

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI TUTUP PADA KELENGKUNGAN SUDU BERPENAMPANG LENGKUNG 180° POSISI DENGAN MELINTANG TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN PELTON

Hamzah Mochamad Malik Dian Yahya

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: hamzah.dy@gmail.com

Priyo Heru Adiwibowo

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id

Abstrak

Pengembangan pembangkit listrik di Indonesia pada saat ini mulai difokuskan untuk pengembangan pembangkit berbasis energi terbarukan (EBT). Turbin pelton merupakan salah satu jenis turbin dari PLTMH, dan pemilihan pada turbin pelton berdasarkan pada tingkat efisiensi yang dihasilkan oleh turbin pelton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya dan efisiensi paling optimal yang dihasilkan oleh ketinggian tutup sudu pada turbin pelton. Penelitian ini memvariasikan tinggi tutup pada sudu berpenampang lengkung 180° dengan ketinggian sudu 0 mm, 10 mm, dan 20 mm. Jumlah sudu yang digunakan berjumlah 8 buah dan akan diuji dengan memvariasikan kapasitas aliran air sebesar 0,001854 m³/s, 0,002005 m³/s, 0,002434 m³/s, dan 0,003114 m³/s menggunakan nosel berdiameter 8 mm dengan jarak semprot 50 mm dan variasi pembebanan. Hasil penelitian pada variasi ketinggian tutup sudu di 0 mm, 10 mm, dan 20 mm didapatkan daya turbin tertinggi yang dihasilkan sebesar 35,9079 watt pada ketinggian tutup sudu 20 mm dengan kapasitas aliran air 0,003114 m³/s dipembebanan 25 kg. Sedangkan efisiensi paling optimal yang dihasilkan sebesar 62,26% pada ketinggian tutup sudu 20 mm dengan kapasitas aliran air 0,002005 m³/s dipembebanan 10 kg.

Kata Kunci: Turbin, Pelton, Tinggi Tutup Sudu, Kinerja Turbin Pelton.

Abstract

The development of power plants in Indonesia is currently focused on the development of renewable energy-based power plants (EBT). Pelton turbine is one type of turbine from PLTMH, and the selection of pelton turbine is based on the level of efficiency produced by pelton turbine. This study aims to determine the most optimal power and efficiency produced by the height of the blade cap on the pelton turbine. This study varies the height of the cap on the 180° curved section blade with a blade height of 0 mm, 10 mm, and 20 mm. The number of blades used amounted to 8 pieces and will be tested by varying the water flow capacity of 0.001854 m³/s, 0.002005 m³/s, 0.002434 m³/s, and 0.003114 m³/s using a nozzle with a diameter of 8 mm with a spray distance of 50 mm and variations in loading. The results of the research on the variation of the height of the blade cap at 0 mm, 10 mm, and 20 mm obtained the highest turbine power generated of 35.9079 watts at a height of 20 mm blade cap with a water flow capacity of 0.003114 m³/s in 25 kg loading. While the most optimal efficiency produced was 62.26% at a blade cap height of 20 mm with a water flow capacity of 0.002005 m³/s under a load of 10 kg.

Keywords: Turbine, Pelton, Blade Cap Height, Pelton Turbine Performance.

PENDAHULUAN

Pengembangan energi terbarukan semakin dipertimbangkan dalam upaya peningkatan kapasitas kelistrikan di Indonesia dan pencapaian target bauran energi pada 2025 (Kementerian ESDM, 2020). Pengembangan pembangkit listrik yang ada di Indonesia mulai difokuskan pada pengembangan pembangkit-pembangkit berbasis energi terbarukan (EBT) sejak 2018. Dengan penelitian yang dilakukan oleh (Ramadhan & Adiwibowo, 2024) mengenai pengaruh rasio rasio panjang

sudu pada plat L didapatkan hasil untuk daya tertingginya terletak pada rasio 0,887 dengan kapasitas aliran 0,003114 m³/s pada pembebanan 40 kg dengan nilai daya 45,877 Watt, lalu efisiensi tertingginya terletak pada rasio 0,0887 dengan kapasitas aliran air 0,002005 m³/s pada pembebanan 15 kg dengan nilai efisiensi sebesar 53,70%.

Pada penelitian (Liona & Adiwibowo, 2023) hasil daya yang didapatkan dengan memvariasi kelengkungan sudu turbin pada 120°, 150°, dan 180° pada kapasitas aliran air 0,003114 m³/s dengan pembebanan 30 kg sebesar 12,451 watt pada sudu kelengkungan 180°, sedangkan untuk

efisiensi paling optimal yang didapatkan pada variasi sudut kelengkungan 180° dengan kapasitas aliran air 0,001854 m³/s dengan pembebanan 7 kg sebesar 41,03%.

Berdasarkan hasil penelitian (Fauza & Adiwibowo, 2023) maka dapat disimpulkan bahwa nilai daya turbin semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kapasitas air. Dan dari tiga variasi kelengkungan dengan sudut (120°, 150°, dan 180°), dapat disimpulkan bahwa daya turbin tertinggi dihasilkan oleh variasi kelengkungan sudut 180° pada an 30 kg sebesar 37,1037 watt. Untuk efisiensi turbin paling optimal juga berada pada variasi kelengkungan sudut 180° pada kapasitas aliran air 0,002089 m³/s dengan pembebanan 7 kg sebesar 38,29%.

Menurut hasil jurnal dari (Adiwibowo & Zohri, 2023) muncul kesimpulan dengan menggunakan permodelan matematika untuk memprediksi teknologi Photovoltaic Thermal (PVT) menggunakan kolektor sirip nilai untuk potensi peningkatan dan indeks keberlanjutan muncul intensitas matahari dengan rata-rata intensitas matahari tertinggi dengan output yang diperoleh sebesar 163,52 watt pada intensitas matahari sebesar 800 W/m². Untuk peningkatan paling optimal potensi dan nilai indeks keberlanjutan yang ditemukan adalah 322,92 watt dan 2,039 pada intensitas matahari sebesar 800 W/m².

Pada jurnal (Adiwibowo, Soeryanto, Kurniawan & Arsana, 2022) ditetapkan bahwa hasil eksperimen menunjukkan bahwa rasio bilah gangguan 0,375 menghasilkan kinerja yang optimal dengan daya tertinggi yang dihasilkan sebesar 4,461 watt pada bebas 9000 g dan kapasitas 18,113 L/s. Untuk efisiensi tertinggi yang dihasilkan adalah 96,20% dengan beban 5000 g dan kapasitas 11,024 L/s.

