

SIMULASI PERFORMANCE TURBIN PELTON MENGGUNAKAN SOFTWARE COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) SOLIDWORKS STUDENTS

Teguh Syafmedio¹, Suryadimal²

1)Jurusan Teknik Mesin, 2)Universitas Bung Hatta (UBH)

Jl.Gajah Mada No.19 Olo Nanggalo Padang, Sumatera Barat 25143

Email : teguhsyafmedio13@gmail.com Email : suryadimal@bunghatta.ac.id

ABSTRAK

Turbin pelton merupakan turbin yang bekerja dengan prinsip impuls, semua energi tinggi dan tekanan yang masuk ke sudu-sudu turbin dirubah menjadi energi mekanis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari perbedaan jumlah sudu turbin dan variasi Kecepatan Aliran Air terhadap Daya Turbin dan efisiensinya. Penelitian ini dilakukan dengan metode Simulasi menggunakan software Computational Fluid Dynamics (CFD) Solidworks Students dengan variasi Jumlah Sudu Turbin Pelton 20, 22 dan 24 buah serta variasi kecepatan aliran air 5m/s, 8m/s dan 11m/s. Hasilnya menunjukkan pada debit air 0,0084m³/s dengan Jumlah Sudu 20 buah didapatkan Daya Turbin maksimal sebesar 5099,74W dan Efisiensinya 8,28, sedangkan pada Jumlah Sudu 22 buah didapatkan Daya Turbin Maksimal sebesar 3121,47W dan Efisiensinya 6,13, lalu dengan Jumlah Sudu 24 buah didapatkan Daya Turbin Maksimal sebesar 5341,11W dan Efisiensi 10,83. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa Jumlah Sudu dan Kecepatan aliran air mempengaruhi Daya dan Efisiensi Turbin Pelton.

Kata Kunci : Turbin Pelton, Simulasi, Jumlah Sudu, Kecepatan Aliran Air, Daya Turbin, Efisiensi

Pendahuluan

Pada masa sekarang ini perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi meningkat dengan pesat. Disamping perkembangan tersebut kebutuhan akan sumber energi terutama listrik juga ikut meningkat. Salah satu pembangkit listrik yang digunakan di Indonesia adalah PLTA. PLTA menggunakan turbine air sebagai mesin konversi energinya, jenis turbine yang dipakai turbin pelton.

Menurut **C, Zeng, dkk (2018)**. Dalam simulasi aliran pada turbin pelton dengan empat nosel menunjukkan terjadinya fluktuasi tekanan yang sangat rendah dimana rugi aliran air sebesar 10-25%.

Sementara **L. Alvear Pérez, dkk (2020)** menyatakan bahwa untuk merancang pembangkit tenaga listrik di unit perumahan dapat menggunakan solidworks dan dibantu menggunakan simulasi CFD terhadap turbin pico-hidrolik. Simulasi yang dikembangkan dengan model yang dibuat di SolidWorks dan bantuan perangkat lunak ANSYS CFX dimana konfigurasi dipengaruhi oleh tekanan dan kecepatan aliran. Disamping itu juga ditentukan oleh Kondisi batas yang akan mempengaruhi pengoperasian turbin.

G. Tiwari, dkk (2020) menyarankan untuk solusi numerik analisa turbin dengan menggunakan Computational fluid dynamics (CFD). Pada desain hidrolik dan evaluasi kinerja turbin air dengan kondisi batas dan pemodelan turbulensi untuk menangkap

fenomena hidrodinamik yang berbeda pada desain dan operasi off-design turbin hidrolik.

Menurut **D. Borkowski, dkk(2019)**. Pada simulasi Hidro-set menggunakan computational fluid dynamics (CFD) pada Ansys Fluent v18.0. didapatkan kerugian daya mekanis dicelah hidro-set yang menunjukkan terjadinya kerugian yang signifikan dan harus dipertimbangkan dalam perhitungan kinerja.

Menurut **Židonis and Aggidis, (2016)**. Ada tiga parameter yang saling memiliki keterkaitan erat pada turbin pelton yaitu jumlah bucket, posisi radial bucket dan posisi sudut bucket. Židonis and Aggidis membahas tema dampak dari pengurangan jumlah bucket melebihi batas yang disarankan oleh literatur yang tersedia dapat meningkatkan efisiensi dari turbin pelton tersebut.

