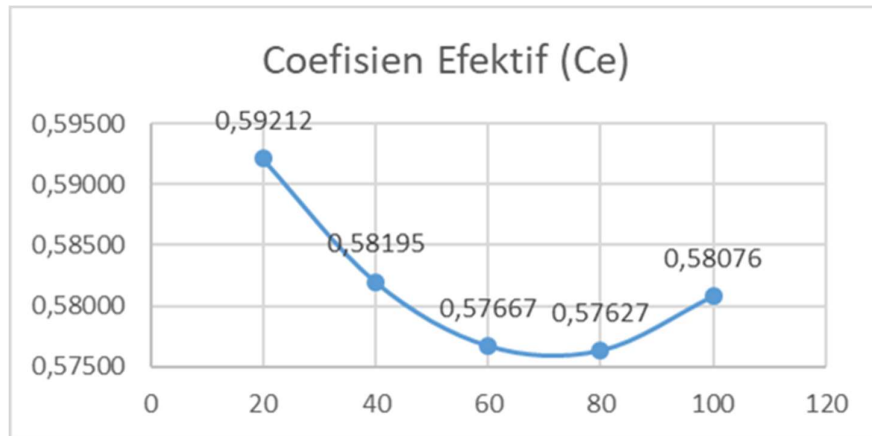
Debit air merupakan ukuran banyaknya volume air yang dapat lewat dalam suatu penampang tertentu atau yang dapat ditampung dalam suatu tempat tiap satu satuan waktu, Ketika Air mengalir dalam pipa dalam selang waktu tertentu, sehingga debit air adalah:

$$Q = V \times A \quad (2)$$

Dimana:

V = kecepatan aliran air (m/detik)

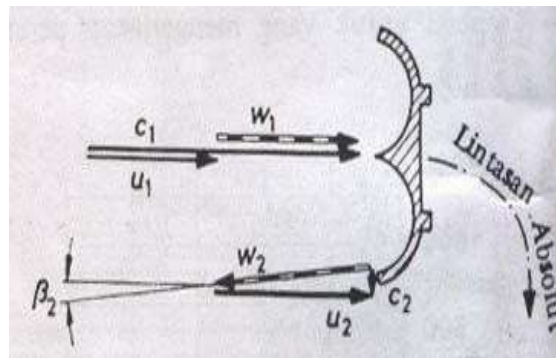
A = Luas penampang (m²)



Gambar 6. Nilai Koefisien Efektif, (Ce)

Kecepatan Aliran Air

Pada turbin tekanan sama, agar mendapatkan randemen yang baik harus mempunyai hubungan antara kecepatan pancar air c dan kecepatan tangensial u , Bagian kecepatan turbin pelton dapat dilihat pada gambar 7 :



Gambar 7. Bagian Kecepatan Turbin Pelton.

Sumber: (Dietzel, Turbin Pompa dan Kompresor, 1996)

a. Kecepatan Pancaran

Untuk mengetahui kecepatan pancar air dari setiap nosel, dapat dihitung dengan persamaan:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

Dimana:

v = Kecepatan pancar air (m/s)

Q = Debit (/s)

A = Luas penampang nosel (m²)

b. Kecepatan Tangensial (u)

$$u = \frac{c_1}{2} \quad (4)$$

c. Nosel

$$A = \frac{1}{4} \pi (D^2) \quad (5)$$

Dimana :

D = Diameter Pipa (m)

Sehingga diameter air (d)

$$d = 0,54 \cdot \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{H}}} \quad (6)$$

Dimana:

d = diameter dalam, m

Q = Debit air (m³/s)

H = Tinggi air jatuh kepermukaan (m)

Head Total

Berdasarkan hasil nilai kecepatan yang dihasilkan diameter pipa maka dapat dilakukan perhitungan pada head loss turbin,

a. Headloss Mayor

Head loss mayor adalah kerugian yang terjadi akibat adanya gesekan antara fluida dengan pipa utama. Besarnya head loss mayor dihitung menggunakan persamaan Darcy-Weysbah sebagai berikut :

$$h_1 = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

Dimana :

Head loss mayor (m)

D = Diameter pip (m)

V = Kecepatan rata-rata aliran (m/s)

g = Percepatan grafitasi (m/)

L = Panjang pipa (m)

f = Frition faktor

Besarnya koefisien gesek (f) dapat diketahui dari jenis aliran yang terjadi. Untuk aliran laminer, besarnya koefisien gesek (f) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$f = 64/re \quad (8)$$

Untuk aliran turbulen, besarnya koefisien gesek (f) dapat dihitung dengan persamaan Darcy. Rumus ini berlaku atas dasar kerugian head untuk panjang pipa ratusan meter.

$$f = 0,020 + \frac{0,0005}{D} \quad (9)$$

Dimana:

D = Diameter dalam pipa (m)

b. Headloss Minor

$$H = f \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

Dimana :

f = Koefisien kerugian gesek

g = Percepatan grafitasi (m/)

v = Kecepatan pancaran (m/s)

Head Turbin

Tekanan statis fluida P (kg/ms² , kecepatan V (m/s) dan ketinggian Z (m) diukur dari bidang referensi. Fluida tersebut memiliki head total H (dalam m²/m²) yang dinyatakan sebagai berikut ini :

$$H = h_a + \Delta h_p + h_1 + \frac{v^2}{2g} \quad (11)$$

Dimana :

g = percepatan grafitasi (9,81 m/

P = massa zat air per satuan volume (kg/m³)

2.3.5 Daya Hidrolis

Dari kapasitas air dan tinggi air jatuh dapat diperoleh daya yang dihasilkan turbin yaitu (Dietzel, Turbin Pumps dan Kompresor, 1996).

$$P_h = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \quad (12)$$

Dimana:

P_h = Daya yang tersedia (Watt)

ρ = Massa jenis air (Kg/m^3)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

Q = Debit air (m^3/s)

H = Tinggi air jatuh ke permukaan (m)

a. Momen Inersia (I)

$$I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \quad (13)$$

Dimana :

M = Massa runner (kg)

r = Jari-jari (m)

b. Kecepatan Sudut (ω)

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

Dimana :

n = Kecepatan putaran runner (Rpm)

c. Percepatan Sudut (a)

$$a = \frac{\pi \cdot n}{t_{max} \cdot 30} \quad (15)$$

t_{max} = Selang waktu (s)

a = Kecepatan sudut (rad/s)

d. Torsi Runner (τ)

$$\tau = a \cdot I \quad (16)$$

Dimana :

τ = torsi (N.m)

a = Percepatan sudut Inersia (rad/s)

I = Inersia (Kg/m^2)

Daya Turbin

Untuk mendapatkan daya Turbin diperlukan untuk melakukan suatu rotasi pada runner, didapatkan sebagai berikut :

$$P_t = \tau \times \omega \quad (17)$$

Dimana:

P_t = Daya turbin (watt)

τ = Torsi runner (N.m)

ω = Kecepatan sudut (Rad/s)

Daya Generator

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

Dimana :

P_g = Daya listrik yang dihasilkan generator (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Efisiensi (η)

Efisiensi adalah ukuran tingkat penggunaan sumber daya dalam suatu proses, maka pada efisiensi turbin dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Siegar, 2019):

- a. Efisiensi Turbin

$$\eta = \frac{P_t}{P_g} \cdot 100\% \quad (19)$$

Dimana:

η = Efisiensi yang dihasilkan turbin (%)

P_t = Daya Turbin (Watt)

P_g = Daya yang dihasilkan generator (Watt)

- b. Efisiensi Generator

$$\eta_{generator} = \frac{P_g}{P_t} \cdot 100\% \quad (20)$$

Dimana :

$\eta_{generator}$ = Efisiensi yang dihasilkan turbin (%)

P_g = Daya yang dihasilkan generator (watt)