Berdasarkan hasil jurnal (Adiwibowo & Wailanduw, 2020) disimpulkan bahwa daya tertinggi yang dihasilkan turbin dengan blade ratio 0,90 berkapasitas 12,341 L/s dengan nilai daya 44,441 watt pada pembebanan 40000 gram. Dan efisiensi tertinggi ada pada turbin blade dengan ratio 0,90 dengan kapasitas 10,803 L/s dengan nilai efisiensi sebesar 53,823% pada pembebanan 45000 gram.

Berbagai inovasi yang telah dilakukan, belum banyak penelitian tentang pengaruh variasi tutup katup pada kelengkungan sudut 180°. Maka penulis berinisiatif membangun turbin air jenis pelton dengan memvariasikan tutup katup pada kelengkungan sudut turbin pelton. Penulis mengharapkan dari uji eksperimen ini dapat menghasilkan turbin pelton yang baik dari segi efisiensi dan daya yang dihasilkan sehingga dapat digunakan sebagai media pembelajaran mengenai energi terbarukan.

METODE

• Jenis Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Menurut (Jaedun, 2011) metode eksperimen

merupakan metode untuk mencari hubungan antara sebab dan akibat yang ditimbulkan oleh beberapa faktor yang saling berkaitan. Dan Pada eksperimen kali ini, peneliti memvariasikan tutup pada sudut berpenampang lengkung 180° untuk mencari tinggi tutup yang paling optimal agar menghasilkan efisiensi dan daya yang terbaik.

• Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat Penelitian

Pada penelitian turbin *pelton* yang dilakukan saat ini bertempat di Laboratorium Mekanika Fluida gedung A8 lantai 2 FT-UNESA dan untuk proses fabrikasi dilakukan di bengkel yang bersangkutan.

Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan setelah proposal skripsi disidangkan atau setelah seminar proposal. Dilaksanakan mulai bulan Januari – Maret 2023.

• Variabel Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa variabel yaitu;

Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu variasi tutup 0 mm, 10 mm, 20 mm pada kelengkungan sudut berpenampang lengkung 180°.

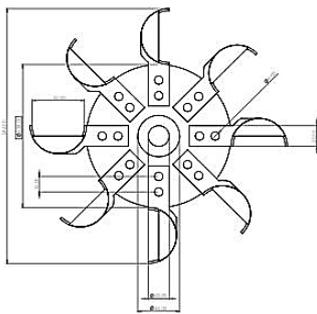
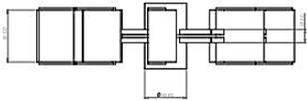
Variabel Terikat

Variabel terikat yang digunakan pada penelitian kali ini merupakan daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin *pelton*.

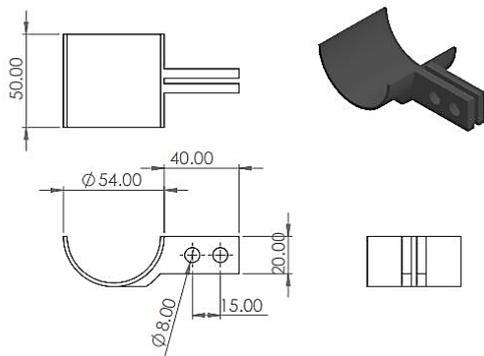
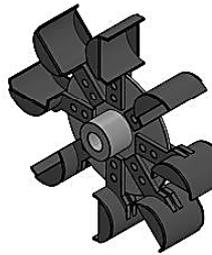
Variabel Kontrol

Dalam penelitian ini variabel kontrol yang digunakan yaitu:

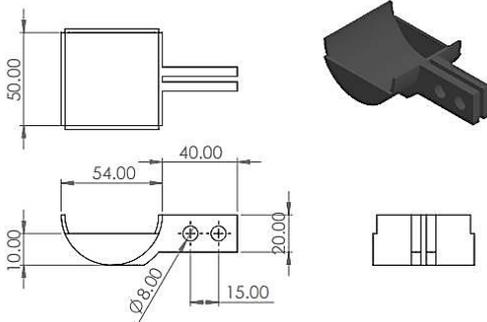
- Fluida kerja menggunakan fluida air.
- Kapasitas atau debit aliran air pada saat dilakukan pengujian yaitu sebesar 0,001854 m³/s, 0,002005 m³/s, 0,002434 m³/s dan 0,003114 m³/s.
- Bukaan katup disesuaikan pada 90°, 100°, 110°, dan 120°.
- Pembebanan pada setiap kapasitas aliran air sebesar 5 kg, 10 kg, 15 kg, 20 kg hingga seterusnya sampai berhenti berputar.
- Diameter nozzle yang digunakan pada saat penelitian sebesar 25,4 mm, dengan jarak semprot nozzle sebesar 50 mm.
- Jumlah sudut yang digunakan sebanyak 8 buah.



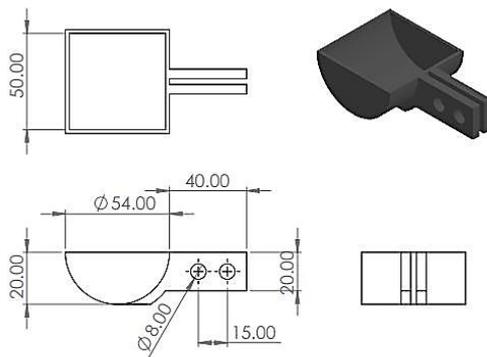
Gambar 1. Desain Runner



Gambar 2. Variasi Tutup 0 mm



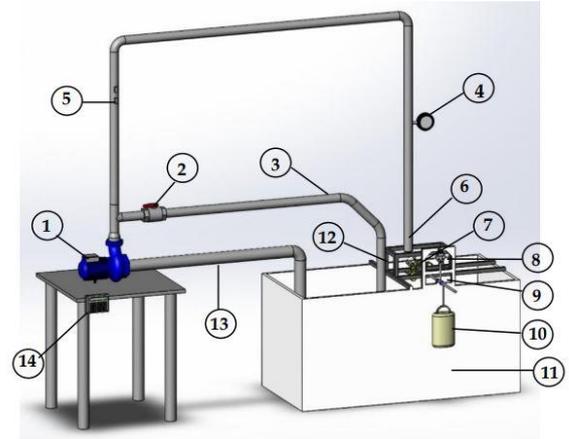
Gambar 3. Variasi Tutup 10 mm



Gambar 4. Variasi Tutup 20 mm

• Peralatan dan Instrumen Penelitian

Penelitian ini menggunakan peralatan sebagai berikut:

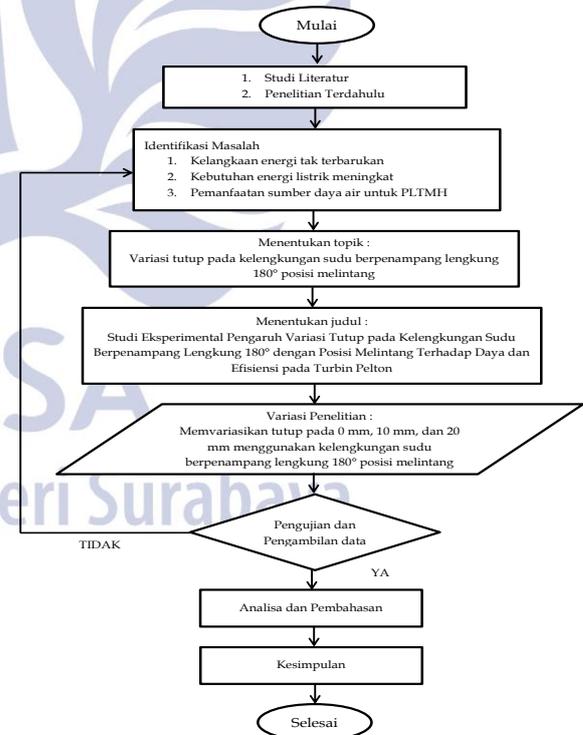


Gambar 5. Skema PLTMH

Keterangan:

- | | |
|--------------------------|---|
| 1. Pompa | 8. Neraca |
| 2. Katup | 9. <i>Prony Brake</i> |
| 3. Pipa Pembuangan | 10. Beban |
| 4. <i>Pressure Gauge</i> | 11. Bak Penampung Air |
| 5. <i>Transducer</i> | 12. Rumah Turbin |
| 6. <i>Nozzle</i> | 13. Pipa Hisap |
| 7. Turbin Pelton | 14. <i>Digital Ultrasonic Flowmeter</i> |

• Diagram Alir Penelitian



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

• Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan agar penulis mendapatkan data yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian ini. Tujuan penelitian berupa bentuk hipotesis yaitu

semacam jawaban sementara mengenai pertanyaan penelitian. Data yang diambil akan ditentukan oleh beberapa variabel-variabel di hipotesis. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini yaitu dengan mengukur atau menguji obyek yang diteliti dan mencatat serta menghitung hasil tersebut.

• **Teknik Analisa Data**

Data yang sudah diambil dan diukur menggunakan alat ukur, selanjutnya data tersebut akan dikelompokkan dalam sebuah tabel dan disajikan dalam bentuk grafik agar memudahkan pembaca dalam memahami data penelitian. Hal ini untuk memberikan informasi mengenai kinerja turbin yang optimal, pengaruh dari beberapa variabel dan fenomena yang terjadi selama pengujian dan pengambilan data.

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Menurut (Jaedun, 2011) metode eksperimen merupakan metode untuk mencari hubungan antara sebab dan akibat yang ditimbulkan oleh beberapa faktor yang berkaitan. Dan eksperimen ini memvariasikan tutup pada sudu berpenampang lengkung 180° untuk mencari tinggi tutup yang paling optimal agar menghasilkan efisiensi dan daya yang terbaik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

• **Hasil Penelitian**

Pengambilan data pada penelitian ini terdiri dari pengukuran dan perhitungan. Kapasitas aliran air diukur menggunakan *Digital Flowmeter*, beban menggunakan neraca, sedangkan putaran turbin pengukurannya menggunakan *tachometer*. Data diambil sebanyak 3 kali lalu dihitung menggunakan rumus, dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik agar dapat mengetahui perbandingan nilai dalam setiap variasi. Data yang disajikan dikelompokkan setiap kapasitas aliran air agar bisa melihat perbandingan dari setiap variasi kelengkungan sudu 120°, 150°, dan 180°. Beberapa perhitungan mendapatkan data tersebut yaitu:

- Luas Penampang Ujung *Nozzle* (A)

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \dots\dots\dots(1)$$
 (Pritchard, Philip J. and Leylegian, 2011)
 Dengan:
 A = Luasan ujung *nozzle* (m²)
 d = Diameter dalam *nozzle* (m)
- Kecepatan Aliran Air (v)

$$v = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(2)$$
 (Pritchard, Philip J. and Leylegian, 2011)
 Dengan:
 v = Kecepatan aliran (m/s)
 Q = Debit aliran air (m³/s)
 A = Luasan ujung *nossel* (m²)

- Kecepatan Anguler/tangensial (ω)

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot 60 \dots\dots\dots(3)$$
 (Khurmi & Gupta, 2005)
 Dengan:
 ω = Kecepatan anguler / tangensial (rad/s)
 n = Putaran turbin (rpm)
- Gaya (F)

$$F = m \cdot g \dots\dots\dots(4)$$
 (Khurmi & Gupta, 2005)
 Dengan:
 F = Gaya (N)
 M = Beban (Kg)
 g = Gravitasi (9,81 m/s²)
- Torsi (T)

$$T = F \cdot r \dots\dots\dots(5)$$
 (Khurmi & Gupta, 2005)
 Dengan:
 T = Torsi (N.m)
 F = Gaya (N)
 r = Lengan / jari-jari (m)
- Daya Turbin (Pt)

$$Pt = T \cdot \omega \dots\dots\dots(6)$$
 (Pritchard, Philip J. and Leylegian, 2011)
 Dengan:
 Pt = Daya turbin (Watt)
 T = Torsi (N.m)
 ω = Kecepatan angular (rad/s)
- Daya Air (Pa)

$$Pa = Ek + Pp + Ep \dots\dots\dots(7)$$

$$Ek = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots(8)$$

$$Pp = Q \cdot P \dots\dots\dots(9)$$

$$Ep = \rho \cdot g \cdot h \cdot Q \dots\dots\dots(10)$$
 (Pritchard, Philip J. and Leylegian, 2011)
 Dengan:
 Pa = Daya air (watt)
 Ek = Energi Kinetik (watt)
 Pp = Daya Tekan (watt)
 ρ = Massa jenis (kg/m³)
 A = Luas Ujung *Nozzle* (m²)
 v = Kecepatan Aliran (m/s)
 Q = Debit aliran turbin (m³/s)
 P = Tekanan Air (N/m²)
 g = Gravitasi (m/s²)
 h = Jarak semprot *nozzle* (m)
- Efisiensi Turbin

$$\eta = \frac{Pt}{Pa} \cdot 100\% \dots\dots\dots(11)$$
 (Pritchard, Philip J. and Leylegian, 2011)
 Dengan:
 η = Efisiensi turbin
 Pt = Daya turbin (Watt)
 Pa = Daya air (Watt)