Seperti yang telah dijelaskan diatas, ada beberapa parameter yang dapat mempengaruhi efisiensi dan performance dari turbin pelton yaitu jumlah sudu, posisi radial sudu dan posisi sudut bucket/sudu.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan debit air yang dimulai dari saluran pipa menuju ke turbin pelton, pengaruh dari perbedaan Jumlah Sudu Turbin terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Pelton.

Tinjauan Pustaka

Turbin pelton merupakan pengembangan dari turbin *impuls* yang ditemukan oleh **S.N.Knight tahun 1872** dan **N.J. Colena** tahun 1873 dengan memasang

mangkok-mangkok pada roda turbin. Setelah itu turbin impuls dikembangkan lagi oleh orang amerika **Lester G. Pelton (1880)** dengan melakukan perbaikan dan penerapan mangkok ganda simetris. Pada bagian punggung membelah dan membagi jet menjadi dua paruh yang sama yang dibalikan menyamping.



Gambar 1 Turbin Pelton

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) = 50 s.d 1000 meter. Debit air = 4 s.d 15 m³/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 masuk ke sudu-sudu turbin dirubah menjadi energi kecepatan. Pancaran air tersebut yang akan menjadi gaya *tangensial* F yang bekerja pada sudu-sudu turbin. Turbin pelton beroperasi pada tinggi jatuh air yang besar. Tinggi air jatuh air 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*.

Berikut parameter yang digunakan dalam penelitian ini :

1. Perhitungan Potensi Daya Air (Q)

$$Q = v \times A$$

Dimana : Q = Laju Aliran Volume (m³/s)

v = Kecepatan Aliran Air (m/s)

A = Luas Penampang (m²)

2. Kecepatan Mutlak Jet (C₁)

$$C_1 = Kc \sqrt{2 \times g \times H}$$

Dimana : Kc = Koefisien Jet = 0,96

H = Head (m)

3. Diameter Jet Optimal (d)

$$d = \frac{\sqrt{4 \times Q}}{\pi C_1}$$

4. Kecepatan Keliling Optimal (U₁)

$$U_1 = Ku \sqrt{2 \times g \times H}$$

Dimana : Ku = Koefisien Keliling Optimal = 0,43

5. Diameter Lingkaran Tusuk (Dlt)

$$Dlt = \frac{60 \times U_1 \times i}{\pi \times N_g}$$

6. Jumlah bucket/sudu (z)

$$z = \frac{\sqrt{Dlt}}{d}$$

7. Lebar Bucket/sudu (b)

$$b = 2,5 \times d$$

8. Tinggi Bucket/sudu (t)

$$t = 2,1 \times d$$

9. Lebar Bukaian Bucket/sudu (a)

$$a = 1,2 \times d$$

10. Kedalaman Bucket/sudu (td)

$$td = 0,9 \times d$$

11. Diameter luar runner (D_0)

$$D_0 = D_{lt} \times h$$

12. Daya Hidrolis (P_h)

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

13. Daya Turbin (P_t)

$$P_t = T \omega$$

14. Efisiensi Turbin (η)

$$\eta = \frac{P_t}{P_h} 100\%$$

lengkap dengan fitur CFD didalamnya. Dimana seluruh pengujian akan dilakukan menggunakan *software solidworks 2021 students*, sebelum dilaksanakannya penelitian terlebih dahulu dilakukan pengecekan bahwa tidak ada error yang terdapat difitur-fitur *software Solidworks 2021 Students* yang akan digunakan untuk penelitian ini. Selanjutnya yaitu tahapan penelitian. Tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Tahapan pembuatan rancangan Turbin Pelton
2. Pengecekan hasil rancangan
3. Tahapan pengujian

Tahapan hasil pengujian dapat diperinci sebagai berikut:

- a. Desain 3D Turbin Pelton yang akan d simulasikan.
- b. Memasukkan data awal yang akan diujikan dengan metode simulasi
- c. Melakukan proses simulasi serta menunggu simulasi selesai.
- d. Simulasi selesai dan data hasil pengujian didapatkan
4. Akhir pengujian

Setelah proses pengujian dengan metode simulasi telah selesai dilakukan, selanjutnya dilakukan penyusunan laporan hasil pengujian.

