

## Kajian Eksamen Penggunaan Jarum Nozzle (Needle) Terhadap Kinerja Turbin Pelton Skala Mikro

Ari Aswari Purba

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, <sup>2</sup>Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan  
Jl. Muchtar Basri No. 3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara

*ariaswaripurba28@gmail.com*

### **Abstrak**

*Turbin Pelton adalah turbin spesifik berkecepatan rendah yang digunakan untuk lokasi pembuangan tinggi dan rendah. Pelton turbin memiliki serangkaian ember yang dipasang di tepi cakram yang dipasang pada poros yang berputar. Ini Penelitian ini membahas salah satu unjuk kerja dari turbin pelton yaitu pengaruh nozzle jarum pada kinerja turbin pelton. Mengetahui daya yang dihasilkan turbin pada nozel variasi jarum dan mengetahui efisiensi penggunaan jarum nozel pada turbin pelton dan mengetahui kecepatan aliran yang keluar pada variasi bukaan nozel. Langkah-langkah penelitian untuk variasi penggunaan jarum nozzle pada turbin pelton mulai dari set up alat uji, data pengumpulan, dimana data diperoleh maka tahap selanjutnya menganalisis data tersebut. Hidrolisa tenaga air diperoleh pada analisa data dari pengujian sebesar 2959.008 watt. Putaran tercepat dihasilkan terjadi pada variasi bukaan 16 mm nozzle tertutup 586,6 rpm dan yang terkecil terjadi pada variasi needleless 542,3 rpm. Daya terbesar yang dihasilkan pada pengujian ini diperoleh pada 16 variasi bukaan nozzle mm sebesar 53,49 watt dan yang terkecil diperoleh dari pengujian needleless 43 watt.*

**Kata Kunci:** Jarum, Kecepatan Daya, Efisiensi.

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan turbin air sudah berlangsung lama. Jenis turbin air yang paling awal dan paling sederhana adalah waterwheel, pertama kali digunakan oleh orang-orang Yunani dan dipergunakan luas pada abad pertengahan di Eropa. Selanjutnya berangsur-angsur muncul berbagai jenis turbin air seperti turbin pelton yang ditemukan oleh Lester A. Pelton pada abad kesembilan belas dan turbin Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) atau disebut juga dengan mikrohidro adalah suatu instalasi pembangkit listrik tenaga air skala kecil dengan kapasitas pembangkitan rendah yang menggunakan tenaga air sebagai penggerakannya seperti sungai, saluran irigasi, air terjun dengan memanfaatkan tinggi terjunan (head). (Gusti., 2020)

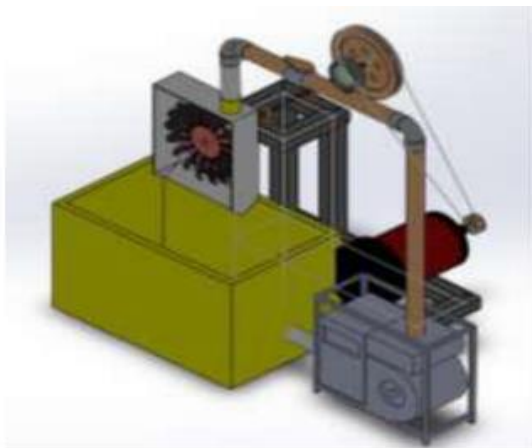
Turbin pelton adalah turbin kecepatan spesifik rendah yang digunakan untuk head yang tinggi dan lokasi pembuangan rendah. Turbin pelton memiliki rangkaian ember yang dipasang di pinggiran cakram yang dipasang pada poros yang berputar. Dalam turbin ini, semua energi air yang tersedia diubah menjadi energi kinetik atau kecepatan head. Air dikeluarkan dari nozzle berupa jet. Semburan air memberikan torsi pada pelari yang menyebabkannya berputar. Bentuk diameter nozzle dapat menyebabkan perubahan bentuk semburan jet. Seiring perkembangan dan kemajuan teknologi turbin pelton telah banyak ditemukan jenis penelitian tentang nozzle, Nozzle adalah alat yang dirancang untuk mengontrol arah, kecepatan, dan laju dari aliran fluida saat keluar dari sebuah ruang tertutup. Arah dan kecepatan aliran yang keluar dari nozzle dapat diatur dengan cara mengubah bukaan jarum nozzle.