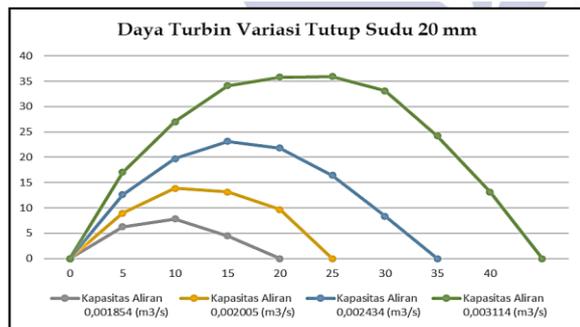
• **Pembahasan**

Data penelitian yang sudah didapatkan kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk melihat perbandingan daya tertinggi dan efisiensi optimal dari ketiga variasi kelengkungan sudu pada turbin *pelton*. Data disajikan berdasarkan kapasitas aliran air pada setiap variasi bukaan katup yang digunakan.

Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Daya Turbin Pada Tutup Sudu 20 mm

Tabel 1. Hasil Perhitungan Daya Variasi Kapasitas Aliran Air pada Variasi Tutup Sudu 20 mm

Daya Turbin Variasi Tutup Sudu 20 mm					
No	Beban	Kapasitas Aliran 0,001854 (m ³ /s)	Kapasitas Aliran 0,002005 (m ³ /s)	Kapasitas Aliran 0,002434 (m ³ /s)	Kapasitas Aliran 0,003114 (m ³ /s)
1	0	0	0	0	0
2	5	6,276662229	8,974891829	12,61848154	17,053377
3	10	7,805387229	13,83488417	19,69744606	26,98914743
4	15	4,4948112	13,1137028	23,10164686	34,15957851
5	20	0	9,686721	21,83663334	35,8373906
6	25		0	16,42164103	35,90799457
7	30			8,364	33,1154208
8	35			0	24,18499474
9	40				13,11757386
10	45				0



Gambar 7. Garfik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Daya Turbin pada Variasi Tutup Sudu 20 mm

Berdasarkan gambar 7, turbin dengan variasi tutup sudu 20 mm menghasilkan daya yang semakin meningkat sebanding/berbanding lurus dengan bertambahnya kapasitas aliran air yang mengalir. Seperti yang terlihat pada gambar grafik 7, bahwa kapasitas aliran air 0,001854 m³/s mengalami peningkatan pembebanan 10 kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 7,8053 watt, lalu mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti berputar pada beban 20 kg. Pada kapasitas aliran air 0,002005 m³/s mengalami peningkatan dipembebanan 10 kg dengan daya yang dihasilkan turbin sebesar 13,8348 watt, lalu mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 25 kg. Daya turbin dengan kapasitas aliran air 0,002434 m³/s mengalami peningkatan dipembebanan 15

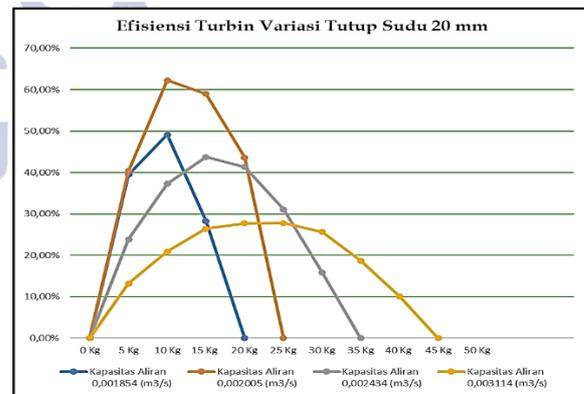
kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 23,1016 watt, lalu daya yang dihasilkan menurun hingga turbin berhenti pada pembebanan 35 kg. Daya turbin dengan kapasitas aliran air 0,003114 m³/s mengalami peningkatan hingga pembebanan 25 kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 35,9079 watt, lalu daya yang dihasilkan mengalami penurunan dan berhenti pada pembebanan 45 kg.

Dari gambar grafik 7 dapat disimpulkan bahwa turbin pada kapasitas aliran air 0,003114 m³/s dengan pembebanan 25 kg memiliki nilai daya tertinggi yaitu 35,9079 watt. Hal ini disebabkan meningkatnya kapasitas aliran air yang diberikan, sehingga gaya dorong yang diberikan mampu memutar turbin meski pembebanan semakin meningkat, namun pada titik tertentu terjadi penurunan nilai daya yang dihasilkan dikarenakan semakin besar pembebanan yang diberikan maka perlu gaya yang lebih besar agar turbin mampu berputar.

Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Efisiensi Turbin Pada Tutup Sudu 20 mm

Tabel 2. Hasil Perhitungan Daya Variasi Kapasitas Aliran Air pada Variasi Tutup Sudu 20 mm

Efisiensi Turbin Variasi Tutup Sudu 20 mm					
No	Beban	Kapasitas Aliran 0,001854 (m ³ /s)	Kapasitas Aliran 0,002005 (m ³ /s)	Kapasitas Aliran 0,002434 (m ³ /s)	Kapasitas Aliran 0,003114 (m ³ /s)
1	0 Kg	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2	5 Kg	39,51%	40,39%	23,89%	13,21%
3	10 Kg	49,13%	62,26%	37,30%	20,91%
4	15 Kg	28,29%	59,02%	43,74%	26,46%
5	20 Kg	0,00%	43,59%	41,35%	27,76%
6	25 Kg		0,00%	31,09%	27,82%
7	30 Kg			15,84%	25,65%
8	35 Kg			0,00%	18,74%
9	40 Kg				10,16%
10	45 Kg				0,00%



Gambar 8. Garfik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Efisiensi Turbin pada Variasi Tutup Sudu 20 mm

Berdasarkan gambar 8 turbin dengan variasi tutup sudu 20 mm pada kapasitas aliran air 0,002005 m³/s