Hasil dan Pembahasan

• Data Hasil Rancangan

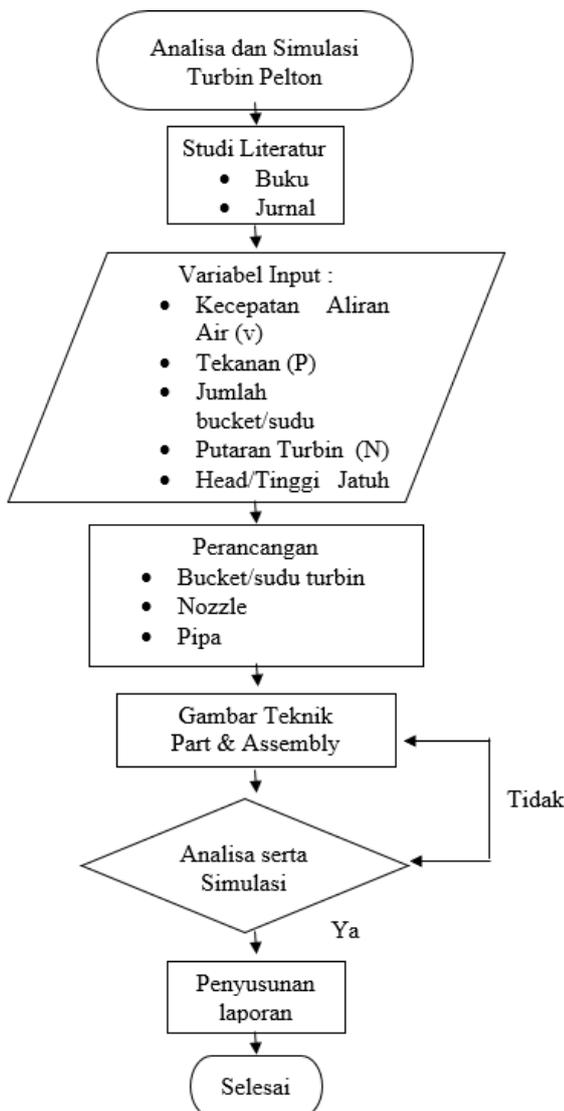
- Nozzle

Tabel 1 Hasil Perhitungan Nozzle

No	Parameter	Nilai
1	Kecepatan Pancaran (C_1)	10,41 m/s
2	Diameter Pancaran Nozzle (d_0)	11,8 mm
3	Luas Pancaran Air (A)	109,3 mm ²
4	Jari-jari Bukaannya Nozzle (R_1)	8,26 mm
5	Clearance antara Jarum dengan Nozzle (c)	7,43 mm

- Sudu dan Runner Turbin

Metodologi Penelitian



Prosedur pengujian penelitian

Prosedur dalam penelitian ini yang pertama adalah persiapan software yang akan digunakan yaitu *Solidworks 2021 Students* yang sudah

Tabel 2 Hasil Perhitungan Sudu dan Runner

No	Parameter	Nilai
1	Diameter Runner (D)	162 mm
2	Perhitungan Jumlah Sudu (z)	22
3	Lebar Sudu (b)	31,9 mm
4	Panjang Sudu (h)	37,8 mm
5	Diameter Luar Runner (D ₀)	207 mm
6	Kedalaman Sudu (t)	9,44 mm
7	Lebar Bukaannya Sudu (a)	19,16 mm
8	Kedalaman Bukaannya Sudu (h ₁)	4,13 mm
9	Jarak Bukaannya Sudu dengan Pusat Pancaran Air (h ₂)	12,98 mm

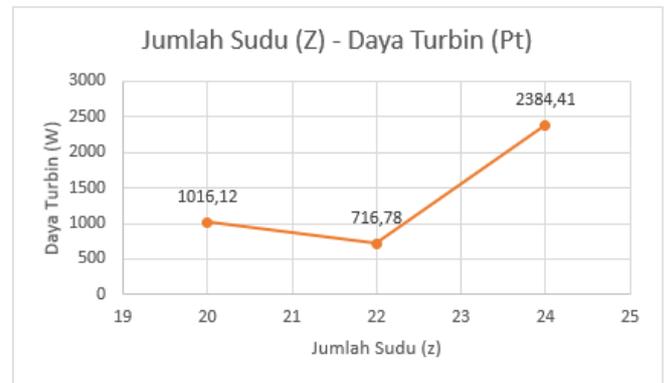
• **Data Input pada Simulasi**

Tabel 3 Data Input Simulasi

No	Parameter	Nilai
1	Kecepatan Aliran Air (v)	- V ₁ 5 m/s
		- V ₂ 8 m/s
		- V ₃ 11 m/s
2	Tekanan Air (P)	5 atm
3	Putaran Turbin (N)	550 rpm
4	Tinggi Jatuh Air (H)	6 m
5	Jumlah Sudu Turbin	- Z ₁ 20
		- Z ₂ 22
		- Z ₃ 24
6	Nozzle	1