Penelitian ini membahas salah satu kinerja dari turbin pelton tersebut, yaitu pengaruh jarum nozzle terhadap unjuk kerja turbin pelton. Nozzle salah satu bagian utama turbin pelton yg berfungsi memancarkan air ke sudu dan menghasilkan energi kinetik, semakin baik pancaran air dari nozzle semakin baik pula daya yang dihasilkan turbin. Penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh variasi nozzle terhadap putaran turbin, putaran generator, tegangan arus dan daya yang dihasilkan oleh generator, sehingga variasi nozzle yang menghasilkan efisiensi paling tinggi pada turbin pelton dapat menjadi acuan untuk membangun sebuah pembangkit listrik tenaga mikrohidro menggunakan turbin pelton.

Berdasarkan (Assauri, 2017) menunjukkan adanya pengaruh variasi bukaan nozzle pada kinerja turbin pelton, sehingga dapat disimpulkan bahwa: Dari hasil pengujian pengaruh variasi jumlah nozzle dan bukaan katub terhadap daya listrik yang dihasilkan prototype turbin pelton dengan memvariasi jumlah nozzle yang digunakan yaitu 1 nozzle, 2 nozzle, dan 3 nozzle, serta bukaan katub 30 , 60 , dan 90 , dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Jadi banyaknya nozzle yang digunakan mempengaruhi kinerja prototype turbin Pelton, terbukti pada penggunaan 3 nozzle menghasilkan daya listrik yang paling efektif dibanding penggunaan 1 nozzle, 2 nozzle.
2. Dari ketiga variasi jumlah nozzle yang digunakan. daya listrik yang paling efektif yaitu pada penggunaan 3 nozzle dan bukaan katub 90 dengan kecepatan aliran fluida 91,71 m/s, dan 411 rpm putaran puli runner menghasilkan daya listrik sebesar 10,5357 Watt.
3. Banyaknya nozzle yang digunakan, dan bukaan katub mempengaruhi debit aliran air dan kecepatan aliran, semakin banyak penggunaan nozzle dan semakin besar bukaan katub maka semakin besar pula debit dan kecepatan aliran yg di hasilkan.

Turbin Pelton Turbin Pelton merupakan jenis turbin impuls yang dipakai head yang besar. Terdiri dari satu set runner yang berisi sudu dipasang secara sejajar pada disk seperti pada Gambar.



**Gambar 1. Turbin Pelton**

Turbin ini diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih nozzle. Aliran fluida dalam pipa yang dihasilkan dari head akan keluar dengan kecepatan tinggi melalui nozzle. Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Tekanan air diubah menjadi kecepatan, pancaran air akan mengenai bagian tengah-tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik. Prinsip kerja turbin Pelton ini yaitu merubah gaya potensial air menjadi gaya mekanis yang terjadi akibat reaksi impuls pada runner turbin yang menyebabkan runner turbin dapat berputar selama adapancaran air yang menyemprot sudu. Air disemprotkan dari nozzle mengenai sudusudu turbin, maka runner dapat berputar untuk memutar pulley turbin yang terhubung ke pulley generator menggunakan belt sehingga generator dapat berputar. Adapun kelebihan yang dimiliki oleh turbin Pelton dibandingkan dengan jenis turbin lain yaitu :

- 1) Baik dikembangkan pada daerah yang memiliki sumber daya air dengan debit yang kecil, namun hanya memiliki head yang tinggi.
- 2) Pengembangan PLTMH dengan turbin pelton, daya yang dihasilkan besar dari pembangkitan.
- 3) Kontruksi yang digunakan dalam pengembangan pembangkit ini sederhana.
- 4) Mudah dalam perawatannya. (Gusti., 2020)