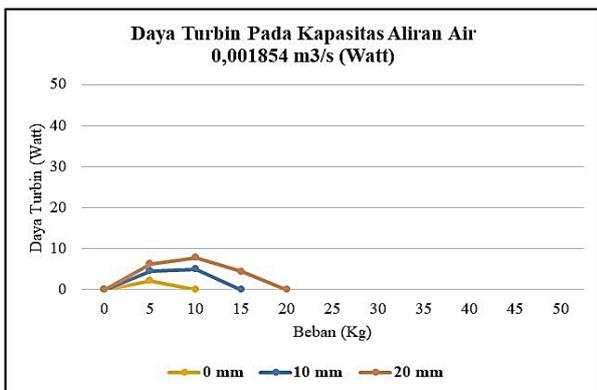
menghasilkan efisiensi paling tinggi. Seperti yang terlihat pada gambar grafik 8 bahwa kapasitas aliran air 0,001854 m³/s mengalami peningkatan dipembebanan 10 kg dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 49,13%, lalu mengalami penurunan efisiensi hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 20 kg. Efisiensi turbin dengan kapasitas aliran air 0,002005 m³/s mengalami peningkatan pada pembebanan 10 kg dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 62,26%, lalu efisiensi yang dihasilkan menurun hingga berhenti pada pembebanan 25 kg. Turbin dengan kapasitas aliran air 0,002434 m³/s mengalami peningkatan pada pembebanan 15 kg dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 43,74%, lalu efisiensi yang dihasilkan menurun dan berhenti dipembebanan 35 kg. Efisiensi turbin pada kapasitas aliran air 0,003114 m³/s meningkat pada pembebanan 25 kg dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 27,82%, lalu efisiensi yang dihasilkan menurun dan turbin berhenti berputar pada pembebanan 45 kg.

Dari grafik 8 dapat disimpulkan turbin dengan kapasitas aliran air 0,002005 m³/s pada pembebanan 10 kg memiliki nilai efisiensi tertinggi yaitu 62,26%. Dalam hal ini berarti rendahnya daya turbin yang dihasilkan maka efisiensi turbin yang dihasilkan menjadi tinggi, begitupun sebaliknya tingginya daya turbin yang dihasilkan maka efisiensi yang dihasilkan menjadi rendah.

Pengaruh Variasi Tutup Sudu Terhadap Daya Turbin pada Kapasitas Aliran 0,001854 m³/s

Tabel 3. Daya Turbin Berpenampang Lengkung pada Kapasitas Aliran Air 0,001854 m³/s

Daya Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0,001854 m ³ /s (Watt)				
No	Beban (kg)	Tutup Sudu 0 mm	Tutup Sudu 10 mm	Tutup Sudu 20 mm
1	0	0	0	0
2	5	2,118868889	4,498168889	6,276662229
3	10	0	5,023685333	7,805387229
4	15		0	4,4948112
5	20			0



Gambar 9. Grafik Pada Kapasitas Aliran Air 0,001854 m³/s Terhadap Daya Turbin

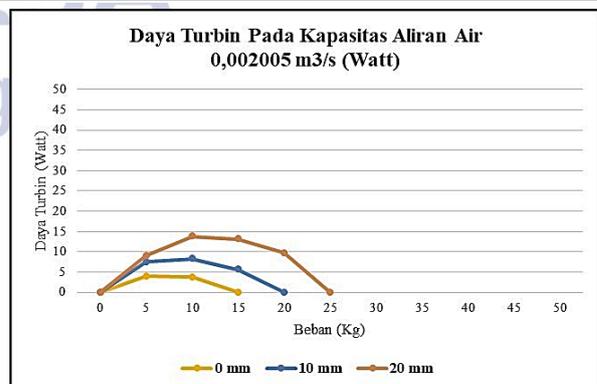
Berdasarkan gambar 9, turbin dengan variasi tutup sudu 20 mm meningkat pada pembebanan 10 kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 7,8053 watt, lalu mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 20 kg. Daya turbin pada variasi tutup sudu 0 mm mengalami peningkatan dipembebanan 5 kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 2,1188 watt dan mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 10 kg. Kemudian daya turbin pada variasi tutup sudu 10 mm juga mengalami peningkatan daya turbin pada pembebanan 10 kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 5,0236 watt lalu mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti berputar dipembebanan 15 kg.

Dari gambar grafik 9 dapat disimpulkan bahwa dengan kapasitas aliran air 0,001854 m³/s turbin dengan variasi tutup sudu 20 mm menghasilkan daya tertinggi yaitu sebesar 7,8053 watt. Hal ini dikarenakan pada kapasitas aliran air tersebut, air terjun melalui nozzle mengenai penampang turbin dengan variasi tutup sudu 20 mm menerima tekanan air yang paling besar daripada variasi tutup sudu 0 mm dan 20 mm sehingga memiliki daya turbin yang paling besar pula.

Pengaruh Variasi Tutup Sudu Terhadap Daya Turbin pada Kapasitas Aliran 0,002005 m³/s

Tabel 4. Daya Turbin Berpenampang Lengkung pada Kapasitas Aliran Air 0,002005 m³/s

Daya Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0,002005 m ³ /s (Watt)				
No	Beban (kg)	Tutup Sudu 0 mm	Tutup Sudu 10 mm	Tutup Sudu 20 mm
1	0	0	0	0
2	5	3,944161886	7,534912	8,974891829
3	10	3,772122514	8,204504	13,83488417
4	15	0	5,643655111	13,1137028
5	20		0	9,686721
6	25			0



Gambar 10. Grafik Pada Kapasitas Aliran Air 0,002005 m³/s Terhadap Daya Turbin

Berdasarkan gambar grafik 10 daya turbin pada variasi tutup sudu 20 mm mengalami peningkatan pada

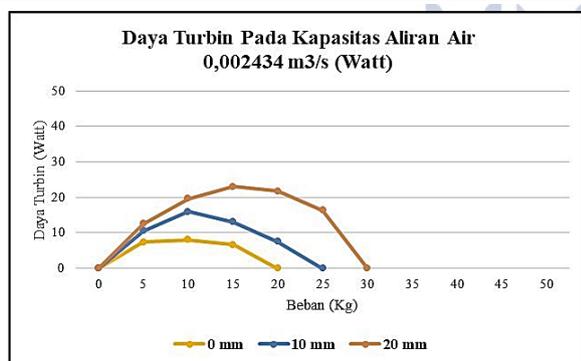
pembebanan 10 kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 13,8348 watt, lalu mengalami penurunan dan berhenti pada pembebanan 25 kg. Daya turbin dengan variasi tutup sudu 0 mm mengalami peningkatan nilai daya turbin dipembebanan 5 kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 3,9441 watt, setelah itu mengalami penurunan hingga berhenti berputar pada pembebanan 15 kg. Kemudian pada turbin dengan variasi tutup sudu 10 mm mengalami peningkatan nilai daya turbin pada pembebanan 10 kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 8,2045 watt, setelah itu daya turbin mengalami penurunan dan berhenti berputar pada pembebanan 20 kg.