• **Hasil Pengujian**

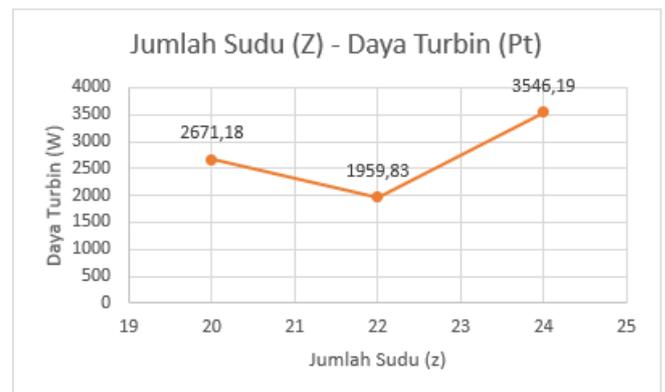
1. Pengaruh Jumlah Sudu Turbin terhadap Daya Turbin
 - Kecepatan aliran air 5 m/s



Gambar 1 Jumlah Sudu - Daya Turbin

Pada grafik diatas terlihat hubungan antara jumlah sudu turbin dengan daya turbin. Pada jumlah sudu turbin 20 buah daya turbin yang dihasilkan sebesar 1016,12 W, ketika jumlah sudu nya diganti menjadi 22 buah terjadi penurunan daya yang dihasilkan oleh turbin menjadi 716,78 W. Lalu pada saat jumlah sudu turbin 24 buah terjadi peningkatan daya yang dihasilkan turbin menjadi 2384,41 W. Jadi fenomena turunnya sebuah daya terjadi akibat kurangnya efektifitas turbin menerima daya air dan sebagian aliran air yang tidak dapat diterima cenderung menjadi faktor kerugian yang menyebabkan beban pada turbin saat sudu yang lain melakukan gerak balik.

- Kecepatan aliran air 8 m/s

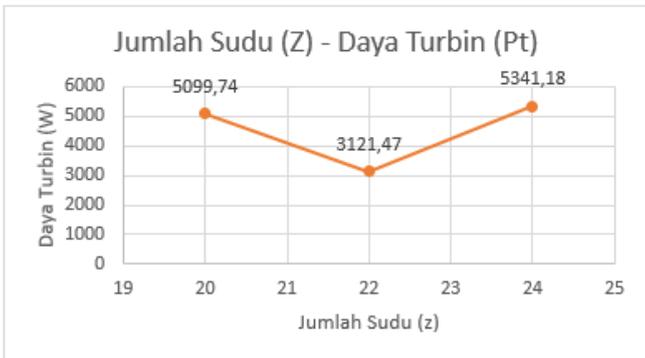


Gambar 2 Jumlah Sudu - Daya Turbin

Pada grafik diatas terlihat hubungan antara jumlah sudu turbin dengan daya turbin. Pada jumlah sudu turbin 20 buah daya turbin yang dihasilkan sebesar 2671,18 W, ketika jumlah sudu nya diganti menjadi 22 buah terjadi penurunan daya yang dihasilkan oleh turbin menjadi 1959,83 W. Lalu pada saat jumlah sudu turbin 24 buah terjadi peningkatan daya yang dihasilkan turbin menjadi 3546,19 W. Jadi fenomena turunnya sebuah daya terjadi akibat kurangnya efektifitas turbin menerima daya air

dan sebagian aliran air yang tidak dapat diterima cenderung menjadi faktor kerugian yang menyebabkan beban pada turbin saat sudu yang lain melakukan gerak balik.