## **2. METODE PENELITIAN**

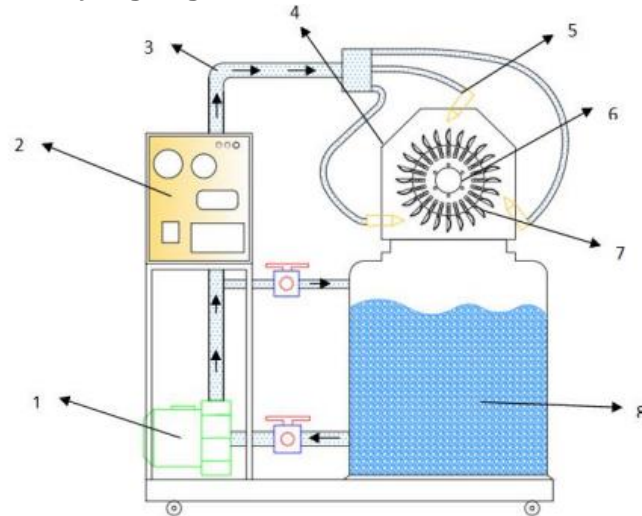
### **Tempat**

Tempat pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Prestasi Mesin Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara, Jl. Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan.

### **Waktu**

Waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu di mulai tanggal di sah-kannya usulan judul penelitian oleh Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan akan di kerjakan selama kurang lebih 6 bulan sampai di nyatakan selesai.

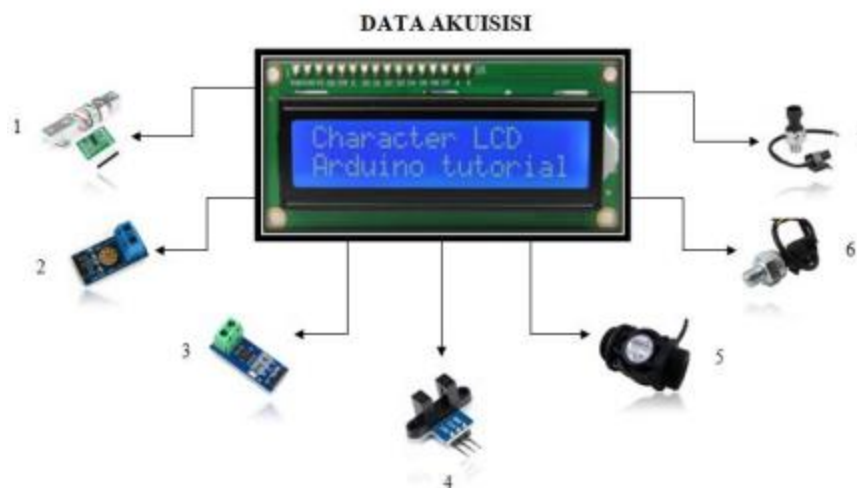
### Alat dan Bahan Alat yang Digunakan



Gambar 2. Skema Turbin Pelton

- 1) Motor Pompa
- 2) Box Panel
- 3) Pipa PVC
- 4) Rumah Turbin
- 5) Nozzle
- 6) Runner
- 7) Bucket/Sudu
- 8) Reservoir
- 9) Inverter

Adapun sensor yang digunakan untuk mendeteksi hasil yang kemudian ditampilkan pada LCD (Liquid Cristal Display), yaitu:



Gambar 3. Data Akuisisi

- 1) Sensor Load Cell
- 2) Sensor Tegangan
- 3) Sensor Arus
- 4) Sensor Kecepatan
- 5) Sensor Flow Meter

6) Sensor Discharge

7) Sensor Suction

Adapun alat parameter pendukung yang digunakan adalah :

1) Tachometer

Bahan yang digunakan

1) Air

Prosedur pengujian yang dilakukan pada penelitian Turbin Pelton dengan mengatur variasi Head.

1. Mengatur jarak bukaan needle dengan jarak 16 mm dari needle dalam keadaan tertutup.
2. Menghubungkan laptop ke arduino..
3. Memastikan semua alat dalam keadaan baik.
4. Pastikan posisi katup dalam keadaan membuka full.
5. Tekan saklar untuk menghidupkan pompa air
6. Mengatur kecepatan motor menggunakan inverter di 50 Hz.
7. Mengamati proses yang terjadi dan putaran poros yang dihasilkan.
8. Mengamati tegangan dan arus yang dihasilkan selama 5 menit tanpa beban
9. Menghidupkan lampu untuk melihat kemampuan alat menyuplai daya.
10. Mengamati tegangan dan arus yang dihasilkan selama 5 menit menggunakan beban lampu
11. Mencatat semua data yg tercatat pada monitor arduino
12. Mengulangi percobaan ini dengan mengubah jarak needle dengan jarak 64 mm dan tidak menggunakan needle dengan kecepatan maksimum 50 Hz.
13. Mematikan pompa untuk mengakhiri proses percobaan.