- c. Efisiensi Sistem

$$\eta_s = \frac{P_t}{P_h} \cdot \frac{P_g}{P_t} 100\% \quad (21)$$

Dimana :

η_s = Efisiensi sistem (%)

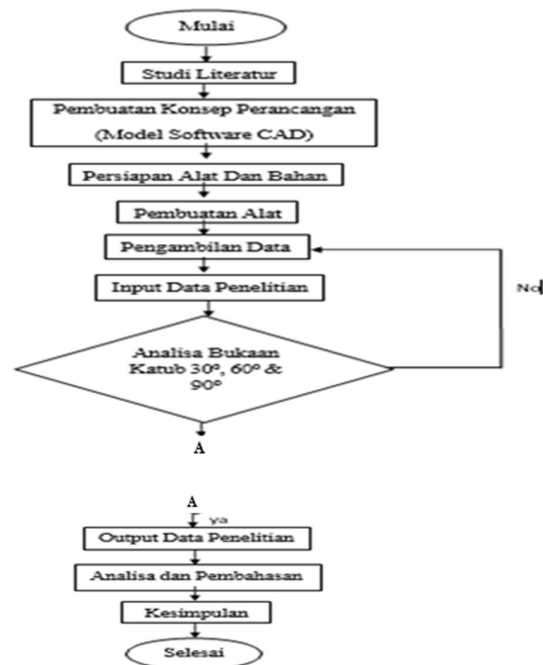
P_h = Daya hidrolis (watt)

P_g = Daya yang dihasilkan generator (watt)

P_t = Daya yang dihasilkan turbin (watt)

3. Metode Penelitian

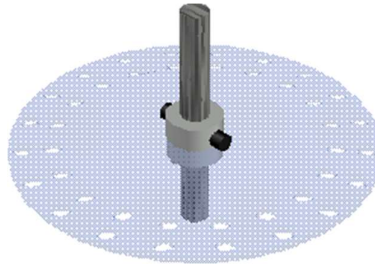
Untuk mempermudah proses penelitian maka menggunakan diagram alir yang ada di bawah ini.



Gambar 8. Diagram Alir Penelitian ini

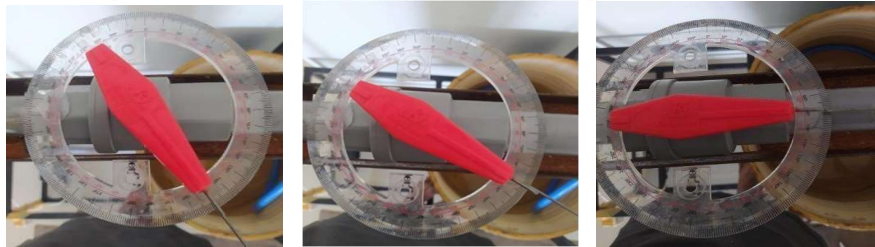
3.1 Konsep Perancangan

Konsep perancangan adalah proses dimana menyesuaikan rancangan atau ide yang dibuat dengan memperhatikan gambar teknik untuk mempermudah proses manufaktur katub atau valve



Gambar 12. Runner

Penelitian ini menggunakan bukaan katup 30° ,60° & 90° dengan runner diameter 250 mm, runner sudu 20 didapatkan sudut pemasangan 22,5° Bahan yang digunakan pada berupa PVC.



Gambar 13. Bukaan Katup 30° ,60° & 90°

3.2 Prosedur Penggunaan Mesin

Menjalankan prosedur penggunaan mesin simulator turbin pelton sangat penting agar mesin bekerja dengan baik dan tidak terjadi hal-hal yang tidak diinginkan. Berikut ini prosedur penggunaan mesin simulator turbin pelton :

1. Mengisi air ke tampungan air hingga penuh.
2. Pengecekan kelurusan poros antara rumah turbin dan generator.
3. Memastikan putaran runner turbin tidak bergoyang.
4. Memastikan baut kuncian runner ke poros sudah tepat kenokan dan kencang.
5. Memastikan semprotan nosel sudah tepat di tengah-tengah sudu.
6. Setelah semua sudah tepat dan tidak ada kendala maka boleh dinyalahkan dengan menekan tombol on pada saklar
7. Setelah sudah menyalah tunggu mesin sampai setabil kira-kira 2 menit.
8. Setelah semprotan nosel dan putaran runner sudah stabil bisa dilakukan pengambilan data.
9. Setelah pengambilan data selesai matikan mesin dengan menekan tombol off pada saklar.

3.3 Pengambilan Data

Pengujian dilakukan tiga tahap yaitu pertama mengukur RPM runner turbin tanpa beban, kedua mengukur RPM runner beban generator, ketiga mengukur RPM generator dengan beban 50 watt lampu.

3.4 Cara Pengambilan Data

Langkah-langkah pengambilan data dan pengujian simulator turbin pelton adalah sebagai berikut :

1. Tanpa pembebanan
 - a. Mempersiapkan from pengambilan data;
 - b. Mempersiapkan alat ukur seperti jangka sorong, voltmeter, amperemeter, penggaris (mistar), tachometer, dan stopwatch;
 - c. Mengatur jarak nozzle terhadap dengan diameter terluar runner sejauh 300 mm.
 - d. Memasang runner diameter 250 mm.
 - e. Membuka variasi bukaan katup terkecil yaitu 30 .
 - f. Mengisi air pada wadah penampung.

- g. Menyalakan pompa air
 - h. Tunggu sampai tinggi air pada sudut v-notch stabil
 - i. Lakukan variabel pengukuran sebagai berikut:
 - a) Tekanan Air (P) dilihat pada indikator Pressure Gauge.
 - b) Kecepatan putar runner (rpm) menggunakan Tachometer.
 - c) Debit Aliran dengan mengukur tinggi muka air pada sudut v-notch (h) menggunakan Penggaris (mistar).
 - d) Percepatan runner (t) menggunakan stopwatch.
 - e) Ketinggian Aliran v-notch (head) menggunakan Mistar.
 - j. Lakukan variabel diatas sejumlah 10x percobaan dengan mematikan pompa setiap 1x percobaan.
 - k. Selanjutnya ambil data dengan menggunakan Beban Generator.
2. Beban Generator
- a. Setelah mendapatkan 10 X data hasil percobaan tanpapembebanan, langkah selanjutnya di kopel poros runner dengan generator.
 - b. Lakukan variabel pengukuran sebagai berikut:
 - a) Tekanan Air (P) dilihat pada indikator Pressure Gauge.
 - b) Kecepatan putar runner (rpm) menggunakan Tachometer.
 - c) Debit Aliran dengan mengukur tinggi muka air pada sudut v-notch (h) menggunakan Penggaris (mistar).
 - d) Percepatan runner (t) menggunakan stopwatch.
 - e) Voltage (V) menggunakan Voltmeter.
 - f) Ketinggian Aliran (head) menggunakan Mistar.
 - c. Lakukan variabel diatas sejumlah 10x percobaan dengan mematikan pompa setiap 1x percobaan.
 - d. Selanjutnya ambil data dengan menggunakan Generator dan Lampu 50 watt.
3. Dikopel Generator dan Lampu 50 watt
- a. Setelah mendapatkan 10 X data hasil percobaan tanpa pembebanan, langkah selanjutnya connect lampu 50 watt dengan generator.
 - b. Lakukan variabel pengukuran sebagai berikut :
 - a) Tekanan Air (P) dilihat pada indikator Pressure Gauge.
 - b) Kecepatan putar runner (rpm) menggunakan Tachometer.
 - c) Debit Aliran dengan mengukur tinggi muka air pada sudut v-notch (h) menggunakan Penggaris (mistar).
 - d) Percepatan runner (t) menggunakan stopwatch.
 - e) Voltage (V) menggunakan Voltmeter.
 - f) Ampere (A) menggunakan Amperemeter.
 - g) Ketinggian Aliran v-notch (head) menggunakan Mistar.
 - c. Setelah mendapatkan data a) Tanpa Pembebanan, b) Beban Generator, dan c) Beban Generator dan Lampu 50 watt ganti dengan variasi bukaan katup yang lebih besar yaitu bukaan katup 60°.
 - d. Lakukan pengambilan data dengan langkah yang sama pada saat pengambilan data bukaan katup 90°.
 - e. Setelah mendapatkan data varibel pada bukaan katup 60° ganti variasi bukaan katup ke yang lebih besar yaitu 90°
 - f. Setelah mendapatkan data ketiga variasi bukaan katup 30°, 60°, dan 90° masukkan data Ms. Excel yang sudah terdapat template rumus.
 - g. Validasi pengambilan data ke dosen pembimbing
 - h. Pengambilan data selesai.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Penelitian Buka-an Katup 30°

Tabel 1 meringkaskan hasil penelitian turbin pelton dengan variasi buka-an katup 30°.