- Kecepatan aliran air 11 m/s

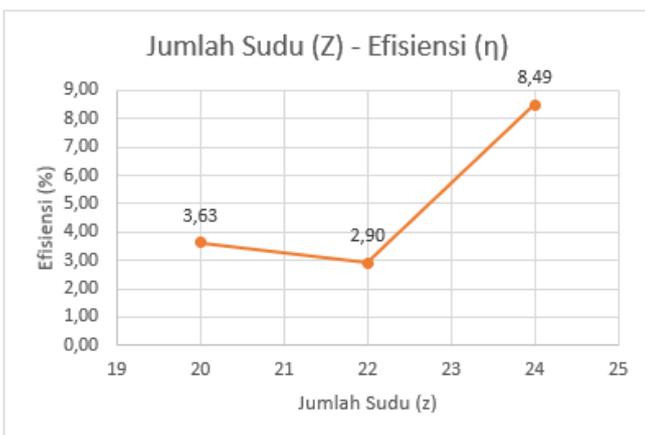


Gambar 3 Jumlah Sudu - Daya Turbin

Pada grafik diatas terlihat hubungan antara jumlah sudu turbin dengan daya turbin. Pada jumlah sudu turbin 20 buah daya turbin yang dihasilkan sebesar 5099,74 W, ketika jumlah sudu nya diganti menjadi 22 buah terjadi penurunan daya yang dihasilkan oleh turbin menjadi 3121,47 W. Lalu pada saat jumlah sudu turbin 24 buah juga terjadi penurunan daya yang dihasilkan turbin menjadi 5341,18 W. Jadi fenomena turunnya sebuah daya terjadi akibat kurangnya efektifitas turbin menerima daya air dan sebagian aliran air yang tidak dapat diterima cenderung menjadi faktor kerugian yang menyebabkan beban pada turbin saat sudu yang lain melakukan gerak balik.

2. Pengaruh Jumlah Sudu Turbin terhadap Efisiensi Turbin

- Kecepatan aliran air 5 m/s

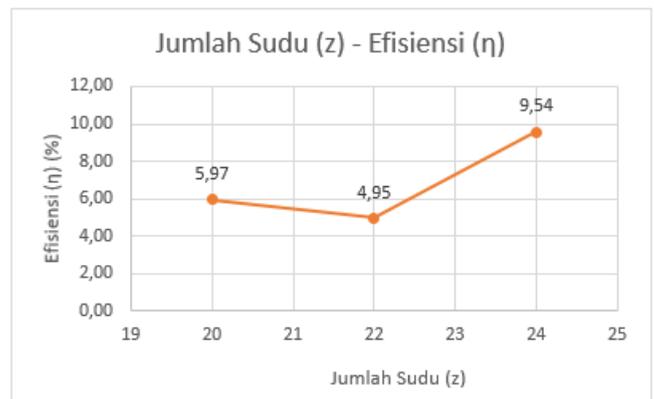


Gambar 4 Jumlah Sudu – Efisiensi

Pada grafik diatas terlihat hubungan antara jumlah sudu turbin dengan efisiensi turbin. Pada jumlah sudu turbin 20 buah efisiensi turbin yang

didapatkan sebesar 3,63, ketika jumlah sudu nya diganti menjadi 22 buah terjadi penurunan efisiensi yang didapatkan oleh turbin menjadi 2,90 . Lalu pada saat jumlah sudu turbin 24 buah terjadi peningkatan efisiensi yang didapatkan turbin menjadi 8,49. Jadi fenomena turunnya sebuah efisiensi terjadi akibat kurangnya efektifitas turbin menerima daya air dan sebagian aliran air yang tidak dapat diterima cenderung menjadi faktor kerugian yang menyebabkan beban pada turbin saat sudu yang lain melakukan gerak balik.

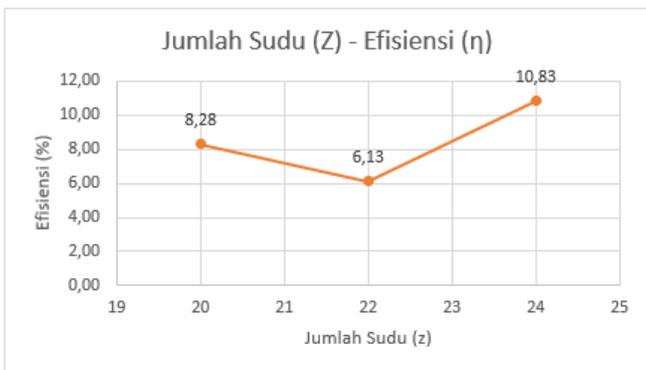
- Kecepatan aliran air 8 m/s



Gambar 5 Jumlah Sudu – Efisiensi

Pada grafik diatas terlihat hubungan antara jumlah sudu turbin dengan efisiensi turbin. Pada jumlah sudu turbin 20 buah efisiensi turbin yang didapatkan sebesar 5,97, ketika jumlah sudu nya diganti menjadi 22 buah terjadi penurunan efisiensi yang didapatkan oleh turbin menjadi 4,95. Lalu pada saat jumlah sudu turbin 24 buah terjadi peningkatan efisiensi yang didapatkan turbin menjadi 9,54. Jadi fenomena turunnya sebuah efisiensi terjadi akibat kurangnya efektifitas turbin menerima daya air dan sebagian aliran air yang tidak dapat diterima cenderung menjadi faktor kerugian yang menyebabkan beban pada turbin saat sudu yang lain melakukan gerak balik.

