

Analisis Tinggi Jatuh Air (Head) Terhadap Unjuk Kerja Turbin Pelton Skala Mikro

Luthfi Auzan

¹Program Studi Teknik Mesin, ²Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan
Jl. Mughtar Basri No. 3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara

luthfiauzan17@gmail.com

Abstrak

PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) adalah salah satu dari berbagai jenis konverter energi terbarukan yang menghasilkan energi listrik yang bersih dan ramah lingkungan. Ada beberapa jenis turbin: yang dapat diterapkan pada PLTMH salah satunya adalah Turbin Pelton. Turbin Pelton adalah impuls turbin, yaitu turbin yang digerakkan oleh energi kinetik air. Turbin Pelton merupakan salah satu jenis turbin impuls yang mengubah semua energi air menjadi energi kecepatan sebelum memasuki turbin runner, maka energi kecepatan tersebut digunakan untuk memutar generator sehingga menghasilkan tenaga listrik. Satu itu mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan adalah ketinggian tetesan air (Head), ketinggian air drop ditentukan dengan mengatur frekuensi pada inverter frekuensi yang terdapat dalam Box Panel. Tujuan Melakukan Penelitian Pengaruh Tinggi Jatuh Air (Head) Terhadap Skala Mikro Performa Turbin Pelton adalah untuk mengetahui hasil performa yang paling optimal diantara variasi kepala yang diuji. Penulis tertarik dengan penelitian turbin Pelton karena Turbin Pelton memiliki kelebihan yaitu keluaran daya yang besar, konstruksi yang sederhana dan mudah perawatan dan teknologi sederhana yang mudah diterapkan di daerah terpencil. Tentukan kepala dengan mengatur frekuensi pada inverter frekuensi, maka hasil percobaan akan ditampilkan pada LCD sehingga kita dapat mengetahui data yang dibutuhkan untuk melakukan analisis data. Kepala ditentukan dalam percobaan adalah 8,6 m, 8,3 m dan 8,1 m. Dari hasil analisis data didapatkan rendemen turbin adalah 17% - 59% dan kinerjanya 67% - 95%.

Kata Kunci: *Head, Hasil Turbin, Performa.*

1. PENDAHULUAN

Sumber daya alam yang terdapat di Indonesia sangat banyak, salah satunya adalah air. Air sangat dibutuhkan dalam kehidupan masyarakat sehari – hari untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, tidak hanya itu saja karena air yang mengalir memiliki energi yang bisa dimanfaatkan untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik, alat yang digunakan untuk menkonversi energi tersebut berupa turbin air, energi mekanik pada turbin air dapat diubah menjadi energi listrik yang merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbarui.

PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) merupakan salah satu dari berbagai jenis alat pengkonversi energi terbarukan yang menghasilkan energi bersih dan ramah lingkungan. Ada beberapa jenis turbin yang bisa di aplikasikan pada PLMTH, salah satunya adalah turbin pelton. Turbin Pelton merupakan turbin impuls, yaitu turbin yang digerakkan oleh energi kinetik air. Semprotan jet (nozzle) air berkecepatan tinggi mengenai bucket runner dan menggerakkan runner, air yang pada kecepatan rendah berarti sebagian energinya tidak diserap oleh runner. Tekanan air masuk dan keluar sudu adalah tekanan atmosfer. Turbin Pelton adalah contoh terbaik dari turbin impuls. Turbin tersebut dioperasikan oleh satu atau lebih jet (nozzle) air yang masuk ke center bucket pada sekeliling parameter dari runner. Tenaga berasal dari gaya air dari tekanan tinggi yang menumbuk buckets sehingga dinamai turbin impuls. Beberapa faktor yang berpengaruh pada kinerja turbin pelton adalah ketinggian jatuh air (head), kecepatan aliran, jumlah nozzle, jarak semprot nozzle dan jumlah sudu.