Tabel 1. Penelitian Buka-an Katup 30°

Pengujian	Presure (bar)	V-notch (cm)	Tanpa Di kopel		Dikopel Generator			Dikopel Beban Lampu 50Watt		Daya Generator		Berat runner
			Tanpa Di kopel (Rpm)	t. max (s)	Di Kopel Generator (Rpm)	t.max (s)	Volt (V)	Di Kopel Lampu 50 Watt (Rpm)	t.max(s)	Ampere (A)	Volt (V)	
1	1,75	3,1	796,8	10,62	594,4	8,47	18,02	287,7	8,09	0,3	6,84	911
2	1,75	3,2	797	9,45	593,7	8,52	17,96	278,3	8,37	0,29	6,68	
3	1,75	3	798	10,3	597,3	8,87	17,92	282,7	8,29	0,3	6,72	
4	1,75	2,85	797,3	10,46	588,8	9,4	17,73	281,3	9,34	0,31	6,73	
5	1,75	3,3	797,8	10,62	596,2	9,33	17,89	279,6	10,1	0,3	6,69	
6	1,75	3	797,2	10,81	590,1	9,47	17,82	279,1	9,3	0,3	6,7	
7	1,75	3,3	796,8	10,67	589,7	9,78	17,79	281,6	10,1	0,29	6,75	
8	1,75	3,5	797,5	10,79	591,1	9,57	17,81	280	10,0	0,31	6,77	
9	1,75	2,95	797,4	10,87	591,9	9,87	17,82	280,9	9,72	0,3	6,86	
10	1,75	3,4	797,4	10,78	595,3	9,45	17,87	278,2	9,93	0,3	6,79	
AVG	1,75	3,2	797,3	10,537	592,9	9,27	17,86	280,9	9,33	0,30	6,75	

Pada pengujian buka-an katup 30° kondisi tanpa diberi beban mendapatkan kecepatan putar 797,3 Rpm membutuhkan waktu 10,54 detik untuk mencapai kecepatan maksimal, saat runner dihubungkan ke generator terjadilah penurunan kecepatan menjadi 592,9 Rpm dengan waktu kecepatan maksimal detik dan pada pengujian selanjutnya generator runner dihubungkan ke generator yang terhubung dengan lampu 50 Watt didapatkan kecepatan putar mencapai 280,9 Rpm dengan waktu kecepatan maksimal 9,33 detik dan daya generator mencapai 6,75 Volt dan 0,30 Ampere dan menghasilkan tinggi V-notch 3,2 cm. Kemudian dilakukan perhitungan dan pengolahan data sehingga ditunjukkan dalam Tabel 2.

Hasil perhitungan buka-an katup 30° tanpa di kopel menghasilkan kecepatan sudut sebesar 83,453 rad/s, percepatan sudut sebesar 7,920 rad/s², torsi sebesar 0,110 N.m serta daya turbin sebesar 9,220 Watt. Untuk perhitungan yang di kopel generator menghasilkan kecepatan sudut sebesar 62,052 rad/s, percepatan sudut 6,692 rad/s², torsi 0,093 N.m serta daya turbin 5,792 Watt. Sedangkan untuk di kopel generator dan beban lampu 50 Watt menghasilkan kecepatan sudut sebesar 29,405 rad/s, percepatan sudut 3,153 rad/s², daya torsi 0,044 N.m dan daya hidrolis 4,402 Watt dan daya generator 2,026 Watt untuk efisiensi turbin menghasilkan 29 % dan untuk efisiensi sistem menghasilkan 46 %.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Buka-an Katup 30°

Variasi Kopel	Momen Inersia (kg/m ²)	Kecepatan Sudut (rad/s)	Percepatan Sudut (rad/s ²)	Torsi (Nm)	Daya Mekanis Turbin (watt)	Daya Hidrolis (watt)	Daya Generator (watt)	Efisiensi Turbin	Efisiensi Sistem
Tanpa Kopel		83,453	7,920	0,110	9,220	-	-	-	-
Kopel Generator		62,052	6,692	0,093	5,792	-	-	-	-
Kopel Generator dan Lampu 50 watt	0,0139	29,405	3,153	0,044	1,293	4,402	2,026	29 %	46 %

4.2 Data Penelitian Bukaannya Katup 60°

Data hasil variasi bukanya katup 60° ditunjukkan dalam tabel 3. Pada pengujian bukanya katup 60° tanpa kondisi diberi beban mendapatkan kecepatan putar 811,1 Rpm membutuhkan waktu 10,61 detik untuk mencapai kecepatan maksimal, saat runner dihubungkan ke generator terjadilah penurunan kecepatan menjadi 607,4 Rpm dengan waktu kecepatan maksimal 9,21 detik dan pada pengujian selanjutnya generator runner dihubungkan ke generator yang terhubung dengan lampu 50 Watt didapatkan kecepatan putar mencapai 335,3 Rpm dengan waktu kecepatan maksimal 9,28 detik dan daya generator mencapai 7,46 Volt dan 0,39 Ampere dan menghasilkan tinggi V-notch 3,4 cm. Kemudian dilakukan perhitungan dan pengolahan data yang diringkaskan dalam Tabel 4.

Tabel 3. Penelitian Bukaannya Katup 60°

Pengujian	Pressure (bar)	v-notch (cm)	Tanpa dikopel		Dikopel Generator			Dikopel Beban Lampu 50Watt		Daya Generator		Berat Runner
			Tanpa di kopel (Rpm)	t. maks (s)	Dikopel Generator (Rpm)	t. maks (s)	Voltase (V)	Dikopel Beban Lampu 50Watt t. maks (s)	Ampere (A)	Voltase (V)		
1	1,74	3,5	809,8	11,39	609,6	9,54	18,3	326	9,14	0,36	7,38	911
2	1,74	3,4	812,4	11,54	605,9	9,12	18,21	312,3	8,41	0,34	7,38	
3	1,74	3,4	812,5	11,46	606	9,32	18,27	331	8,46	0,36	7,37	
4	1,74	3,3	811,2	10,66	609	9,46	18,43	320,1	9,7	0,38	7,5	
5	1,74	3,3	810,8	10,2	604,2	9,56	18,25	325,4	8,98	0,4	7,48	
6	1,74	3,35	810,5	10,34	608,4	8,71	18,31	334,4	9,61	0,38	7,46	
7	1,74	3,4	811,9	10,17	606,7	8,89	18,3	357,3	9,72	0,45	7,56	
8	1,74	3,3	809,9	10,02	607,7	9,34	18,24	348,1	8,98	0,41	7,48	
9	1,74	3,4	810,2	10,19	607	8,61	18,23	346,8	10,16	0,39	7,47	
10	1,74	3,3	811,4	10,13	609,1	9,55	18,37	351,4	9,64	0,43	7,53	
AVG	1,74	3,4	811,1	10,61	607,4	9,21	18,29	335,3	9,28	0,39	7,46	