### 3. HASIL

#### Prosedur Analisa Data

1. Menghitung kapasitas air (Q)

Daya air dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$$Q = A.v$$

2. Luas penampang ujung nozzle (A)

Untuk menghitung luas ujung nozzle yang menumbuk sudu turbin digunakan persamaan dibawah ini:

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

Keterangan :

A = Luasan ujung nozzle (m<sup>2</sup>)

d = Diameter dalam nozzle (m)

3. Kecepatan aliran (v)

Untuk menghitung kecepatan aliran, digunakan dengan persamaan dibawah ini:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Keterangan :

v = Kecepatan aliran (m/s)

Q = Debit aliran air (m<sup>3</sup>/s)

A = Luasan ujung nozzle

4. Laju massa air yang mengalir (m) Untuk menghitung massa aliran digunakan persamaan dibawah ini:

$$m = \rho \cdot Q$$

Keterangan :

$m$  = Laju aliran massa air (kg/s)

$\rho$  = Massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)

$Q$  = Debit aliran air (m<sup>3</sup>/s)

5. Kecepatan angular / tangensial ( $\omega$ )

Untuk mendapatkan kecepatan angguler dapat menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

Keterangan :

$\omega$  = Kecepatan angguler (rad/s)

$n$  = Putaran turbin

6. Perhitungan daya :

- a. Daya hidrolis;  $Ph$  (Watt) adalah daya yang diukur dengan persamaan dibawah ini :

$$Ph = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Keterangan :

$Ph$  = Daya hidrolis (Watt)

$\rho$  = Massa jenis air 996,7 (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = Gaya gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

$Q$  = Debit aliran air (m<sup>3</sup>/s)

- b. Daya kinetik jet air;  $Pk$  (Watt) dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$$Pk = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

Keterangan :

$Pk$  = Daya kinetis air (Watt)

$\rho$  = Massa jenis air 996,7 (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  = Luas penampang nozzle turbin (m<sup>2</sup>)

$v$  = Kecepatan aliran (m/s)

7. Efisiensi turbin Efisiensi turbin dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$$\eta_g = \frac{Pg}{Ph} \times 100\%$$

Keterangan :

$\eta_g$  = Efisiensi turbin (%)

$Pg$  = Daya turbin (Watt)

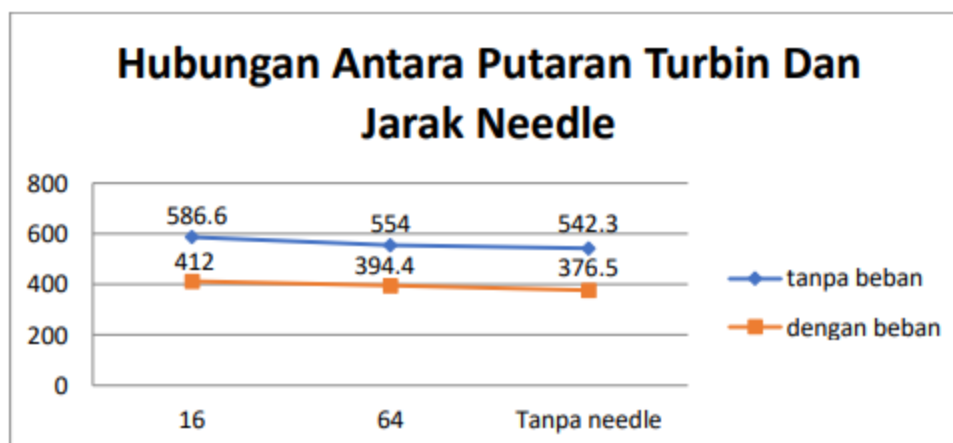
$Ph$  = Daya hidrolis air (Watt)