Penelitian ini membahas salah satu kinerja dari turbin pelton tersebut yaitu pengaruh tinggi jatuh air (head). Tinggi jatuh air (head) yang mengalir dengan ketinggian tertentu mempengaruhi hasil unjuk kerja (performance) turbin bersama generator, oleh karena itu diperlukan variasi ketinggian jatuh air (head) untuk melihat pada ketinggian berapa untuk menghasilkan efisiensi yang optimal, dimana variasi head yang digunakan dengan mengatur frekuensi hanya tiga yaitu 8,6 m (40 Hz), 8,3 m (44 Hz), dan 8,1 m (48 Hz). Pada penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh tinggi jatuh air (head) terhadap putaran turbin, putaran generator, tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh generator, sehingga pada tinggi jatuh air (head) yang dapat menghasilkan efisiensi tertinggi pada PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro), dengan menggunakan turbin pelton yang nantinya akan berguna sebagai acuan dalam membangun sebuah PLMTH menggunakan turbin pelton dengan potensi yang ada.

(Suriyanto Buyung, 2016), melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Pengaruh Tinggi Jatuhnya Air (Head) Terhadap Daya Pembangkit Listrik Tenaga Micro Hydro Tipe Turbin Pelton”. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui Pengaruh Tinggi Jatuhnya Air (Head) Terhadap Daya Pembangkit Listrik Tenaga Micro Hydro Tipe Turbin Pelton. Untuk mengetahui Pengaruh Tinggi Jatuhnya Air (Head) Terhadap Daya Pembangkit Listrik Tenaga Micro Hydro Tipe Turbin Pelton maka terlihat bahwa head actual dan debit air sangat mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan oleh micro hydro. Semakin tinggi jatuh air (Head Actual) dan semakin banyak debit air yang keluar dari Nozzle maka semakin besar juga tegangan listrik yang dihasilkan oleh Micro Hydro. Pada head actual 6,6 meter dengan head efektif 4,4 meter menghasilkan debit air 0,000796 m³/s, daya turbin 27,499 Watt dan daya micro hydro 24,749 Watt. Sedangkan pada head actual 6 meter dengan head efektif 4 meter menghasilkan debit air 0,000777 m³/s, daya turbin 24,3849 Watt dan daya micro hydro 21,946 Watt.

Turbin Pelton

Turbin pelton merupakan pengembangan dari turbin impuls yang ditemukan oleh S.N.Knight tahun 1872 dan N.J. Colena tahun 1873 dengan pasang mangkok-mangkok pada roda turbin. Setelah itu turbin impuls dikembangkan oleh orang amerika Lester G. Pelton (1880) yang melakukan perbaikan dengan penerapan mangkok ganda simetris, punggung membelah membagi jet menjadi dua paruh yang sama yang dibalikkan menyamping.

Jenis Turbin ini memiliki satu atau beberapa jet penyemprot air untuk memutar piringan. Tak seperti turbin jenis reaksi, turbin ini tidak memerlukan tabung diffuser. Ketinggian air (head) = 200 s.d 2000 meter. Debit air = 4 s.d 15 m^3/s . Turbin pelton digolongkan ke dalam jenis turbin impuls atau tekanan sama. Karena selama mengalir di sepanjang sudu-sudu turbin tidak terjadi penurunan tekanan, sedangkan perubahan seluruhnya terjadi pada bagian pengarah pancaran atau nozzel. Energi yang masuk ke roda jalan dalam bentuk energi kinetik. Turbin Pelton yang bekerja dengan prinsip impuls, semua energi tinggi dan tekanan ketika masuk ke mangkok jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Pancaran air tersebut yang akan menjadi gaya tangensial F yang bekerja pada mangkok roda jalan. Turbin pelton beroperasi pada tinggi jatuh yang besar. Tinggi air jatuh dihitung mulai dari permukaan atas sampai tengah tengah pancaran air. Bentuk mangkok terbelah menjadi dua bagian yang simetris, dengan maksud adalah agar dapat membalikan pancaran air dengan baik dan membebaskan mangkok dari gaya-gaya samping. Dalam perancangan turbin pelton telah ada suatu ketentuan yang mengatur dari desain / rancangan turbin pelton secara baku. Intinya kita tinggal menggunakan beberapa parameter utama untuk menghasilkan dimensi lain Turbin jenis ini biasanya digunakan untuk menghasilkan listrik berkapasitas besar pada pusat tenaga air tekanan tinggi. Turbin pelton dilengkapi dengan empat sampai dengan enam nozzle.