Hasil perhitungan bukanya katup 60° tanpa di kopel menghasilkan kecepatan sudut sebesar 84,891 rad/s, percepatan sudut sebesar 8,001 rad/s², torsi sebesar 0,112 N.m serta daya turbin sebesar 9,475 Watt. Untuk perhitungan yang di kopel generator menghasilkan kecepatan sudut sebesar 63,570 rad/s, percepatan sudut 6,902 rad/s², torsi 0,096 N.m serta daya turbin 6,121 Watt. Sedangkan untuk di kopel generator dan beban lampu 50 Watt menghasilkan kecepatan sudut sebesar 35,093 rad/s, percepatan sudut 3,782 rad/s², daya torsi 0,053 N.m dan daya hidrolis 5,096 Watt dan daya generator 2,910 Watt untuk efisiensi turbin menghasilkan 36 % dan untuk efisiensi sistem menghasilkan 57 %.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Bukaannya Katup 60°

Variasi Kopel	Momen Inersia (kg/m ²)	Kecepatan Sudut (rad/s)	Percepatan Sudut (rad/s ²)	Torsi (Nm)	Daya Mekanis Turbin (watt)	Daya Hidrolisis (watt)	Daya Generator (watt)	Efisiensi Turbin	Efisiensi Sistem
Tanpa Kopel	0,0139	84,891	8,001	0,112	9,475	-	-	-	-
Kopel Generator		63,570	6,902	0,096	6,121	-	-	-	-
Kopel Generator dan Lampu 50 watt		35,093	3,782	0,053	1,851	5,0964	2,910	36 %	57%

4.3 Data Penelitian Bukaannya Katup 90°

Data penelitian turbin pelton dengan variasi bukannya katup 90° diringkaskan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Penelitian Bukaannya Katup 90°

Pengujian	Pressure (bar)	v-notch (cm)	Tanpa kopel		Dikopel Generator			Dikopel Lampu 50 Watt		Daya Generator		Berat runner (Kg)
			Tanpa kopel (Rpm)	t. maks (s)	Dikopel Generator (Rpm)	t. maks (s)	Voltage (V)	Dikopel Lampu 50 Watt (Watt)	t. maks (s)	Ampere (A)	Voltase (V)	
1	1,72	3,7	817,2	10,36	629	9,01	19,2	392,2	9,42	0,57	8,76	911
2	1,72	3,6	816,2	10,16	629,7	9,38	19,43	387,7	9,1	0,57	8,78	
3	1,72	3,6	813,8	10,32	628,9	9,76	18,9	386	9,18	0,56	8,76	
4	1,72	3,5	817,3	10,36	627,4	9,1	18,78	390,2	9,2	0,56	8,78	
5	1,72	3,6	814,4	10,96	628,4	9,13	18,31	388,4	9,37	0,57	8,79	
6	1,72	3,6	815,2	10,46	626,5	9,17	18,69	387,2	9,21	0,58	8,76	
7	1,72	3,5	816,9	10,43	626,7	9,05	18,64	389,6	9,04	0,59	8,8	
8	1,72	3,6	816,2	10,25	629,2	9	19,41	387,5	8,24	0,58	8,79	
9	1,72	3,5	815,8	10,61	630,1	9,17	19,53	387	8,93	0,57	8,79	
10	1,72	3,6	816,5	10,89	627,9	9,1	18,82	387,4	9,01	0,57	8,77	
AVG	1,72	3,6	816,0	10,48	628,4	9,19	18,97	388,3	9,07	0,57	8,78	

Pada pengujian bukannya katup 90° tanpa kondisi diberi beban mendapatkan kecepatan putar 816,0 Rpm membutuhkan waktu 10,48 detik untuk mencapai kecepatan maksimal, saat runner dihubungkan ke generator terjadilah penurunan menjadi 628,4 Rpm dengan waktu kecepatan maksimal 9,19 detik dan pada pengujian selanjutnya generator runner dihubungkan ke generator yang terhubung dengan lampu 50 Watt didapatkan kecepatan putar mencapai 388,3 Rpm dengan waktu kecepatan maksimal 9,07 detik dan daya generator mencapai 8,78 Volt dan 0,57 Ampere dan menghasilkan tinggi V-notch 3,6 cm. Kemudian dilakukan perhitungan dan pengolahan data sehingga ditunjukkan dalam Tabel 6.

Hasil perhitungan bukannya katup 90° tanpa di kopel menghasilkan kecepatan sudut sebesar 84,403 rad/s, percepatan sudut sebesar 8,149 rad/s², torsi sebesar 0,114 N.m serta daya turbin sebesar 9,708 Watt. Untuk perhitungan yang di kopel generator menghasilkan kecepatan sudut sebesar 65,770 rad/s, percepatan sudut 7,159 rad/s², torsi 0,100 N.m serta daya turbin 6,568 Watt. Sedangkan untuk di kopel generator dan beban lampu 50 Watt menghasilkan kecepatan sudut sebesar 40,644 rad/s, percepatan sudut 4,481 rad/s², torsi 0,063 N.m dan daya hidrolis Watt dan daya generator 2,026 Watt untuk efisiensi turbin menghasilkan 29 % dan untuk efisiensi sistem menghasilkan 46 %.

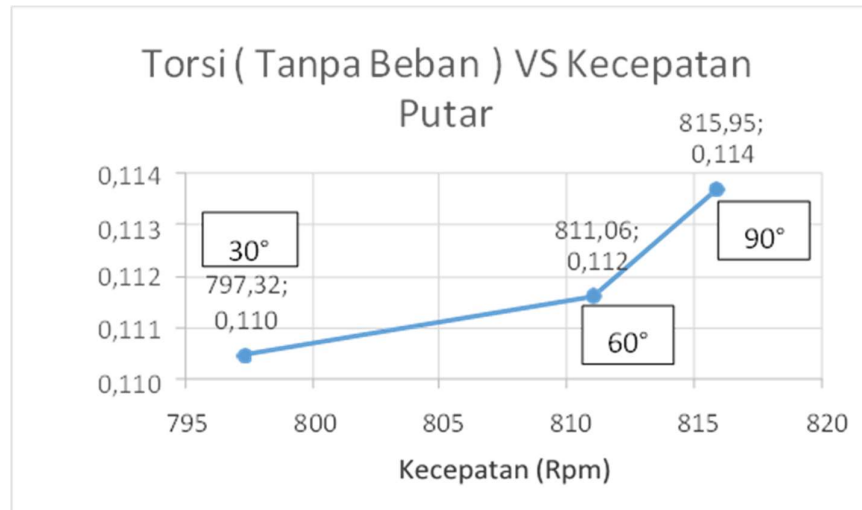
Tabel 6. Hasil Perhitungan Bukaannya Katup 90°

Variasi Kopel	Momen Inersia (kg/m ²)	Kecepatan Sudut (rad/s)	Percepatan Sudut (rad/s ²)	Torsi (Nm)	Daya Mekanis Turbin (watt)	Daya Hidrolis (watt)	Daya Generator (watt)	Efisiensi Turbin	Efisiensi Sistem
Tanpa kopel		85,403	8,149	0,114	9,708	-	-	-	-
Kopel Generator		65,770	7,159	0,100	6,568	-	-	-	-
Kopel generator dan Lampu 50 watt	0,0139	40,644	4,481	0,063	2,541	5,8487	5,021	43,4 %	86%

4.4. Analisa Simulator Turbin Pelton Tanpa Dikopel

4.4.1 Hubungan Antara Kecepatan Putar Dengan Torsi Tanpa Dikopel.

Berikut ini adalah hasil perhitungan antara kecepatan putar (rpm) dan torsi (Nm) yang dihasilkan dengan tanpa dikopel.