**Tabel. 1 Hasil Data Pengujian**

No.	Parameter	Needle jarak 16 mm	Needle jarak 64 mm	Tanpa needle
1.	Putaran turbin tanpa beban	586.6 rpm	554.0 rpm	542.3 rpm
2.	Putaran turbin dengan beban bola lampu 36 watt	412.0 rpm	394.4 rpm	376,5 rpm
3.	Tegangan tanpa beban	35.8 volt	33.7 volt	33.2 volt
4.	Tegangan dengan beban bola lampu 36 watt	18.3 volt	18.8 volt	17.8 volt
5.	Daya yang dihasilkan	53.49 watt	46.32 watt	43.00 watt
6.	Torsi tanpa beban	2,06 N/m	1,86 N/m	1,18 N/m
7.	Torsi dengan beban bola lampu 36 watt	13,14 N/m	11,67 N/m	4,12 N/m

#### 4. PEMBAHASAN

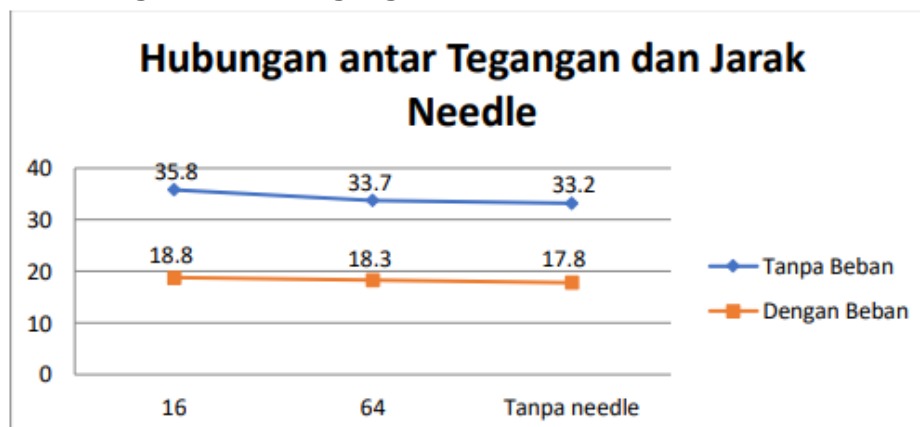
##### Grafik Hubungan Antara Putaran Turbin Dan Jarak Needle



Gambar 4 Grafik Head Rata-Rata Vs Daya Teori Turbin

Berdasarkan gambar grafik 4 dapat dilihat bahwa kecepatan putaran turbin tertinggi sebelum diberi beban adalah 586,6 rpm (jarak bukaan needle 16 mm) dan kecepatan putaran turbin terendah adalah 542,3 rpm (tanpa nozzle). Sedangkan kecepatan putaran turbin tertinggi saat diberi beban yaitu 412 rpm dan kecepatan putaran turbin terendah 376,5.

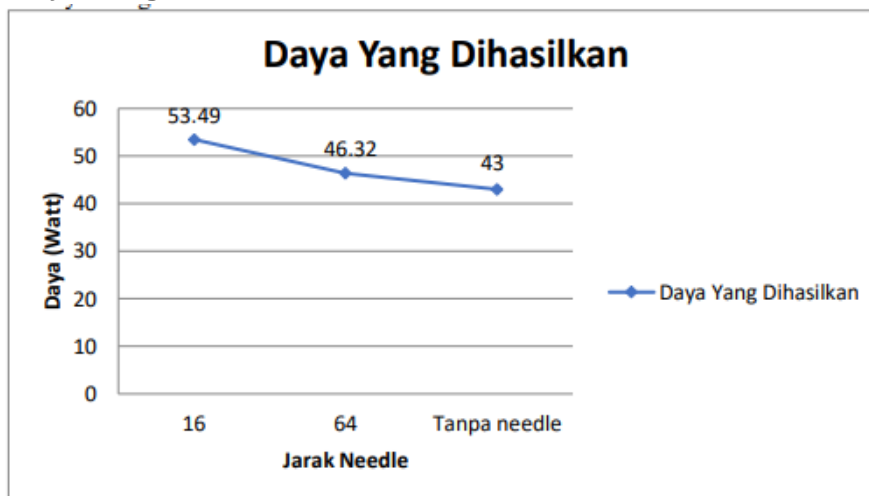
##### Grafik Hubungan Antara Tegangan dan Jarak Needle.



Gambar 5 Grafik Hubungan Antara Tegangan dan Jarak Needle.