1. Kelebihan Turbin Pelton :
 - a. Daya yang dihasilkan besar
 - b. Konstruksi yang sederhana
 - c. Mudah dalam perawatan dan Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir.
2. Kelemahan Turbin Pelton :

Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air, sehingga memerlukan investasi yang lebih banyak. Menurut penelitian dari Pamungkas Irawan tentang efisiensi dari bentuk sudu mangkok dengan bentuk silinder tertutup dibelah dua dapat disimpulkan sebagai berikut: " Besarnya daya yang dihasilkan oleh system dipengaruhi oleh head (H), debit (Q), percepatan gravitasi (g) dan pembebanan generator pada tegangan yang konstan." (Muhammad Saleh Simamora, 2012)

Turbin adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Fluida yang bergerak menjadikan baling-baling berputar dan menghasilkan energi untuk menggerakkan rotor. Bagian turbin yang tidak berputar dinamakan stator atau rumah turbin. Roda turbin terletak didalam rumah turbin dan roda turbin memutar poros daya yang menggerakkan atau memutar bebannya yaitu generator, listrik, pompa, kompresor, baling-baling atau mesin lainnya. Didalam turbin, fluida kerja mengalami proses ekspansi, yaitu penurunan tekanan, dan mengalir secara kontinyu. Putaran yang dihasilkan oleh turbin mengakibatkan

poros turbin ikut bergerak dan kemudian putaran poros turbin akan diteruskan kegenerator listrik untuk diubah menjadi energi listrik.

Pada roda turbin terdapat sudu, sudu yaitu suatu konstruksi lempengan dengan bentuk dan penampang tertentu, air sebagai fluida kerja mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut, dengan demikian roda turbin akan dapat berputar dan pada sudu akan ada suatu gaya yang bekerja. Gaya tersebut akan terjadi karena ada perubahan momentum dari fluida kerja air yang mengalir diantara sudunya. Sudu hendaknya dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat terjadi perubahan momentum pada fluida kerja air tersebut (Juneidy, 2016) (Hanif Adi Rahmawan, 2018).



Gambar 1 Turbin Pelton

Dasar Persamaan Turbin Pelton Untuk menghitung parameter – parameter yang dapat diukur pada turbin pelton dapat digunakan persamaan sebagai berikut:
a. Meter Kolom Air Untuk mengetahui nilai Meter Kolom Air, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$H = (P_d - P_s) \times \frac{0,703 \text{ m}}{1 \text{ Psi}}$$

Dimana:

P_d = Tekanan Discharge (Psi)

P_s = Tekanan Suction (Psi)

H = Tinggi Jatuh Air (m)

b. Daya Teori Turbin Untuk mengetahui nilai Daya Teori Turbin, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$P = V \cdot H \cdot \rho \cdot g$$

Dimana:

P = Daya Teori Turbin (Watt)

V = Kapasitas Aliran Air (m^3/s)

H = Tinggi Jatuh Air (m)

ρ = Massa Jenis Air (Kg/m^3)

g = Gravitasi Bumi (m/s^2)

(Fritz Dietzel, 1993)

c. Rendemen Turbin Untuk mengetahui nilai Rendemen Turbin, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\eta T = \frac{PT}{P} \times 100 \%$$

Dimana:

ηT = Rendemen Turbin (%)

PT = Daya Output Aktual Turbin (Watt)