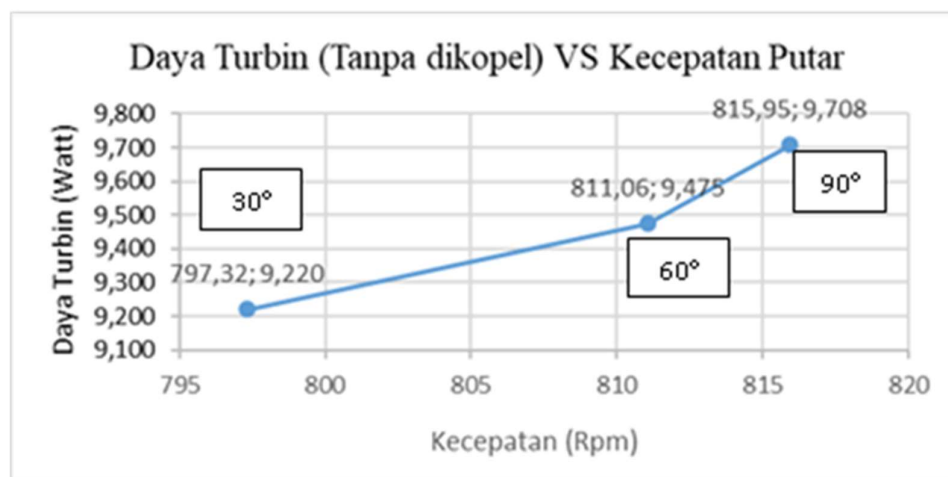


Gambar 14. Grafik Hubungan Antara Kecepatan Putar Dan Torsi (Tanpa dikopel)

Dari gambar 14, dapat diketahui bahwa kecepatan putar tertinggi pada bukaan katup 90° yaitu 815,95 rpm, sedangkan nilai torsi tertinggi pada bukaan katup 90° yaitu 0,0114 Nm. Hal ini dikarenakan torsi berpengaruh pada momen inersia yang dihasilkan, dan nilai massa runner berpengaruh pada torsi dan bukaan katup. Hal ini juga membuktikan bahwa nilai kecepatan putar (rpm) berbanding terbalik dengan torsi yang dihasilkan.

4.4.2 Hubungan Antara Kecepatan Putar Dan Daya Turbin Tanpa Dikopel

Berikut ini adalah hasil perhitungan antara kecepatan putar (rpm) dan daya turbin (watt) yang dihasilkan dengan tanpa beban.



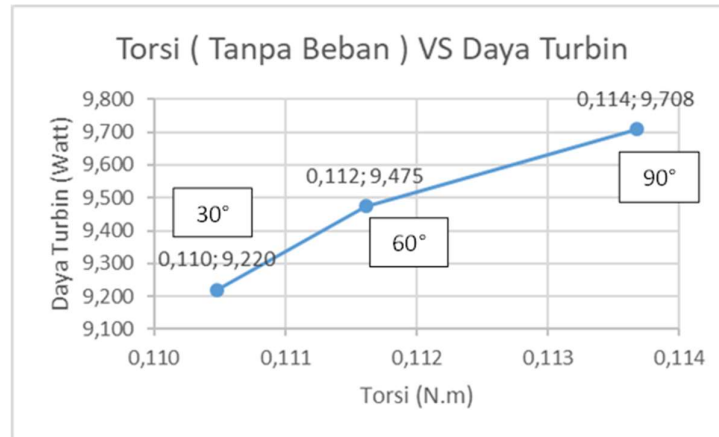
Gambar 15. Grafik Hubungan Antara Kecepatan Putar Dan Daya Turbin (Tanpa kopel)

Dari gambar 15, dapat diketahui bahwa kecepatan putar tertinggi pada bukaan katup 90° yaitu 815,95 rpm, sedangkan nilai torsi tertinggi pada bukaan katup 90° yaitu 9,708 watt. Hal ini sama halnya

dengan nilai torsi berbanding lurus dengan daya turbin yang dihasilkan, dimana semakin besar torsi yang dihasilkan maka semakin besar juga daya turbin yang dihasilkan.

4.4.3 Hubungan antara torsi dan daya turbin tanpa dikopel

Berikut ini adalah hasil perhitungan antara torsi (Nm) dan daya turbin (watt) yang dihasilkan dengan tanpa dikopel.



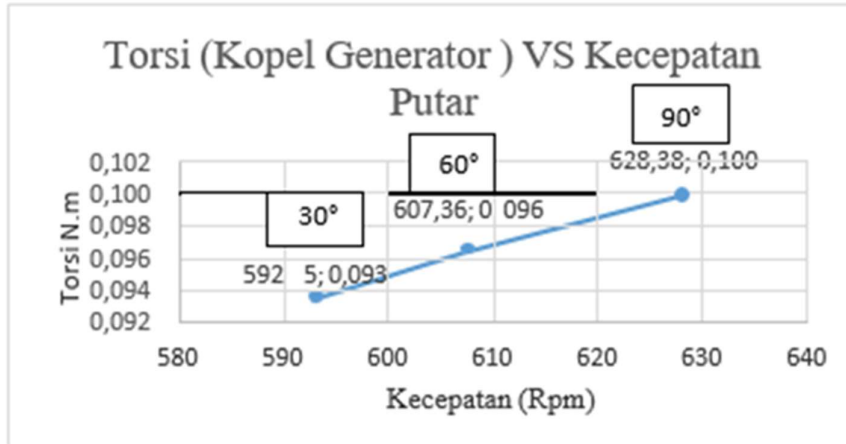
Gambar 16. Grafik Hubungan Antara Torsi Dan Daya Turbin Tanpa Dikopel

Dari gambar 16 dapat diketahui bahwa torsi tertinggi tanpa beban pada bukaan katup 90° yaitu 0,114 Nm dan torsi terendah tanpa beban pada bukaan katup 30° yaitu 0,110 Nm. Sedangkan daya turbin tanpa beban tertinggi pada bukaan katup 90° yaitu 9,708 watt dan daya yang terendah pada bukaan katup 30° yaitu 9,220 watt. Hal ini dikarenakan bahwa semakin besar torsi yang dihasilkan maka semakin besar pula daya turbin tersebut.

4.5. Analisa Simulator Turbin Pelton Dengan Dikopel Generator

4.5.1. Hubungan Antara Kecepatan Putar Dan Torsi Dengan Beban Generator

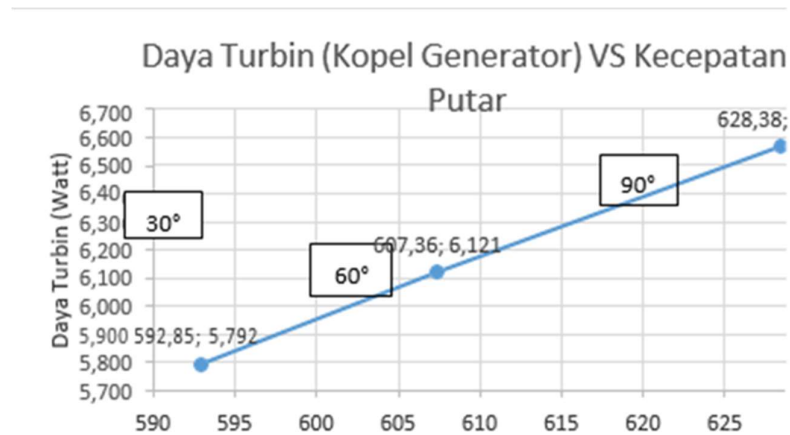
Gambar 17 mendeskripsikan hasil perhitungan antara kecepatan putar (rpm) dan torsi (Nm) yang dihasilkan dengan penambahan kopel generator. Dari gambar 17 dapat diketahui bahwa setelah ditambahkan kopel generator kecepatan putar tertinggi pada bukaan katup 90° yaitu 628,38 rpm, sedangkan nilai torsi tertinggi setelah ditambahkan kopel generator torsi tertinggi pada bukaan katup 90° yaitu 0,100 Nm. Hal ini dikarenakan torsi dipengaruhi oleh momen inersia dan percepatan sudut. Semakin besar momen inersia dan percepatan sudut maka semakin besar torsi yang dihasilkan untuk mampu memutar generator tersebut.