- Kecepatan aliran air 11 m/s



Gambar 6 Jumlah Sudu – Efisiensi

Pada grafik diatas terlihat hubungan antara jumlah sudu turbin dengan efisiensi turbin yang mana jumlah sudu mempengaruhi kinerja dari turbin pelton. Pada jumlah sudu turbin 20 buah efisiensi turbin yang didapatkan sebesar 8,28, ketika jumlah sudu turbin 22 buah terjadi penurunan efisiensi yang didapatkan oleh turbin menjadi 6,13. Lalu pada saat jumlah sudu turbin 24 buah terjadi peningkatan efisiensi yang didapatkan turbin menjadi 10,83.

3. Pengaruh Kecepatan Aliran Air terhadap Daya Turbin
 - Jumlah Sudu 20 buah

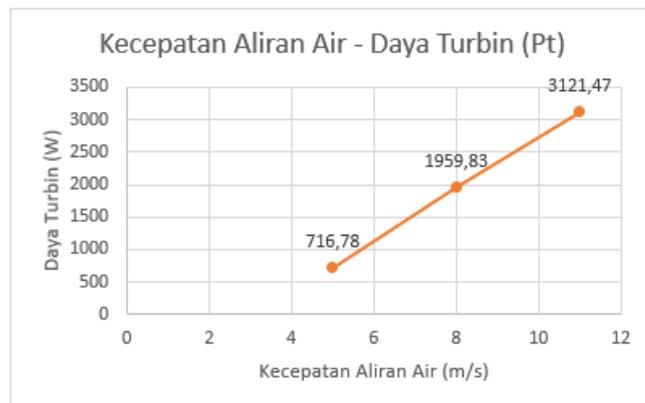


Gambar 7 Kecepatan Aliran Air - Daya Turbin

Pada grafik diatas terlihat bahwa dengan jumlah sudu 20 buah Daya Turbin tertinggi yang dihasilkan oleh Turbin Pelton dengan kecepatan aliran air 11 m/s yaitu 5099,74 W. Pada kecepatan tinggi didapatkan didapatkan Daya yang tinggi dikarenakan oleh jeda air yang mengenai sudu Turbin lebih cepat dibandingkan pada Turbin yang memiliki kecepatan rendah. Daya Turbin dipengaruhi oleh massa jenis air, percepatan gravitasi, tinggi jatuh air dan debit aliran air yang mana debit aliran air juga dipengaruhi oleh kecepatan aliran air dan luas penampang. Oleh karena itu semakin tinggi kecepatan aliran air maka Daya yang dihasilkan oleh Turbin akan semakin besar, begitu pula sebaliknya semakin

rendah kecepatan aliran air maka Daya yang dihasilkan oleh Turbin akan semakin kecil.

- Jumlah Sudu 22 buah



Gambar 8 Kecepatan Aliran Air - Daya Turbin

Pada grafik diatas terlihat bahwa dengan jumlah sudu 22 buah Daya Turbin tertinggi yang dihasilkan oleh Turbin Pelton dengan kecepatan aliran air 11 m/s yaitu 3121,47 W. Pada kecepatan tinggi didapatkan Daya yang tinggi dikarenakan oleh jeda air yang mengenai sudu Turbin lebih cepat dibandingkan pada Turbin yang memiliki kecepatan rendah. Daya Turbin dipengaruhi oleh massa jenis air, percepatan gravitasi, tinggi jatuh air dan debit aliran air yang mana debit aliran air juga dipengaruhi oleh kecepatan aliran air dan luas penampang. Oleh karena itu semakin tinggi kecepatan aliran air maka Daya yang dihasilkan oleh Turbin akan semakin besar, begitu pula sebaliknya semakin rendah kecepatan aliran air maka Daya yang dihasilkan oleh Turbin akan semakin kecil.

- Jumlah Sudu 24 buah



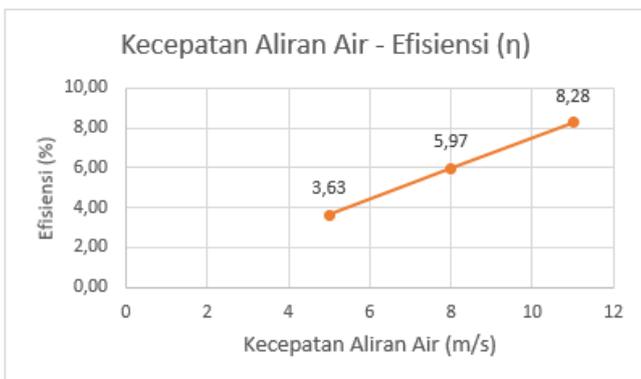
Gambar 9 Kecepatan Aliran Air - Daya Turbin

