

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI KELENGKUNGAN SUDU BERPENAMPANG LENGKUNG POSISI MELINTANG TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI PADA TURBIN *PELTON*

Munjiddah Fauza

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: munjiddah.18061@mhs.unesa.ac.id

Priyo Heru Adiwibowo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id

Abstrak

Pengembangan pembangkit di Indonesia mulai difokuskan pada pengembangan pembangkit-pembangkit berbasis energi terbarukan (EBT). Turbin *pelton* adalah salah satu jenis turbin dari PLTMH, pemilihan turbin *pelton* didasarkan pada tingkat efisiensi yang dihasilkan oleh turbin tersebut. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui sudut kelengkungan sudu turbin yang memiliki daya dan efisiensi paling optimal. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan memvariasikan sudut kelengkungan sudu sebesar 120°, 150°, dan 180° pada turbin *pelton*. Jumlah sudu adalah 8 buah yang akan diuji dengan variasi kapasitas aliran air sebesar 0,002089 m³/s, 0,002311 m³/s, 0,002717 m³/s dan 0,003594 m³/s menggunakan nosel berdiameter 25,4 mm dengan jarak semprot 50 mm dan variasi pembebanan pula. Hasil dari penelitian ini pada variasi kelengkungan sudu 120°, 150°, dan 180° didapatkan daya turbin tertinggi yang dihasilkan sebesar 37,1037 watt pada kelengkungan sudu 180° dengan kapasitas aliran air 0,003594 m³/s dipembebanan 30 kg. Sedangkan efisiensi paling optimal yang dihasilkan sebesar 38,29% pada kelengkungan sudu 180° dengan kapasitas aliran air 0,002089 m³/s dipembebanan 7 kg.

Kata Kunci: Turbin, *Pelton*, Kelengkungan Sudu, Kinerja Turbin *Pelton*.

Abstract

The development of power plants in Indonesia began to focus on the development of renewable energy-based plants (EBT). Pelton turbine is one type of turbine from PLTMH, the selection of pelton turbine is based on the level of efficiency produced by the turbine. The purpose of this study is to determine the angle of curvature of the turbine blades that have the most optimal power and efficiency. This study used an experimental method by varying the angle of curvature of the blade by 120°, 150°, and 180° on the Pelton turbine. The number of blades is 8 pieces to be tested with variations in water flow capacity of 0.002089 m³/s, 0.002311 m³/s, 0.002717 m³/s and 0.003594 m³/s using a nozzle with a diameter of 25.4 mm with a spray distance of 50 mm and loading variations as well. The results of this study on variations in the curvature of the blade of 120°, 150°, and 180° obtained the highest turbine power produced of 37,1037 watts at the curvature of the blade 180° with a water flow capacity of 0.003594 m³ / s loaded with 30 kg. While the most optimal efficiency produced is 38.29% at a blade curvature of 180° with a water flow capacity of 0.002089 m³ / s loaded with 7 kg.

Keywords: Turbine, Pelton, Blade Curvature, Pelton Turbine Performance

PENDAHULUAN

Pengembangan energi terbarukan mulai dipertimbangkan untuk upaya peningkatan dan pencapaian target kapasitas kelistrikan di Indonesia pada tahun 2025 (Pribadi, 2020). Energi terbarukan dalam bentuk nonpangan cukup pantas dikembangkan di Indonesia. Menurut (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), 2020) mengungkapkan kapasitas terpasang pembangkit listrik nasional hingga bulan Juni 2020 mencapai 71 Giga Watt (GW). Sejak tahun 2018 pembangkit di Indonesia secara keseluruhan difokuskan pada pengembangan pembangkit-pembangkit berbasis energi terbarukan (EBT).