Berdasarkan pada gambar 5 diatas dapat dilihat semakin sedikit jarak needle pada nozzle semakin kencang tembakan jet yang akan dikeluarkan nozzle untuk memutar poros turbin maka tegangan generator akan semakin besar. Tegangan tertinggi tanpa beban pada penelitian ini adalah jarak 16 mm yaitu sebesar 35,8 volt dan yang terendah adalah penelitian tanpa needle yaitu 33,2 volt. Sedangkan tegangan tertinggi dengan beban adalah jarak 16 mm yaitu 18,8 volt dan yang terendah adalah penelitian tanpa needle yaitu 17,8 volt.

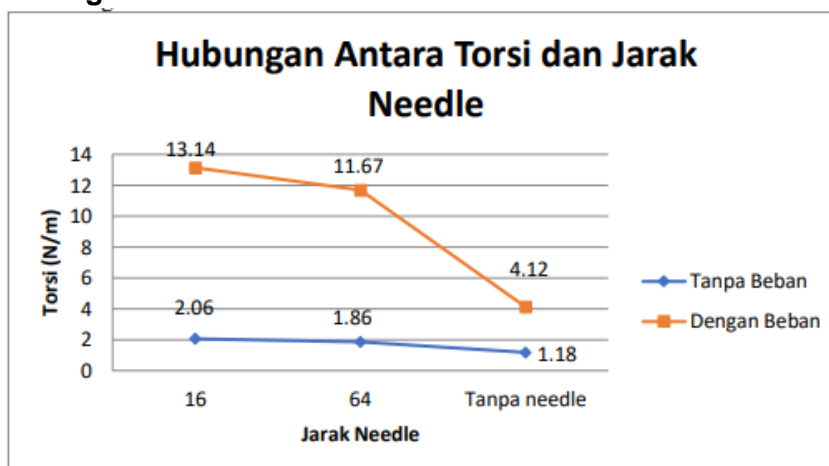
### Grafik Daya Yang Dihasilkan



Gambar 6 Grafik Head Rata-Rata Vs Daya Listrik Input

Berdasarkan pada gambar 6 diatas dapat dilihat semakin sedikit jarak needle pada nozzle semakin kencang tembakan jet yang akan dikeluarkan nozzle untuk memutar poros turbin maka daya yang dihasilkan akan semakin besar. Daya tertinggi yang dihasilkan pada penelitian ini adalah pada variasi jarak needle 16 mm yaitu 53,49 watt, sedangkan daya terendah yang dihasilkan adalah variasi tanpa needle yaitu 43 watt.

### Grafik Hubungan Antara Torsi dan Jarak Needle



Gambar 7 Grafik Hubungan Antara Torsi dan Jarak Needle

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat semakin kecil nilai dari jarak needle maka semprotan air kesudu semakin kuat dan membuat putaran poros semakin cepat maka semakin besar pula torsi yang dihasilkan. Torsi tertinggi pada pengujian tanpa beban terjadi pada bukaan 16 mm yaitu 13,14 N/m dan yang terendah adalah variasi tanpa needle yaitu 4,12 N/m, sedangkan pengujian dengan beban dengan torsi tertinggi yaitu bukaan 16 mm sebesar 2,06 N/m dan torsi terendah pada pengujian tanpa beban yaitu tanpa needle sebesar 1,18 N/m.

## 5. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian terhadap variasi bukaan nozzle turbin pelton skala mikro dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Daya hidrolis air yang didapat pada analisa data dari pengujian sebesar 2959,008 watt.
2. Putaran tercepat yang dihasilkan terjadi pada variasi bukaan 16 mm dari nozzle tertutup yaitu 586,6 rpm dan yang terkecil terjadi pada variasi tanpa needle yaitu 542,3 rpm.
3. Daya terbesar yang dihasilkan pada pengujian ini didapatkan pada variasi bukaan nozzle 16 mm sebesar 53,49 watt dan yang terkecil didapat dari pengujian tanpa needle yaitu 43 watt.