Pada grafik diatas terlihat bahwa dengan jumlah sudu 24 buah Daya Turbin tertinggi yang

dihasilkan oleh Turbin Pelton dengan kecepatan aliran air 11 m/s yaitu 5341,18 W. Pada kecepatan tinggi didapatkan Daya yang tinggi dikarenakan oleh jeda air yang mengenai sudu Turbin lebih cepat dibandingkan pada Turbin yang memiliki kecepatan rendah. Daya Turbin dipengaruhi oleh massa jenis air, percepatan gravitasi, tinggi jatuh air dan debit aliran air yang mana debit aliran air juga dipengaruhi oleh kecepatan aliran air dan luas penampang. Oleh karena itu semakin tinggi kecepatan aliran air maka Daya yang dihasilkan oleh Turbin akan semakin besar, begitu pula sebaliknya semakin rendah kecepatan aliran air maka Daya yang dihasilkan oleh Turbin akan semakin kecil.

4. Pengaruh Kecepatan Aliran Air terhadap Efisiensi

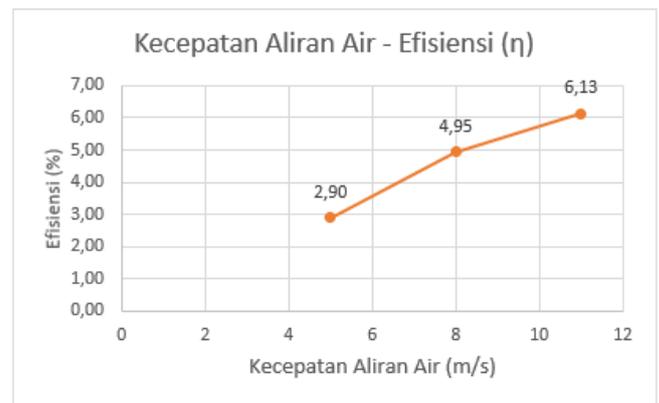
- Jumlah Sudu 20 buah\



Gambar 10 Kecepatan Aliran Air – Efisiensi

Pada grafik diatas terlihat bahwa dengan jumlah sudu 20 buah Efisiensi tertinggi yang didapatkan oleh Turbin Pelton dengan kecepatan aliran air 11 m/s yaitu 8,28. Efisiensi dipengaruhi oleh Daya output dibagi dengan Daya input, lalu Daya juga dipengaruhi oleh massa jenis air, percepatan gravitasi tinggi jatuh air dan debit aliran air yang mana debit juga dipengaruhi oleh kecepatan aliran air dan luas penampang. Oleh karena itu, kecepatan aliran air juga mempengaruhi besar kecilnya efisiensi yang dihasilkan oleh turbin yang mana semakin tinggi kecepatan aliran air maka efisiensi yang dihasilkan turbin akan semakin besar, begitu pula sebaliknya semakin rendah kecepatan aliran air maka efisiensi yang dihasilkan oleh turbin akan semakin kecil.

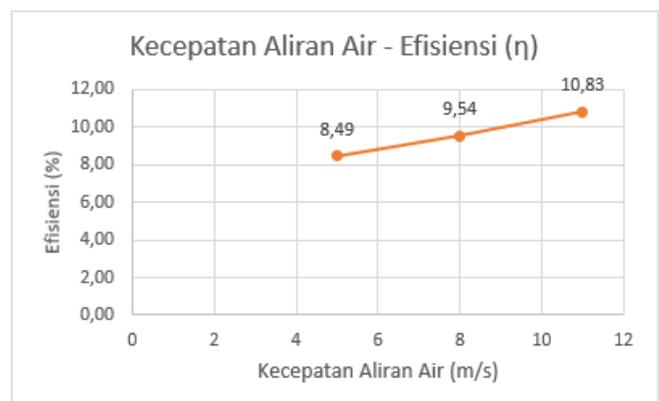
- Jumlah Sudu 22 buah



Gambar 11 Kecepatan Aliran Air – Efisiensi

Pada grafik diatas terlihat bahwa dengan jumlah sudu 22 buah Efisiensi tertinggi yang didapatkan oleh Turbin Pelton dengan kecepatan aliran air 11 m/s yaitu 6,13. Efisiensi dipengaruhi oleh Daya output dibagi dengan Daya input, lalu Daya juga dipengaruhi oleh massa jenis air, percepatan gravitasi tinggi jatuh air dan debit aliran air yang mana debit juga dipengaruhi oleh kecepatan aliran air dan luas penampang. Oleh karena itu, kecepatan aliran air juga mempengaruhi besar kecilnya efisiensi yang dihasilkan oleh turbin yang mana semakin tinggi kecepatan aliran air maka efisiensi yang dihasilkan turbin akan semakin besar, begitu pula sebaliknya semakin rendah kecepatan aliran air maka efisiensi yang dihasilkan oleh turbin akan semakin kecil.