Gambar 17. Grafik Hubungan Antara Kecepatan Putar Dan Torsi (Kopel Generator)

4.5.2. Hubungan Antara Kecepatan Putar Dan Daya Turbin Dengan Beban Generator

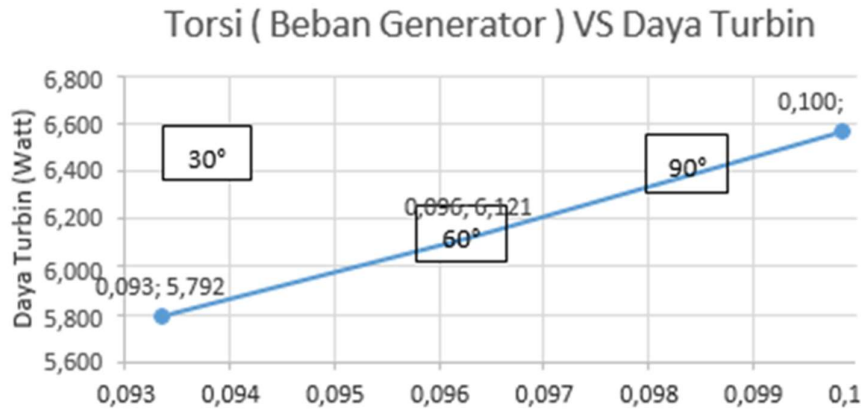
Gambar 18 menunjukkan hasil perhitungan antara kecepatan putar (rpm) dan daya turbin (watt) yang dihasilkan dengan penambahan beban generator. Selanjutnya dapat diketahui bahwa setelah ditambahkan beban generator kecepatan putar tertinggi pada bukaan katup 90° yaitu 628,38 rpm, sedangkan daya turbin tertinggi setelah ditambahkan beban generator pada bukaan katup 90° yaitu 6,568 watt. Hal ini dikarenakan semakin besar momen inersia dan percepatan sudut yang dihasilkan maka semakin besar torsi yang dihasilkan untuk mampu menggerakkan generator tersebut, dan juga semakin besar kecepatan putar maka semakin besar pula daya turbin yang dihasilkan.



Gambar 18. Grafik Hubungan Antara Kecepatan Putar Dan Daya Turbin (Kopel Generator)

4.5.3. Hubungan antara Torsi dan Daya Turbin dengan Beban Generator

Gambar 19 menunjukkan perhitungan antara torsi (Nm) dan daya turbin (watt) yang dihasilkan dengan kopel generator. Dapat diketahui bahwa torsi tertinggi dengan beban generator pada variasi bukaan katup 90° yaitu 0,100 Nm dan torsi terendah tanpa beban pada bukaan katup 30° yaitu 0,093 Nm. Sedangkan daya turbin tanpa beban tertinggi pada bukaan katup 90° yaitu 6,568 watt dan daya yang terendah pada bukaan katup 30° yaitu 5,792 watt. Hal ini dikarenakan bahwa semakin besar torsi oleh runner maka semakin besar daya turbin yang dihasilkan.

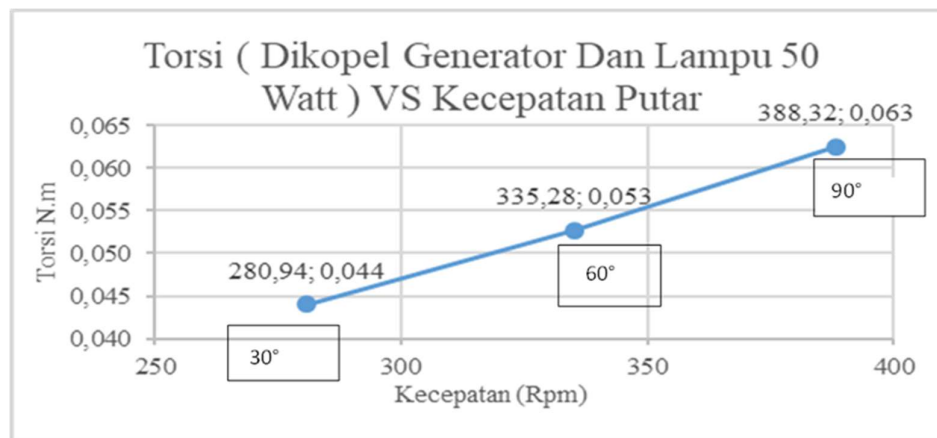


Gambar 19. Grafik Hubungan Antara Torsi & Daya Turbin (Kopel Generator)

4.6. Analisa Simulator Turbin Pelton Dikopel Generator Dan Beban Lampu 50 Watt

4.6.1. Hubungan Antara Kecepatan Putar Dan Torsi Dengan Kopel Generator Dan Lampu 50 Watt.

Gambar 20 menunjukkan hasil perhitungan antara kecepatan putar (rpm) dan torsi (Nm) yang dihasilkan dengan penambahan kopel generator & Lampu 50 Watt. Dapat diketahui bahwa setelah ditambahkan beban generator dan beban lampu 50 watt, kecepatan putar tertinggi pada bukaan katup 90° yaitu 388,32 rpm dan kecepatan putar terendah pada bukaan katup 30° yaitu 280,94 rpm. Sedangkan nilai torsi tertinggi setelah ditambahkan beban generator & lampu 50 watt, torsi tertinggi pada bukaan katup 90° yaitu 0,063 Nm dan torsi terendah pada bukaan katup 30° yaitu 0,044 Nm. Hal ini dikarenakan bahwa torsi yang besar mengalami penurunan kecepatan putar yang signifikan ketika ditambahkan beban lampu 50 watt dan juga membuktikan bahwa kecepatan putar berbanding lurus dengan torsi yang dihasilkan.



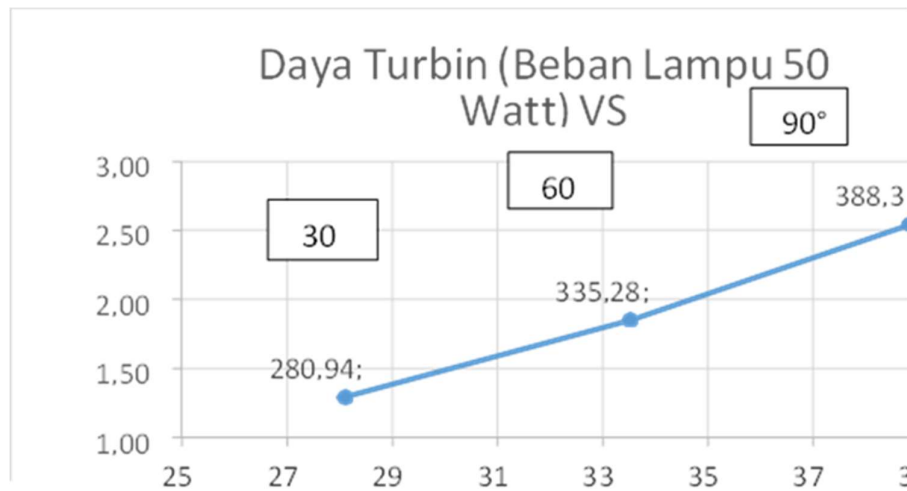
Gambar 20. Grafik Hubungan Antara Kecepatan Putar Dan Torsi (Dikopel Generator Dan Lampu 50 Watt)

4.6.2. Hubungan Antara Kecepatan Putar Dan Daya Turbin Dengan Kopel Generator Dan Lampu 50 Watt

Gambar 21 menunjukkan hasil perhitungan antara kecepatan putar (rpm) dan daya turbin (watt) yang dihasilkan dengan penambahan beban generator & Lampu 50 Watt.