## REFERENSI

- Affandi, A. R., Fonna, S., & Huzni, S. (2019). Atmospheric Corrosion Analysis on Carbon Steel Low Profile Strip and Reinforcing steel in Industrial Area. *Prosiding SNTTM XVIII., RM17*.
- Ahmad Saputra Siregar. (2019). ANALISA NUMERIK SUDUT SUDU MASUK DAN KELUAR TURBIN PELTON TERHADAP EFISIENSI TURBIN. <https://doi.org/10.31227/osf.io/n4f68>
- Aida Syarif, Yohandri Bow1, KA Ridwan1, Deli Karlina, S. W. (2019). ANALISIS UNJUK KERJA PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO TURBIN PELTON SUMBER DAYA HEAD POTENSIAL. *Jurnal Kinetik*, 10(02), 1–8.
- Damanik, W. S., & Hasibuan, E. S. (2020). Simulasi Numerik Kerugian Aliran Udara Pada Susunan Pipa Segitiga. *jurnal mesil (mesin elektro sipil)*, 1(1), 19-29.
- Damanik, W. S., Alfansury, M. S., & Umurani, K. (2015). Pengaruh Jarak Katoda dan Anoda Terhadap Tekanan Gas Hidrogen Dan Klorin Yang Dihasilkan Dalam Proses Elektrolisis Air Garam. *Universitas Muhammadiyah, Sumatera Utara*.
- Damanik, W. S., Napitupulu, F. H., Nasution, A. H., & Ambarita, H. (2020). Energy analysis of double slope aktive solar still. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 725, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.
- Dharma, S. (2021). Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) Pada Turbin Screw Archimedes Skala Kecil: Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) Pada Turbin Screw Archimedes Skala Kecil. *ABEC Indonesia*, 9.
- Dharma, S., Razak, A., Bahri, N., Sutrisno, J., Abdullah, I., & Silalahi, A. R. (2020). The Effect of Process Route on the Mechanical Properties and Microstructure Aluminum Al-Si-Cu-Mg-Mn Alloys. In *Defect and Diffusion Forum* (Vol. 402, pp. 67-72). Trans Tech Publications Ltd.
- Gunawan, S., Hasan, H., & Lubis, R. D. W. (2020). Pemanfaatan Adsorben dari Tongkol Jagung sebagai Karbon Aktif untuk Mengurangi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(1), 38-47.
- Hadi, H. S., Abdurrakhman, A., & Sampurno, B. (2019). Rancang Bangun Sistem Monitoring Cairan Pembersih Pada Robot Pembersih Kaca Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535. *J-Eltrik*, 1(1), 7-14.
- Huzni, S., Tanjung, I., & Fonna, S. (2019, August). Atmospheric corrosion map of structural steel in industrial area: a preliminary investigation. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 602, No. 1, p. 012075). IOP Publishing.
- Lubis, S., Siregar, I., & Siregar, A. M. (2020). Karakteristik Unjuk Kerja 2 Pompa Sentrifugal Dengan Susunan Seri Sebagai Turbin Pat. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(2), 85-92.
- Mizhar, S., & Suherman, S. (2011). Pengaruh Perbedaan Kondisi Tempering Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan dari Baja AISI 4140. *Jurnal dinamis*, (8).