P = Daya Teori Turbin (Watt) (Fritz Dietzel, 1993)

d. Daya Listrik Input Untuk mengetahui nilai Daya Listrik Input, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Pin = Vo \cdot I$$

Dimana:

Pin = Daya Input Turbin (Watt)

Vo = Tegangan Input (Volt)

I = Kuat Arus Input (Ampere)

(Siregar, A.M. & Siregar, Chandra A. 2019) Electrical power, Pg is the power out of the generator in the form of voltage (V) and current (I). By measuring the amount of voltage generated, the amount of power generator can be written:

$$Pg = V \cdot I$$

e. Unjuk Kerja Turbin Untuk mengetahui nilai Unjuk Kerja Turbin, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\eta = \frac{PT}{Pin} \times 100 \%$$

Dimana:

η = Unjuk Kerja Turbin (%)

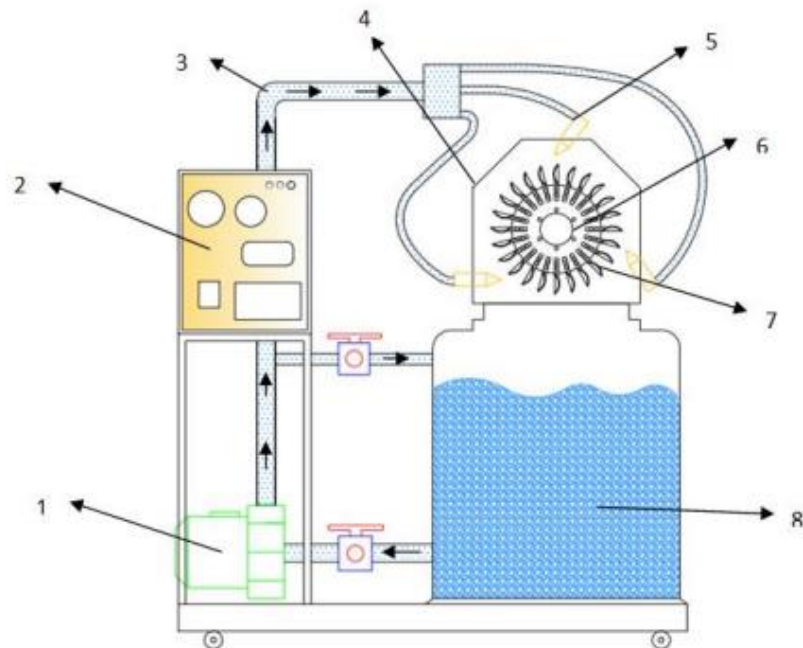
PT = Daya Output Aktual Turbin (Watt)

Pin = Daya Input Turbin (Watt)