Pemerintah Indonesia mulai memfokuskan pada pemerataan akses listrik yang ramah lingkungan ke seluruh

masyarakat Indonesia. Hal ini dapat ditunjukkan melalui pencapaian rasio elektrifikasi sebesar 99,40% di triwulan III tahun 2021 diikuti dengan pertumbuhan kapasitas pembangkit listrik EBT yang cukup menjanjikan (Pribadi, 2021). Salah satu faktor pendorong pertumbuhan pembangkit EBT melalui surya maupun air. Secara rinci tambahan 386 MW ini berasal dari PLT Air Poso Peaker 2nd Expansion sebesar 130 Mega Watt (MW), 12 unit PLT Mikrohidro 71,26 MW, 2 unit PLT Panas Bumi 55 MW, PLT Bioenergi 19,5 MW, dan PLT Surya Atap 17,88 MW.

Teknologi mikrohidro diciptakan untuk memanfaatkan potensi energi air yang terdapat titik lokasi-lokasi suatu daerah untuk menggerakkan turbin yang dapat menghasilkan listrik. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama, yaitu air (sebagai sumber energi),

turbin, dan generator. Sumber air sebagai tenaga penggerak turbin pembangkit listrik mikrohidro seperti pada saluran irigasi, arus sungai atau air terjun alam dengan memanfaatkan tinggi jatuhnya air dan debit airnya. Prospek pemanfaatan mikrohidro ini sangat bagus mengingat potensi sumber air yang melimpah di daerah-daerah terpencil dan pelosok yang belum memperoleh pasokan listrik dari PT PLN. (Purwanto et al., 2017)

Turbin *Pelton* merupakan jenis turbin implus atau biasa disebut juga dengan turbin tekanan sama. Turbin *Pelton* merupakan salah satu mesin-mesin fluida yang berfungsi untuk mengkonversi energi fluida (air) menjadi energi mekanik dan kemudian energi mekanik itu sendiri dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. (Mafrudin, 2020)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Dwi Fernanda & Heru adiwibowo, 2021) dengan judul “Pengaruh Variasi Diameter Ujung Nozzle Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin *Pelton*”. Hasil penelitian didapatkan daya turbin tertinggi pada kapasitas air 20 LPM dengan diameter nozzle 8 mm yaitu sebesar 2,508 Watt pada pembebanan 5000 gram. Kemudian efisiensi paling optimum terdapat pada kapasitas air 12 LPM dengan diameter nozzle 12 mm pada pembebanan 1000 gram yaitu sebesar 57,51%.

Dalam penelitian (Husen, 2021) yang berjudul “Uji Eksperimental Bentuk Sudu-Sudu Pada Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Air Turbin *Pelton*”. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan adalah varian 3 menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan dengan varian 1 dan 2.

Untuk mengembangkan pengetahuan mengenai turbin air maka penulis berinisiatif membangun turbin air jenis *pelton* dengan memvariasikan kelengkungan sudu turbin *pelton*. Harapan dari uji eksperimen ini adalah menciptakan turbin *pelton* yang baik dari segi efisiensi dan daya yang diperoleh sehingga dapat digunakan sebagai media pembelajaran mengenai energi terbarukan.

METODE

• Jenis Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian kali ini adalah metode eksperimen. Menurut (Jaedun, 2011) metode eksperimen adalah metode untuk mengetahui adanya hubungan sebab akibat antara beberapa aspek atau unsur yang saling bersangkutan.

• Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat Penelitian

Penelitian turbin *pelton* ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida gedung A8 lantai 2 FT-UNESA dan proses fabrikasi dilakukan di beberapa bengkel yang bersedia untuk bekerjasama.

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 variable yaitu;

Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini ada 3 (tiga) variasi yaitu variasi sudut kelengkungan sudu berpenampang lengkung 120°, 150°, 180°.