- Mizhar, S., & Fauzi, R. (2016). Pengaruh penambahan magnesium terhadap kekerasan, kekuatan impak dan struktur mikro pada aluminium paduan (Al-Si) dengan metode lost foam casting. *MEKANIK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 2(2).
- Mizhar, S., Yulfitra, Y., & Suherman, S. (2017). Kajian Perubahan Distribusi Kekerasan dan Perubahan Struktur Mikro pada Proses Quench terhadap Variasi Diameter dalam dari Baja Karbon Sedang Tipe Sae 1040. *MEKANIK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 3(2).
- Muliadi, D., Ridho, R., & Marpaung, C. P. (2018). Pengaruh Kuat Arus terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Sambungan Las Smaw Baja Sa 516 Gr. 70. *MEKANIK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(2).
- Muhammad Saleh Simamora. (2012). Perancangan Alat Uji Prestasi Turbin Pelton. Perancangan Alat Uji Prestasi Turbin Pelton, 1(1), 1–9.
- N Kholifah, A C Setyawan, D S Wijayanto, I. W. and H. S. (2018). Performance of Pelton Turbine for Hydroelectric Generation in Varying Design Parameters. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 288(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/288/1/012108>
- Rahmatullah, R., & Ahmad, R. (2018). Analisa Pengujian Lelah Material Bronze Dengan Menggunakan Rotary Bending Fatigue Machine. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 1(1), 1-11.
- Rimbawati, R., Hutasuhuta, A. A., Evalina, N., & Cholish, C. (2018). Analysis Comparison Of The Voltage Drop Before And After Using The Turbine In The Bintang Asih Microhydro Power Plant System. *Proceeding of Ocean, Mechanical and Aerospace-Science and Engineering-*, 5(1), 18-22.
- Rimbawati, R., Hutasuhut, A. A., & Muhamif, M. (2019). PENINGKATAN KAPASITAS DAYA LISTRIK PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO BINTANG ASIH GUNA MEMENUHI KEBUTUHAN PENERANGAN. *JURNAL PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT*, 24(4), 909-917.
- Saragi, J. F. H., Sianturi, T. A., Purba, J. S., & Damanik, W. S. (2021). Thermal Energy Analysis of Desalination Double Slope Passive Solar Still. *Desalination*, 2, 3.
- Siregar, A. M., & Lubis, F. (2019). Uji Keandalan Prototype Turbin Angin Savonius Tipe-u Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif. *MEKANIK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 5(1).
- Siregar, M. A., Damanik, W. S., & Harahap, A. H. (2021). Karakteristik Unjuk Kerja Pump As Turbine (PAT) Menggunakan Satu Pompa Hisap. *Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, 2(1), 17-24.
- Siregar, A.M. & Siregar, Chandra A. 2019. Reliability test prototype wind turbine savonius type helical as an alternative electricity generator. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 674(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/674/1/012059>. University of Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan 20238, Indonesia.
- Suherman, S., & Fahrizal, F. (2017). Pengaruh Penambahan Mn Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Pada Paduan Al-10si Dengan Metode Lost Foam Casting. *Jurnal Ilmiah MOMENTUM*, 13(1).
- Suherman, S., & Syahputra, S. (2014). Pengaruh Penambahan Cu Dan Solution Treatment Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Pada Aluminium Paduan A356. *Jurnal Dinamis*, 2(14).
- Suherman, S., Hasanah, M., Ariandi, R., & IImi, I. (2021). PENGARUH SUHU PEMANASAN TERHADAP KARAKTERISTIK DAN MIKROSTRUKTUR KARBON AKTIF PELEPAH KELAPA SAWIT. *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, 16(1), 1-9.
- Tanjung, I., Nasution, A. R., Fonna, S., & Huzni, S. (2020). INVESTIGASI LAJU KOROSI ATMOSFERIK BAJA KARBON RENDAH PROFIL SEGIEMPAT DI KAWASAN INDUSTRI MEDAN. *Jurnal Teknologika*, 10(1).
- Tanjung, I., Fonna, S., & Huzni, S. (2019, November). Study on the effect of mesh ratio to the potential distribution of RC cathodic protection using BEM. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 364, No. 1, p. 012022). IOP Publishing.
- Tanjung, I., Affandi, A., Huzni, S., & Fonna, S. (2020). Investigasi pengaruh jumlah elemen anoda terhadap distribusi potensial korosi pada beton bertulang menggunakan BEM 3D. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(1), 57-64.

- Tanjung, I., Nasution, A. R., Harahap, A. G., Fonna, S., Ariffin, A. K., & Huzni, S. (2021). Atmospheric Corrosion Analysis on Low Carbon Steel Plate Profile and Elbow in Medan Belawan District. In *Key Engineering Materials* (Vol. 892, pp. 142-149). Trans Tech Publications Ltd.
- Tanjung, I., Huzni, S., & Fonna, S. (2021). Investigation the Effect of Concrete Element Size on the Potential Distribution of RC Cathodic Protection Simulation Using BEM 3D. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Experimental and Computational Mechanics in Engineering* (pp. 189-198). Springer, Singapore.
- Umurani, K., Siregar, A. M., & Al-Amin, S. (2020). Pengaruh Jumlah Sudu Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tipe Whirlpool Terhadap Kinerja. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(2), 103-111.
- Yani, M., & Lubis, F. (2018). Pembuatan Dan Penyelidikan Perilaku Mekanik Komposit Diperkuat agregat Limbah Plastik Akibat Beban Lendutan. *MEKANIK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(2).
- Yunus, S. M., & Sitorus, M. K. (2018). Perbandingan Kekerasan dan Struktur Mikro Material Crank Shaft Sepeda Motor Beberapa Merk. *MEKANIK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(1).