Dari Gambar 21 dapat diketahui bahwa setelah ditambahkan beban generator dan beban lampu 50 watt, maka kecepatan putar tertinggi pada bukaan katup 90° yaitu 388,32 rpm dan kecepatan putar terendah pada bukaan katup 30° yaitu 280,94 rpm. Sedangkan daya turbin tertinggi setelah ditambahkan beban generator dan beban lampu 50 watt, daya turbin tertinggi pada bukaan katup 90°

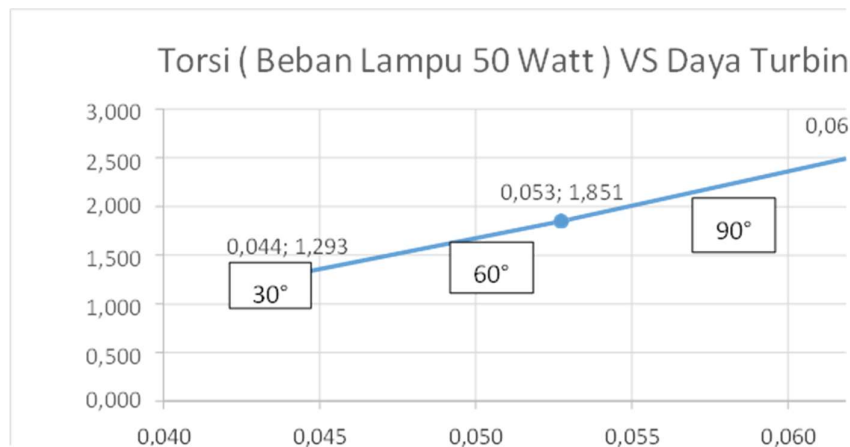
yaitu 2,541 watt dan daya turbin terendah pada bukaan katup 30° yaitu 1,293 watt. Hal ini dikarenakan bahwa torsi yang besar menghasilkan daya turbin yang besar pula tetapi tidak mengalami penurunan kecepatan putar yang signifikan ketika ditambahkan beban lampu 50 watt dan juga membuktikan bahwa daya turbin berbanding lurus dengan daya turbin yang dihasilkan.



Gambar 21. Grafik Hubungan Antara Kecepatan Putar Dan Daya Turbin (Kopel Generator Dan Lampu 50 Watt)

4.6.3. Hubungan Antara Torsi Dan Daya Turbin Dengan Beban Lampu 50 Watt

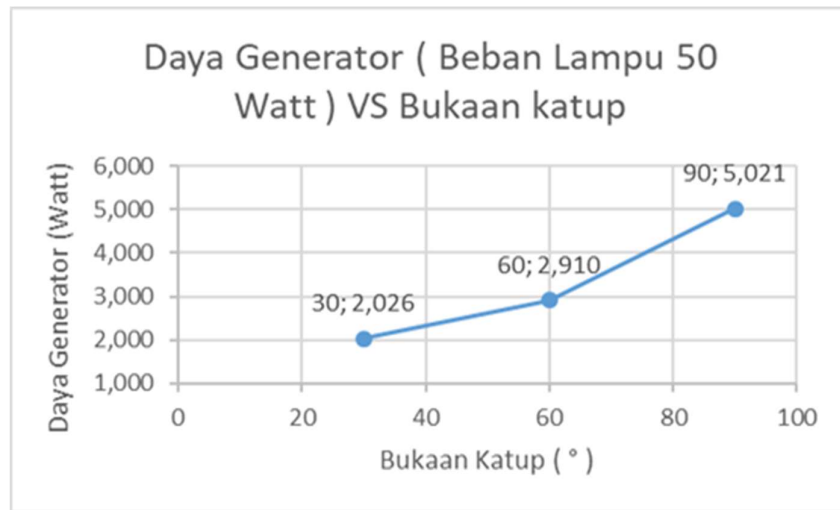
Gambar 22 menunjukkan hasil perhitungan antara torsi (Nm) dan daya turbin (watt) yang dihasilkan dengan beban lampu 50 watt. Dari gambar 22 dapat diketahui bahwa torsi tertinggi dengan beban lampu 50 watt pada bukaan katup 90° yaitu 0,063 Nm dan torsi terendah tanpa beban pada bukaan katup 30° yaitu 0,044 Nm. Sedangkan daya turbin tanpa beban tertinggi pada bukaan katup 90° yaitu 2,541 watt dan daya yang terendah pada bukaan katup 30° yaitu 1,293 watt. Hal ini dikarenakan bahwa semakin besar torsi oleh runner maka semakin besar daya turbin yang dihasilkan dan juga semakin besar daya generator maka semakin besar pula daya turbin dengan ditambahkan beban lampu 50 watt.



Gambar 22. Grafik Hubungan Antara Torsi & Daya Turbin (Kopel generator dan Lampu 50 Watt)

4.6.4. Hubungan Antara Daya Generator Dan Bukaannya Katup Dikopel Generator Dan Lampu 50 Watt

Gambar 23 menunjukkan hasil perhitungan daya generator dan bukaannya katup yang dihasilkan dengan dikopel generator dan beban lampu 50 Watt.

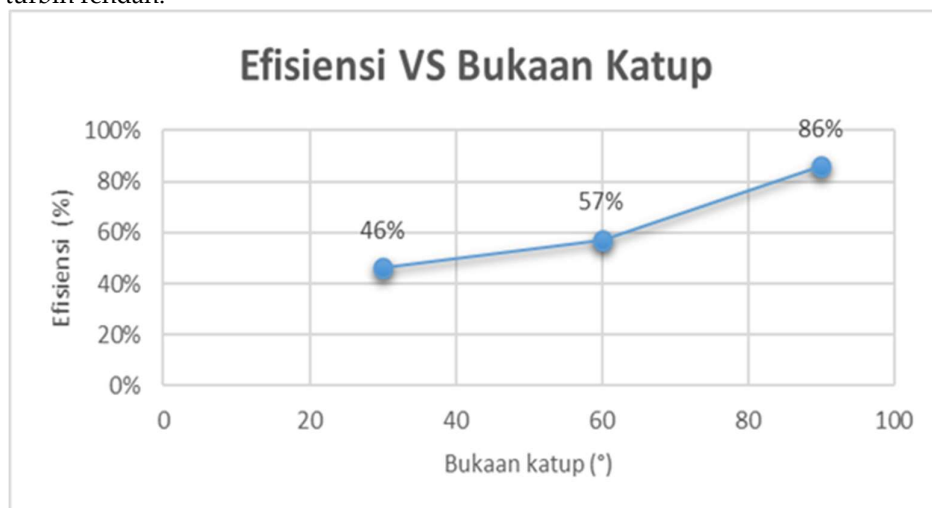


Gambar 23. Grafik Hubungan Daya Generator Dan Bukaannya Katup (Dikopel Generator Dan Beban Lampu 50 Watt)

Dari Gambar 23 dapat diketahui bahwa daya generator tertinggi pada bukaannya katup 90° yaitu 5,021 Watt dan yang terendah yakni bukaannya katup 30° yaitu 2,026 Watt. Dimana daya generator dapat dipengaruhi oleh bukaannya katup, semakin besar bukaannya katup maka semakin besar pula daya generator yang dihasilkan, maupun sebaliknya semakin kecil bukaannya katup maka semakin kecil pula daya generator yang dihasilkan.