2. METODE PENELITIAN

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

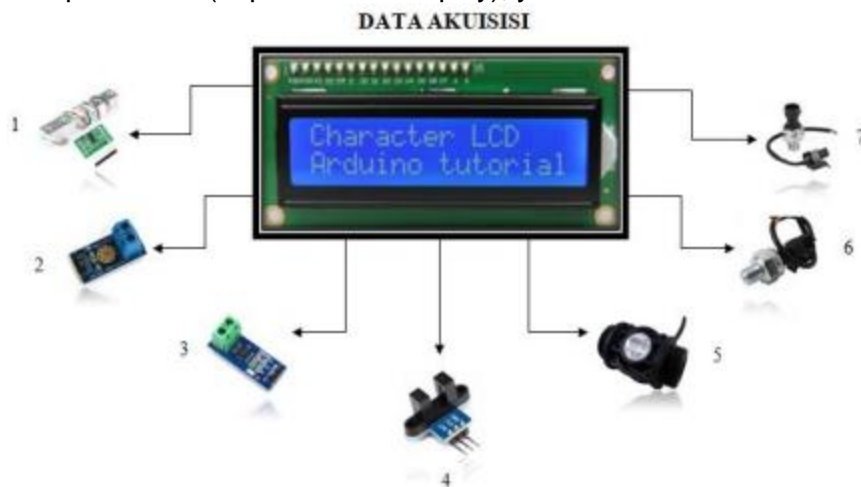
Alat yang Digunakan



Gambar 1 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 2 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. Memeriksa instalasi Turbin Pelton.
2. Mengisi air kedalam drum air hingga terisi berkisar $\frac{3}{4}$ volume drum.
3. Tutup Rumah Turbin.
4. Sambungkan cok listrik turbin pelton ke sumber listrik 3 fasa.
5. Dinyalakan MCB, Inverter Frekuensi dan LCD.
6. Jalankan program Arduino yang sudah diprogram melalui laptop, kemudian dihubungkan ke LCD.
7. Mengatur head menggunakan Inverter frekuensi sebesar 8,6 m (40 Hz), dan pastikan Inverter DC to AC pada keadaan ON untuk data dengan beban.
8. Saat runner Turbin sudah berputar, lihat data beban, kecepatan alir, kuat arus, tegangan, tekanan suction, tekanan discharge yang tertera pada LCD kemudian dicatat data tersebut.
9. Melihat kecepatan putaran generator dengan menggunakan tachometer digital yang dihubungkan pada poros generator, kemudian dicatat kecepatan putaran tersebut.
10. Melihat daya output pada LCD, lalu lihat lampu yang menyala pada saat pengujian, kemudian dicatat data tersebut.
11. Ulangi langkah 1 – 4 dengan mengatur head menggunakan inverter frekuensi sebesar 8,3 m (44 Hz) dan 8,1 m (48 Hz) untuk mendapatkan data selanjutnya.
12. Mengatur kembali frekuensi ke 0 Hz, kemudian OFF-kan Inverter DC to AC.
13. Di OFF-kan alat pengukuran, OFF-kan MCB, lepas cok listrik turbin pelton dari sumber listrik 3 fasa. Buka rumah turbin kemudian di buang air dari dalam drum air. Lalu disimpan kembali peralatan.
14. Mengolah data penelitian yang didapatkan.
15. Menganalisa data penelitian untuk mengetahui hubungan antara variabel yang telah ditentukan. Menarik kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan.

3. HASIL

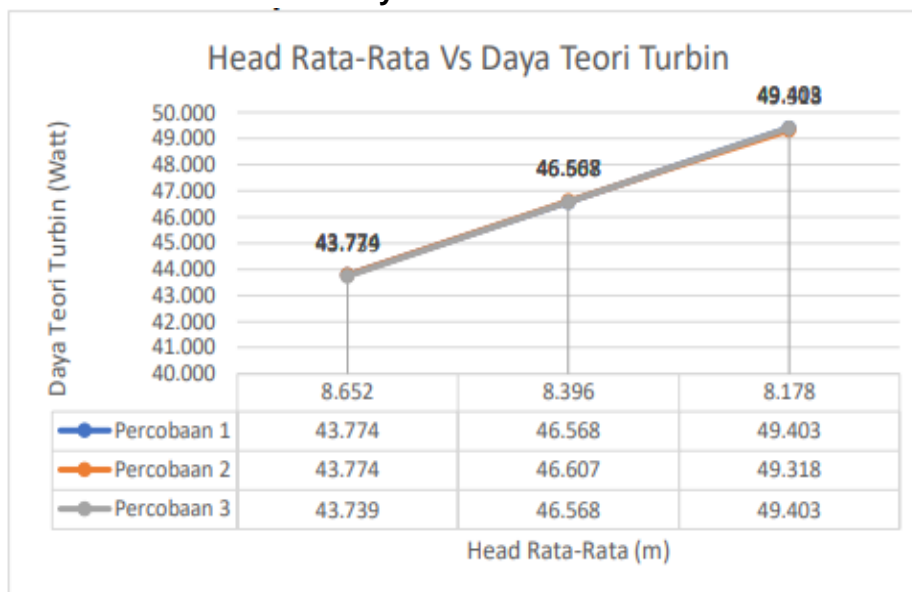
Tabel 1 Hasil Analisa Penelitian Dengan Beban Lampu