Dapat disimpulkan bahwa dengan kapasitas aliran air 0,002005 m³/s turbin dengan variasi tutup sudu 20 mm menghasilkan daya tertinggi yaitu sebesar 13,8348 watt. Hal ini dikarenakan pada kapasitas aliran air tersebut, air terjun melalui nozzle mengenai penampang turbin dengan variasi tutup sudu 20 mm menerima tekanan air yang paling besar daripada variasi tutup sudu 20 mm dan 0 mm, sehingga memiliki daya turbin yang paling besar pula.

Pengaruh Variasi Tutup Sudu Terhadap Daya Turbin pada Kapasitas Aliran 0,002434 m³/s

Tabel 5. Daya Turbin Berpenampang Lengkung pada Kapasitas Aliran Air 0,002434 m³/s

Daya Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0,002434 m ³ /s (Watt)				
No	Beban (kg)	Tutup Sudu 0 mm	Tutup Sudu 10 mm	Tutup Sudu 20 mm
1	0	0	0	0
2	5	7,443392	10,53921	12,61848154
3	10	8,0687904	15,93385357	19,69744606
4	15	6,642322971	13,0369668	23,10164686
5	20	0	7,563977143	21,83663334
6	25		0	16,42164103
7	30			0



Gambar 11. Grafik Pada Kapasitas Aliran Air 0,002434 m³/s Terhadap Daya Turbin

Berdasarkan gambar grafik 11 daya turbin dengan variasi tutup sudu 20 mm meningkat pada pembebanan 15 kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 23,1016 watt, lalu menurun hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 30 kg. Kemudian daya turbin pada variasi tutup sudu 0 mm

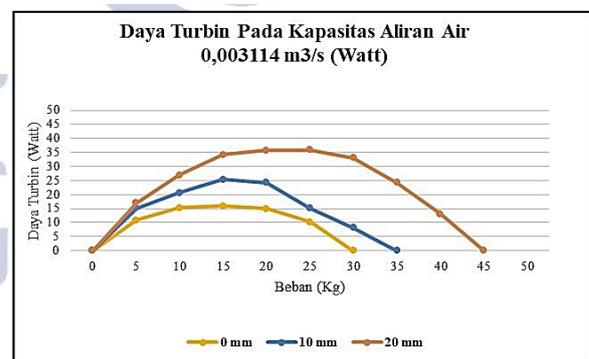
meningkat pada pembebanan 10 kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 8,0687 watt, lalu mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 20 kg. Berikutnya daya turbin pada turbin dengan variasi tutup sudu 10 mm meningkat pada pembebanan 10 kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 15,9338 watt, setelah itu menurun dan berhenti berputar pada pembebanan 25 kg.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kapasitas aliran air 0,002434 m³/s turbin dengan variasi tutup sudu 20 mm menghasilkan daya tertinggi yaitu sebesar 23,1016 watt. Hal ini dikarenakan pada kapasitas aliran air tersebut, air terjun melalui nozzle mengenai penampang turbin dengan variasi tutup sudu 20 mm menerima tekanan air yang paling besar daripada variasi tutup sudu 0 mm dan 10 mm sehingga memiliki daya turbin yang paling besar pula.

Pengaruh Variasi Tutup Sudu Terhadap Daya Turbin pada Kapasitas Aliran 0,003114 m³/s

Tabel 6. Daya Turbin Berpenampang Lengkung pada Kapasitas Aliran Air 0,003114 m³/s

Daya Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0,003114 m ³ /s (Watt)				
No	Beban (kg)	Tutup Sudu 0 mm	Tutup Sudu 10 mm	Tutup Sudu 20 mm
1	0	0	0	0
2	5	10,80182526	15,13792311	17,053377
3	10	15,26607909	20,56826263	26,98914743
4	15	15,85115683	25,37262137	34,15957851
5	20	14,89404651	24,31938551	35,8373906
6	25	10,16697189	15,182937	35,90799457
7	30	0	8,215239686	33,1154208
8	35		0	24,18499474
9	40			13,11757386
10	45			0



Gambar 12. Grafik Pada Kapasitas Aliran Air 0,003114 m³/s Terhadap Daya Turbin

Berdasarkan gambar grafik 12 pada variasi tutup sudu 20 mm mengalami peningkatan pada pembebanan 25 kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 35,9079 watt, lalu mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 45 kg. Berikutnya daya turbin dengan variasi tutup sudu 0 mm meningkat pada pembebanan 15 kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 15,8511 watt,

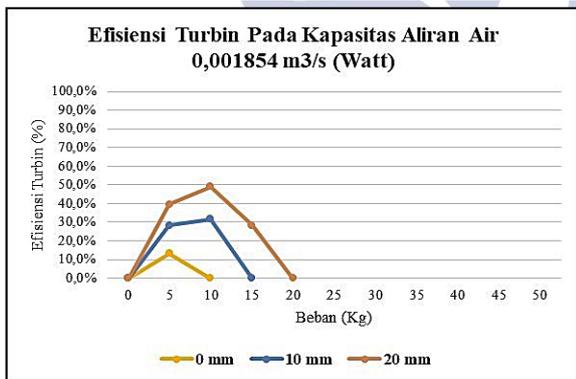
setelah itu menurun hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 30 kg. Kemudian daya turbin dengan variasi tutup sudu 10 mm mengalami peningkatan pada pembebanan 15 kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 25,3726 watt, lalu mengalami penurunan hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 35 kg.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kapasitas aliran air 0,003114 m³/s turbin dengan variasi tutup sudu 20 mm menghasilkan daya tertinggi yaitu sebesar 35,9079 watt. Hal ini dikarenakan turbin dengan variasi tutup sudu 20 mm lebih dalam lengkungannya dibandingkan dengan variasi tutup sudu 0 mm dan 10 mm. Didukung juga dengan kapasitas aliran air yang tinggi menyebabkan air yang disemprotkan oleh nozzle lebih maksimal. Sehingga gaya tekan yang terjadi pada turbin lebih besar.