4.6.5. Hubungan Antara Efisiensi Sistem Dengan Bukaannya Katup

Gambar 24 menunjukkan hasil perhitungan daya generator dan bukaannya katup yang dihasilkan dengan dikopel generator dan beban lampu 50 Watt. Semakin besar bukaannya katup turbin maka semakin tinggi efisiensi yang dihasilkan, dan semakin kecil bukaannya katup maka semakin kecil efisiensi yang dihasilkan. Hal ini disebabkan penambahan bukaannya katup menyebabkan kecepatan pancar air yang menumbuk sudu akan semakin meningkat sehingga putaran poros menurun juga menyebabkan efisiensi turbin rendah.



Gambar 24. Grafik hubungan antara efisiensi sistem dengan bukaannya katup

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian, analisa dan pembahasan hasil data eksperimen yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan semakin besar kecepatan putar maka semakin besar torsi yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan torsi dipengaruhi oleh kecepatan putar dan bukaan katup, jadi semakin besar kecepatan putar dan bukaan katup maka semakin besar torsi yang dihasilkan. Torsi tertinggi pada bukaan katup 90° yaitu 0,063 N.m dan daya turbin terendah pada variasi bukaan katup 30° yaitu 0,044 N.m. Demikian juga semakin besar kecepatan putar maka semakin besar daya turbin yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan semakin besar torsi yang dihasilkan maka semakin besar pula daya turbin yang dihasilkan. Daya turbin tertinggi pada variasi bukaan katup 90° yaitu 2,541 Watt, dan daya turbin terendah pada variasi bukaan katup 30° yaitu 1,293 Watt. Hal ini juga besar torsi maka semakin besar pula daya turbin yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan semakin besar torsi maka semakin besar pula daya turbin yang dihasilkan. Daya turbin tertinggi pada variasi bukaan katup 90° yaitu 2,541 Watt dan daya turbin terendah pada variasi bukaan katup 30° yaitu 1,293 Watt. Untuk daya generator yang dihasilkan adalah semakin besar bukaan katup maka semakin besar daya generator yang dihasilkan. Daya generator tertinggi pada bukaan katup 90° yaitu 5,021 Watt dan yang terendah yakni bukaan katup 30° yaitu 2,026 Watt, serta efisiensi sistem yang dihasilkan dari variasi bukaan katup 30° yaitu 46% Variasi bukaan katup 60° yaitu 57%, dan variasi bukaan katup 90° yaitu 86% yang merupakan efisiensi sistem tertinggi. Dengan demikian Variasi bukaan katup terbaik adalah 90°.

Dalam lingkup penelitian kami ini terdapat keterbatasan mengenai alat yang kami gunakan jauh dari kata sempurna dan perlu adanya perbaikan lagi di masa yang akan datang, termasuk cara bukaan katup yang masih manual yang bisa dilakukan perbaikan dengan sistem digital sehingga lebih sempurna hasil yang didapatkan. Untuk penelitian selanjutnya kami juga menyarankan agar sudut bukaan katup dilakukan eksperimen diatas 90° mengingat bahwa semakin besar bukaan katup maka semakin besar pula daya yang dihasilkan.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan resa terima kasih yang mendalam kepada :

1. Kelompok Kerja Mahasiswa yang melakukan Perancangan dan Pembuatan Turbin Pelton
2. Bapak Didik Sugiono, ST., Msc, selaku Kaprodi Program Studi Teknik Mesin

Pernyataan Konflik Kepentingan (*Declaration of Conflict of Interest*)

Para penulis menyatakan tidak ada potensi konflik kepentingan terkait dengan penelitian, penulisan, dan/atau publikasi dari artikel ini.

Daftar Pustaka

- Arifin, M. Z. (2017). *Analisa Unjuk Kerja Dan Tingkat Kavitas Pada Turbin Francis Di PT PJB Unit Pembangkitan Brantas UNIT PLTA Sutami*. [Tugas Akhir, Institut Teknologi 10 Nopember Surabaya]
- Cakrawala96. (2021). Turbin Francis: Pengertian, Komponen, Dan Prinsip Kerja. Turbin Francis. <https://www.gesainstech.com/2021/06/turbin-francis-indonesia.html> , diakses pada 4 November 2023
- Cakrawala96. (2021). Turbin Kaplan: Pengertian Dan Cara Kerjanya. Turbin Kaplan, <https://www.gesainstech.com/2021/06/turbin-kaplan-reaksi.html> diakses pada 4 November 2023
- Kulin, G., & Compton, P. R. (1975). *A guide to methods and standards for the measurement of water flow* (Vol. 13). US Department of Commerce, National Bureau of Standards.
- Dietzel, F. (1996). *Turbin Pompa dan Kompresor*, cetakan ke-5. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Hariri, H., & Zainal, F. (2018). Perancangan Dimensi Bagian Utama Turbin Uap Impuls Skala Laboratorium. In *Prosiding Seminar Rekayasa Teknologi (SemResTek)*, 297-305.
- Gaskar, M., Ali, M., Muin, A., & Veranika, R. M. (2022). Pengujian Turbin Pelton Skala Mini dengan Dua Variasi Bentuk Sudu, *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 10(1), 38-43 <http://dx.doi.org/10.52333%2Fdestek.v10i1.857>

- Husen, A. H. (2021). Uji Eksperimental Bentuk Sudu-sudu Pada Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Listrik Turbin Pelton, *Journal Presisi Jurusan Teknik Mesin FTI ISTN*, 23(2), 32-42.
- Irawan, H., Syamsuri, S., & Rahmad (2018). Analisis Performansi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air Jenis Turbin Pelton Dengan Variasi Buka-an Katup Dan Beban Lampu Menggunakan Inverter. *JHP17: Jurnal Hasil Penelitian*, 3(01), 27-31
- Kontruksibesar.Com. (2022). Mengenal Jenis Turbin Pelton. Turbin Pelton
- Ma'ruf, M. (2014). Unjuk Kerja Turbin Jenis Pelton Berdasarkan Variasi Buka-an Katup untuk Mengatur Keluaran Debit Aliran dan Head, *TRANSMISI*, 10(1), 25-32. <https://doi.org/10.26905/jtmt.v10i1.4606>
- Maridjo, D., Puguh, B., Slameto, Suharto B., & Abdulrahman (2016). Rancang Bangun Turbin Pelton Mikrohidro. *Jurnal Teknik Energi*, 6(2), 510-514 <https://doi.org/10.35313/energi.v6i2.1714>
- Purnomo, S. (2011). Pengaruh Jarak dan Ukuran Nosel Pada Putaran Sudu Terhadap Daya Listrik Turbin Pelton. *Teknik Mesin, Universitas Gunadarma*, 18, 14.
- Saefudin, E., Kristayadi, T., Rifki, M., & Arifin, S. (2017). Turbin screw Untuk Pembangkit Listrik Skala Mikrohidro Ramah Lingkungan. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 3(1), 233-244.
- Setiawan, R. (2018). *Rancang Bangun Alat Peraga Sederhana Sistem Turbin Pelton dengan Mengaplikasikan CAD/CAM dan 3D Printing*. [Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia]
- Siregar, A. S. (2019). *Analisis Numerik Sudut Sudu Masuk dan Keluar Turbin Pelton terhadap Efisiensi Turbin*.
- Simamora, M. S. (2017). Perancangan Alat Uji Prestasi Turbin Pelton. *Jurnal Mahasiswa Teknik*, 3(1).
- Sudrajat, A., & Bintoro, C. (2012). Penyempurnaan Pola Aliran Pada Turbin Francis Melalui Penggunaan Material Komposit Pada Komponennya Untuk Meningkatkan Daya. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, Vol. 3, 1-9.
- Thake, J. (2000). *The Micro-Hydro Pelton Turbine Manual*. London: ITDG Pub