No.	Variasi Frekuensi (Hz)	Meter Kolom Air / Head (m)	Head Rata-Rata (m)	Kecepatan Alir Air (Lpm)	Daya Teori Turbin (Watt)	Rendemen Turbin (%)	Daya Listrik Input (Watt)	Daya Listrik Output (Watt)	Unjuk Kerja Turbin (%)
1.	40	8,654	8,652	31	43,774	17,476	11,414	7,65	67,023
		8,654			43,774	17,385	11,352	7,61	67,037
		8,647			43,739	17,399	11,367	7,61	66,947
2.	44	8,394	8,396	34	46,568	42,154	25,654	19,63	76,519
		8,401			46,607	42,054	25,627	19,60	76,481
		8,394			46,568	42,154	25,641	19,63	76,558
3.	48	8,183	8,178	37	49,403	59,146	30,567	29,22	95,593
		8,169			49,318	59,187	30,497	29,19	95,716
		8,183			49,403	59,106	30,547	29,20	95,591

4. PEMBAHASAN

Grafik Analisa Data

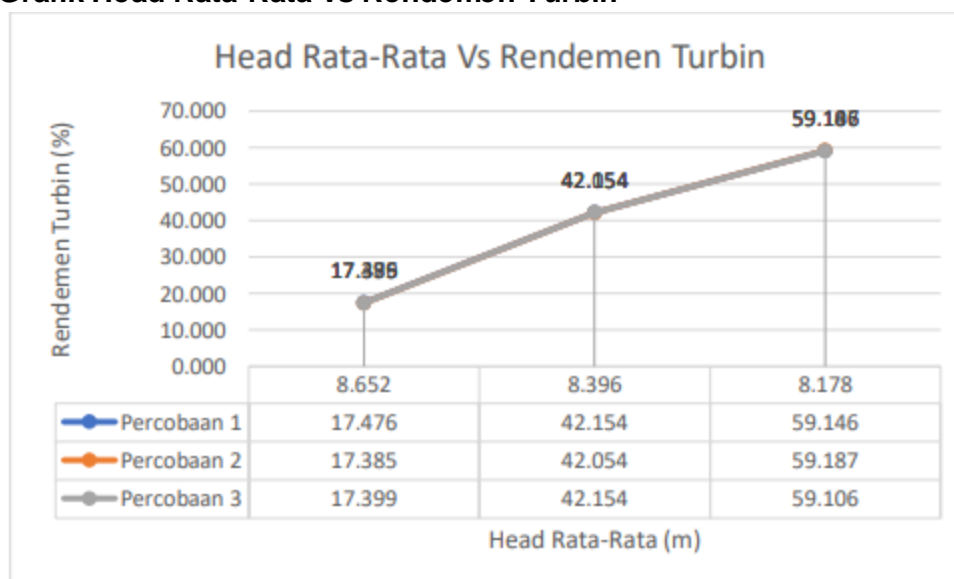
1. Grafik Head Rata-Rata Vs Daya Teori Turbin



Gambar 3 Grafik Head Rata-Rata Vs Daya Teori Turbin

Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa head rata-rata 8,178 m dan kecepatan alir air 37 Lpm pada percobaan 1 dan 3 menghasilkan daya teori yang paling besar yaitu 49,403 Watt dan head rata-rata 8,652 m dan kecepatan alir air 31 Lpm pada percobaan 3 menghasilkan daya teori paling kecil yaitu 43,739 Watt.