- Jumlah Sudu 24 buah



Gambar 12 Kecepatan Aliran Air – Efisiensi

Pada grafik diatas terlihat bahwa dengan jumlah sudu 24 buah Efisiensi tertinggi yang didapatkan oleh Turbin Pelton dengan kecepatan aliran air 11 m/s yaitu 10,83. Efisiensi dipengaruhi oleh Daya output dibagi dengan Daya input, lalu Daya juga dipengaruhi oleh massa jenis air, percepatan gravitasi tinggi jatuh

air dan debit aliran air yang mana debit juga dipengaruhi oleh kecepatan aliran air dan luas penampang. Oleh karena itu, kecepatan aliran air juga mempengaruhi besar kecilnya efisiensi yang dihasilkan oleh turbin yang mana semakin tinggi kecepatan aliran air maka efisiensi yang dihasilkan turbin akan semakin besar, begitu pula sebaliknya semakin rendah kecepatan aliran air maka efisiensi yang dihasilkan oleh turbin akan semakin kecil.

Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan analisa data simulasi pada turbin pelton, dapat disimpulkan bahwa :

1. Pengurangan dan penambahan jumlah sudu pada turbin pelton dapat mempengaruhi daya output yang didapatkan oleh turbin pelton.
2. Daya Turbin tertinggi yang didapatkan dengan kecepatan 11 m/s yaitu 5341,18 W pada Turbin dengan sudu 24 buah.
3. Efisiensi Turbin tertinggi yang didapatkan dengan kecepatan 11 m/s yaitu 10,83 pada turbin dengan sudu 24 buah.
4. Debit tertinggi yang dihasilkan oleh Turbin pelton 0,0084 m³/s pada kecepatan 11m/s dengan jumlah sudu 24 buah.

Daftar Pustaka

- [1] C. Zeng *et al.*, “Hydraulic performance prediction of a prototype four-nozzle Pelton turbine by entire flow path simulation,” *Renew. Energy*, vol. 125, pp. 270–282, 2018, doi: 10.1016/j.renene.2018.02.075.
- [2] L. C. Alvear Pérez, M. J. Anaya Acosta, and C. A. Pedraza Yepes, “CFD simulation data of a pico-hydro turbine,” *Data Br.*, vol. 33, 2020, doi: 10.1016/j.dib.2020.106596.
- [3] G. Tiwari, J. Kumar, V. Prasad, and V. K. Patel, “Utility of CFD in the design and performance analysis of hydraulic turbines — A review,” *Energy Reports*, vol. 6, pp. 2410–2429, 2020, doi: 10.1016/j.egy.2020.09.004.
- [4] D. Borkowski, M. Węgiel, P. Ocloń, and T. Węgiel, “CFD model and experimental verification of water turbine integrated with electrical generator,” *Energy*, vol. 185, pp. 875–883, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.07.091.
- [5] Y. Nishi, Y. Yahagi, T. Okazaki, and T. Inagaki,

“Effect of flow rate on performance and flow field of an undershot cross-flow water turbine,” *Renew. Energy*, vol. 149, pp. 409–423, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.12.023.

- [6] D. Jiyun, S. Zhicheng, and Y. Hongxing, “Performance enhancement of an inline cross-flow hydro turbine for power supply to water leakage monitoring system,” *Energy Procedia*, vol. 145, pp. 363–367, 2018, doi: 10.1016/j.egypro.2018.04.065.
- [7] A. Židonis and G. A. Aggidis, “Pelton turbine: Identifying the optimum number of buckets using CFD,” *J. Hydrodyn.*, vol. 28, no. 1, pp. 75–83, 2016, doi: 10.1016/S1001-6058(16)60609-1.
- [8] S. Aldeen Saad Obayes and M. Abdul Khaliq Qasim, “Effect of Flow Parameters on Pelton Turbine Performance by Using Different Nozzles,” *Int. J. Model. Optim.*, vol. 7, no. 3, pp. 128–133, 2017, doi: 10.7763/ijmo.2017.v7.571.