Pengaruh Variasi Tutup Sudu Terhadap Efisiensi Turbin pada Kapasitas Aliran 0,001854 m³/s

Tabel 7. Efisiensi Turbin Berpenampang Lengkung pada Kapasitas Aliran Air 0,001854 m³/s

Efisiensi Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0,001854 m ³ /s (Watt)				
No	Beban (kg)	Tutup Sudu 0 mm	Tutup Sudu 10 mm	Tutup Sudu 20 mm
1	0	0,00%	0,00%	0,00%
2	5	13,34%	28,31%	39,51%
3	10	0,00%	31,62%	49,13%
4	15		0,00%	28,29%
5	20			0,00%



Gambar 13. Grafik Pada Kapasitas Aliran Air 0,001854 m³/s Terhadap Efisiensi Turbin

Berdasarkan gambar grafik 13 efisiensi turbin pada variasi tutup 20 mm meningkat hingga pembebanan 10 kg dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 49,13%, lalu mengalami penurunan efisiensi hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 20 kg. Berikutnya efisiensi turbin pada variasi tutup 0 mm mengalami peningkatan dipembebanan 5 kg dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 13,34% dan mengalami penurunan efisiensi hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 10 kg. Kemudian efisiensi turbin pada variasi tutup 10 mm meningkat dipembebanan 10 kg dengan nilai efisiensi yang

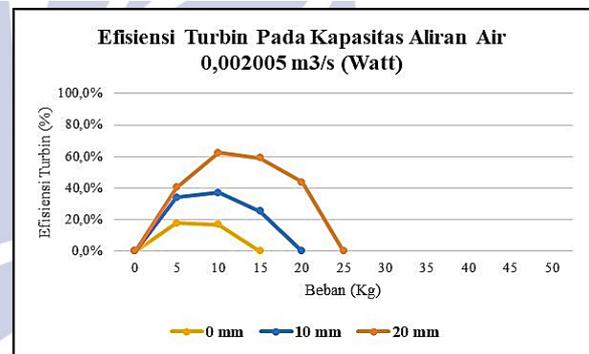
dihasilkan sebesar 31,62%, lalu mengalami penurunan sampai turbin berhenti berputar pada pembebanan 15 kg.

Dari gambar grafik 13 tersebut dapat disimpulkan bahwa turbin dengan variasi tutup 20 mm pada kapasitas aliran 0,001854 m³/s memiliki nilai efisiensi tertinggi yaitu sebesar 49,13%. Hal ini dikarenakan nilai perbandingan antara daya turbin dan daya air yang dihasilkan cukup kecil, sehingga didapatkan hasil efisiensi yang cukup tinggi.

Pengaruh Variasi Tutup Sudu Terhadap Efisiensi Turbin pada Kapasitas Aliran 0,002005 m³/s

Tabel 8. Efisiensi Turbin Berpenampang Lengkung pada Kapasitas Aliran Air 0,002005 m³/s

Efisiensi Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0,002005 m ³ /s (Watt)				
No	Beban (kg)	Tutup Sudu 0 mm	Tutup Sudu 10 mm	Tutup Sudu 20 mm
1	0	0,00%	0,00%	0,00%
2	5	17,75%	33,91%	40,39%
3	10	16,98%	36,92%	62,26%
4	15	0,00%	25,40%	59,02%
5	20		0,00%	43,59%
6	25			0%



Gambar 14. Grafik Pada Kapasitas Aliran Air 0,002005 m³/s Terhadap Efisiensi Turbin

Berdasarkan gambar grafik 14 nilai efisiensi turbin dengan variasi tutup 20 mm mengalami peningkatan pada pembebanan 10 kg dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 62,26%, lalu mengalami penurunan hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 25 kg. Berikutnya efisiensi turbin pada variasi tutup 0 mm mengalami peningkatan dipembebanan 5 kg dengan nilai efisiensi yang dihasilkan sebesar 17,75%, lalu menurun hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 15 kg. Kemudian efisiensi pada turbin dengan variasi tutup 10 mm mengalami peningkatan efisiensi pada pembebanan 10 kg dengan nilai efisiensi yang dihasilkan sebesar 36,92%, lalu mengalami penurunan efisiensi hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 20 kg.

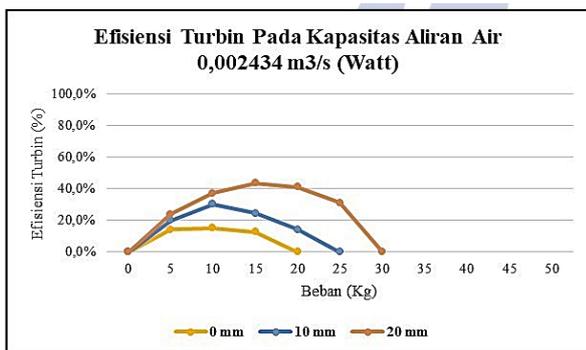
Dari gambar grafik 14 tersebut dapat disimpulkan bahwa turbin dengan variasi tutup 20 mm pada kapasitas aliran air 0,002005 m³/s memiliki nilai efisiensi tertinggi

yaitu sebesar 62,26%. Hal ini dikarenakan nilai perbandingan antara daya turbin dan daya air yang dihasilkan meningkat, sehingga didapatkan hasil efisiensi yang menurun daripada kapasitas aliran air sebelumnya.

Pengaruh Variasi Tutup Sudu Terhadap Efisiensi Turbin pada Kapasitas Aliran 0,002434 m³/s

Tabel 9. Efisiensi Turbin Berpenampang Lengkung pada Kapasitas Aliran Air 0,002434 m³/s

Efisiensi Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0,002434 m ³ /s (Watt)				
No	Beban (kg)	Tutup Sudu 0 mm	Tutup Sudu 10 mm	Tutup Sudu 20 mm
1	0	0,00%	0,00%	0,00%
2	5	14,09%	19,96%	23,89%
3	10	15,28%	30,17%	37,30%
4	15	12,58%	24,68%	43,74%
5	20	0,00%	14,32%	41,35%
6	25		0,00%	31,09%
7	30			0,00%



Gambar 15. Grafik Pada Kapasitas Aliran Air 0,002434 m³/s Terhadap Efisiensi Turbin

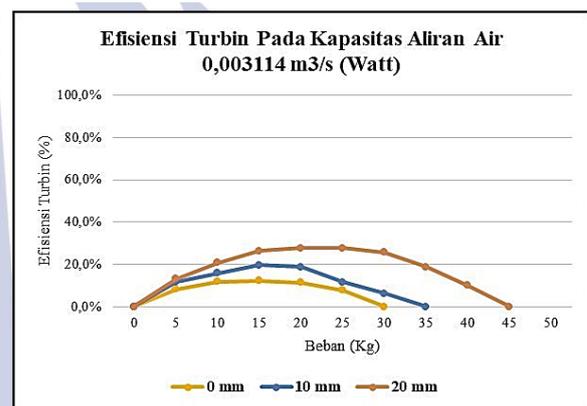
Berdasarkan gambar grafik 15 efisiensi turbin dengan variasi tutup 20 mm mengalami peningkatan pada pembebanan 15 kg dengan nilai efisiensi yang dihasilkan sebesar 43,74%, lalu menurun hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 30 kg. Berikutnya efisiensi turbin dengan variasi tutup 0 mm meningkat pada pembebanan 10 kg dengan nilai efisiensi yang dihasilkan sebesar 15,28%, lalu menurun hingga turbin berhenti bergerak pada pembebanan 20 kg. Kemudian turbin dengan variasi tutup 10 mm mengalami peningkatan nilai efisiensi pada pembebanan 10 kg dengan nilai efisiensi yang dihasilkan sebesar 30,17%, lalu mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 25 kg.