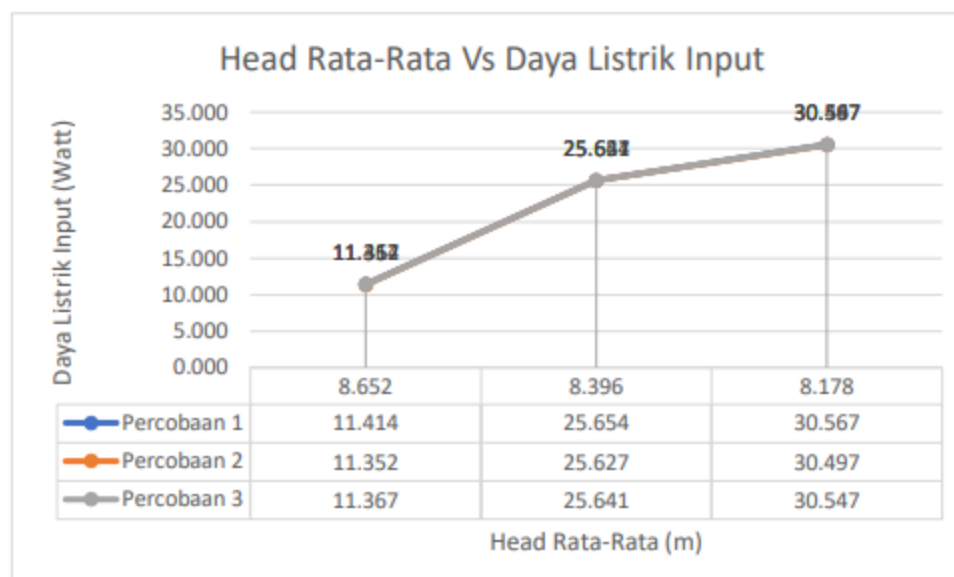
2. Grafik Head Rata-Rata Vs Rendemen Turbin



Gambar 4 Grafik Head Rata-Rata Vs Rendemen Turbin

Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa head rata-rata 8,652 m percobaan 2 menghasilkan rendemen paling kecil yaitu 17,385 %, sementara pada head rata-rata 8,178 m percobaan 2 menghasilkan rendemen paling tinggi yaitu 59,187 %.

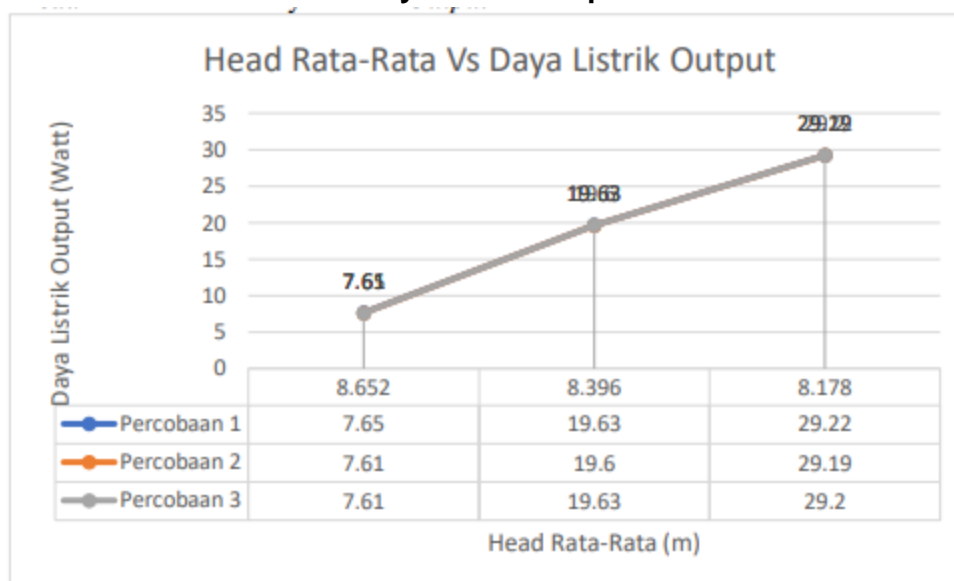
3. Grafik Head Rata-Rata Vs Daya Listrik Input



Gambar 5 Grafik Head Rata-Rata Vs Daya Listrik Input

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa Head rata-rata 8,652 m pada percobaan 2 menghasilkan daya listrik input paling kecil yaitu 11,352 Watt, sementara Head rata-rata 8,178 m pada percobaan 1 menghasilkan daya listrik input paling besar yaitu 30,567 Watt.