Dari gambar grafik 15 tersebut dapat disimpulkan bahwa turbin dengan variasi tutup 20 mm pada kapasitas aliran air 0,002434 m³/s memiliki nilai efisiensi tertinggi dengan nilai efisiensi yang dihasilkan sebesar 43,74%. Hal ini dikarenakan nilai perbandingan antara daya turbin dan daya air yang dihasilkan meningkat, sehingga didapatkan hasil efisiensi yang menurun daripada kapasitas aliran air sebelumnya.

Pengaruh Variasi Tutup Sudu Terhadap Efisiensi Turbin pada Kapasitas Aliran 0,003114 m³/s

Tabel 10. Efisiensi Turbin Berpenampang Lengkung pada Kapasitas Aliran Air 0,003114 m³/s

Efisiensi Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0,003114 m ³ /s (Watt)				
No	Beban (kg)	Tutup Sudu 0 mm	Tutup Sudu 10 mm	Tutup Sudu 20 mm
1	0	0,00%	0,00%	0,00%
2	5	8,37%	11,73%	13,21%
3	10	11,83%	15,93%	20,91%
4	15	12,28%	19,66%	26,46%
5	20	11,54%	18,84%	27,76%
6	25	7,88%	11,76%	27,82%
7	30	0,00%	6,36%	25,65%
8	35		0,00%	18,74%
9	40			10,16%
10	45			0,00%



Gambar 16. Grafik Pada Kapasitas Aliran Air 0,003114 m³/s Terhadap Efisiensi Turbin

Berdasarkan gambar grafik 16 efisiensi turbin dengan variasi tutup 20 mm mengalami peningkatan pada pembebanan 25 kg dengan nilai efisiensi yang dihasilkan sebesar 27,82%, lalu mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 45 kg. Berikutnya efisiensi turbin dengan variasi tutup 0 mm meningkat pada pembebanan 15 kg dengan nilai efisiensi yang dihasilkan sebesar 12,28%, lalu nilai efisiensi menurun hingga turbin berhenti bergerak pada pembebanan 30 kg. Kemudian efisiensi pada turbin dengan variasi tutup 10 mm mengalami peningkatan nilai efisiensi pada pembebanan 15 kg dengan nilai efisiensi yang dihasilkan sebesar 19,66%, lalu mengalami penurunan hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 35 kg.

Dari gambar grafik 16 tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa turbin dengan variasi tutup 20 mm pada kapasitas aliran air 0,003114 m³/s memiliki nilai efisiensi tertinggi yaitu sebesar 27,82%. Hal ini dikarenakan nilai perbandingan antara daya turbin dan daya air yang dihasilkan meningkat, sehingga didapatkan hasil efisiensi yang menurun daripada kapasitas aliran air sebelumnya.

PENUTUP

Simpulan

Dilihat dari hasil penelitian, pengujian dan analisa yang telah dilakukan. Maka muncul kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh variasi tutup sudu terhadap daya yang dihasilkan oleh turbin pelton berpenampang lengkung 180° dengan posisi melintang. Dimana nilai daya turbin semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kapasitas aliran air yang digunakan. Dari 3 (tiga) variasi tutup sudu (0 mm, 10 mm, dan 20 mm) yang mendapatkan daya turbin tertinggi yaitu turbin dengan variasi tutup sudu 20 mm pada kapasitas aliran air 0,003114 m³/s dengan pembebanan 25 kg sebesar 35,9079 watt.
- Penelitian ini menunjukkan adanya pengaruh variasi tutup sudu terhadap efisiensi yang dihasilkan oleh turbin pelton berpenampang lengkung 180° dengan posisi melintang. Dimana nilai efisiensi turbin semakin optimal, namun dengan daya yang dihasilkan seminimal mungkin. Dari 3 (tiga) variasi tutup sudu (0 mm, 10 mm, dan 20 mm) yang mendapatkan efisiensi turbin optimal yaitu turbin dengan variasi tutup sudu 20 mm pada kapasitas aliran air 0,002005 m³/s dengan pembebanan 10 kg sebesar 62,26%.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian yang telah dilakukan. Saran untuk dilakukan penelitian lebih lanjut, yaitu melakukan modifikasi pada bentuk sudu turbin agar memiliki daya dan efisiensi yang lebih tinggi dari penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Fauza, M., & Adiwibowo, P. H. (2023). STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI KELENGKUNGAN SUDU BERPENAMPANG LENGKUNG POSISI MELINTANG TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI PADA TURBIN PELTON. *Jurnal Teknik Mesin Unesa*, 11(02), 65–74.

Jaedun, A. (2011). *Metodologi Penelitian Eksperimen. Metodologi Penelitian Eksperimen*, 0–12.

Kementerian ESDM. (2020). Hingga Juni 2020, Kapasitas Pembangkit Di Indonesia 71 GW. Kementerian ESDM, September, 13–14. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/hingga-juni-2020-kapasitas-pembangkit-di-indonesia-71-gw>

Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (2005). *A Textbook Of Machine Design (S.I. Units)*. In *Machine Design (Vol. 1, Issue I)*. Eurasia Publishing House (PVT.) LTD. <https://docs.google.com/file/d/0b7oqo6ncgyfjbw53vejeclzuszq/edit>

Liona, Y., & Adiwibowo, P. H. (2023). STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI KELENGKUNGAN SUDU BERPENAMPANG LENGKUNG POSISI SEJAJAR TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI PADA TURBIN PELTON. *Jurnal Teknik Mesin*, 19(03), 19–26.

Pribadi, A. (2021). *Triwulan III 2021 : Rasio Elektrifikasi 99 , 40 % , Kapasitas Pembangkit EBT 386 MW*. Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral, November.

Pritchard, Philip J. And Leylegian, J. C. (2011). *Fox And Mcdonald's Introduction To Fluid Mechanics*. In JOHN WILEY & SONS, INC. Jhon Wiley & Sonc Inc.