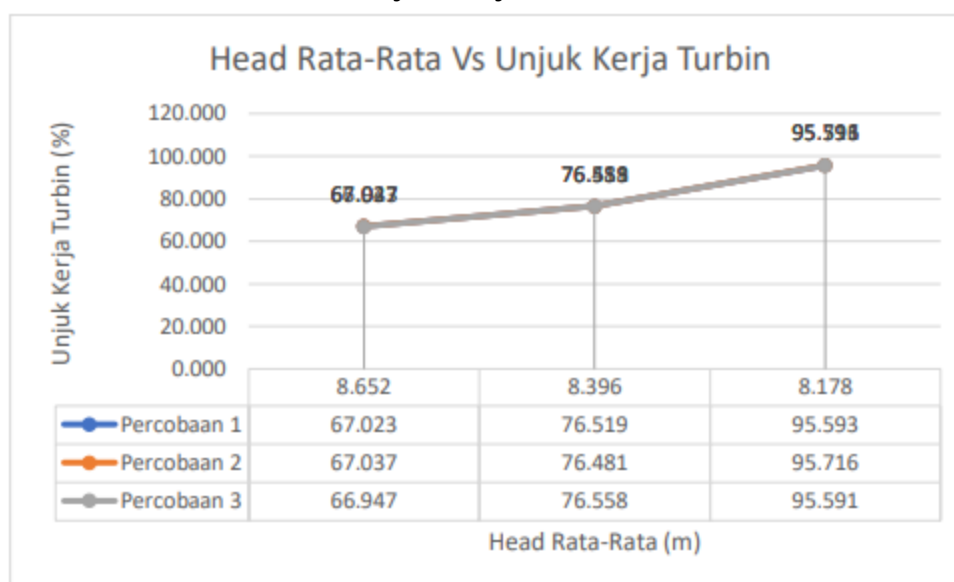
4. Grafik Head Rata-Rata Vs Daya Listrik Output



Gambar 6 Grafik Head Rata-Rata Vs Daya Listrik Output

Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa Head rata-rata 8,652 m percobaan 2 dan 3 menghasilkan daya listrik output paling kecil yaitu 7,61 Watt, sementara Head rata-rata 8,178 m percobaan 1 menghasilkan daya listrik output paling besar yaitu 29,22 Watt.

5. Grafik Head Rata-Rata Vs Unjuk Kerja Turbin



Gambar 7 Grafik Head Rata-Rata Vs Unjuk Kerja Turbin

Dari gambar 7 dapat dilihat bahwa Head rata-rata 8,652 m percobaan 3 menghasilkan unjuk kerja paling kecil yaitu 66,947 %, sementara Head rata-rata 8,178 m percobaan 2 menghasilkan unjuk kerja paling besar yaitu 95,716 %.

5. KESIMPULAN

Dari hasil yang didapatkan pada studi eksperimental pengaruh tinggi jatuh air (Head) yang sudah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Karena menggunakan Turbin Pelton Skala Mikro, penentuan Head dilakukan dengan cara mengatur frekuensi pompa kemudian didapat hasil perbedaan tekanan discharge dan tekanan suction pompa, kemudian perbedaan tekanan discharge dan tekanan suction pompa tersebut dikonversi menjadi meter kolom air sebagai Head untuk pengujian.
2. Rendemen Turbin yang paling tinggi pada pengujian Turbin Pelton Skala Mikro adalah 59,187 % dengan Head yang digunakan 8,169 m percobaan ke 2.
3. Unjuk kerja yang paling tinggi pada pengujian Turbin Pelton Skala Mikro adalah 95,716 % dengan Head yang digunakan 8,169 m percobaan ke 2.

REFERENSI

- 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, Delvi Karlini, 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.
- 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., & Ilmi, 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 Lentutan. *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).