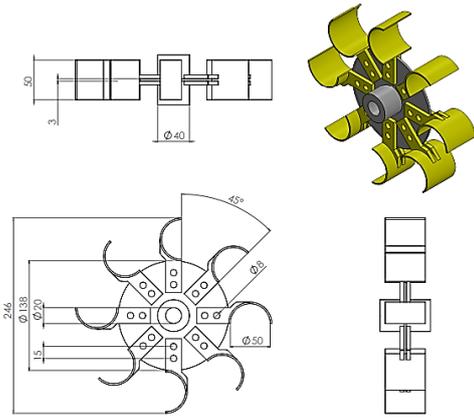
Variabel Terikat

Variabel terikat yang dipakai pada penelitian ini adalah daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin *pelton*.

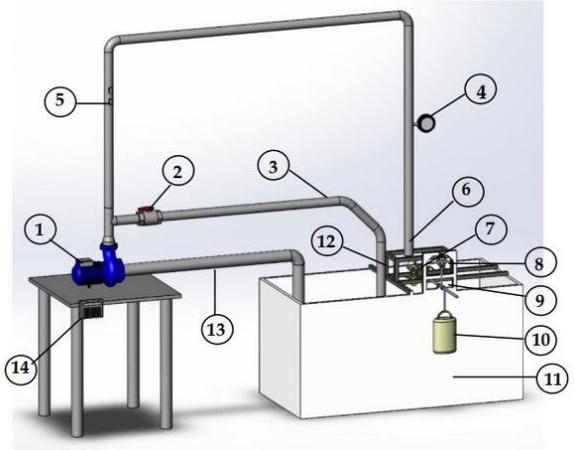
Variabel Kontrol

Dalam penelitian ini variabel kontrol yang digunakan yaitu:

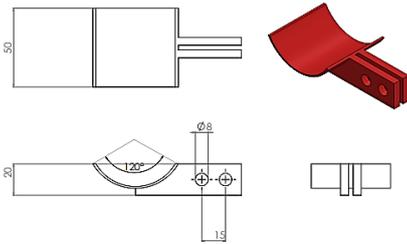
- Fluida kerja menggunakan fluida air.
- Kapasitas aliran air pada saat dilakukan pengujian yaitu sebesar 0,002089 m³/s, 0,002311 m³/s, 0,002717 m³/s dan 0,003594 m³/s.
- Bukaannya katup disesuaikan pada 90°, 100°, 110°, dan 120°.
- Pembebanan pada saat kapasitas aliran air 0,002089 m³/s sebesar 5 kg, 7 kg, 9 kg dan 11 kg.
- Pembebanan pada saat kapasitas aliran air 0,002311 m³/s sebesar 5 kg, 7 kg, 9 kg, 11 kg dan 13 kg.
- Pembebanan pada saat kapasitas aliran air 0,002717 m³/s sebesar 5 kg, 8 kg, 10 kg, 15 kg dan 18 kg.
- Pembebanan pada saat kapasitas aliran air 0,003594 m³/s sebesar 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg dan 50 kg.
- Diameter *nozzle* yang digunakan pada saat penelitian sebesar 25,4 mm, dengan jarak semprot *nozzle* sebesar 50 mm.
- Jumlah sudu yang digunakan pada saat penelitian sebanyak 8 buah.



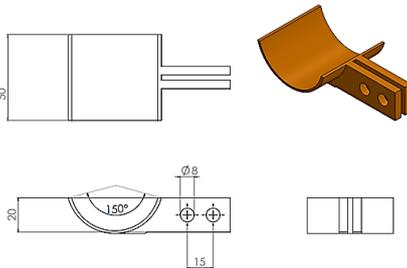
Gambar 1. Desain Runner



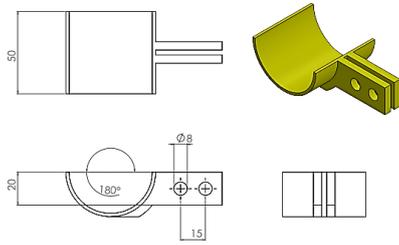
Gambar 5. Skema PLTMH



Gambar 2. Sudu Berpenampang Lengkung 120°



Gambar 3. Sudu Berpenampang Lengkung 150°

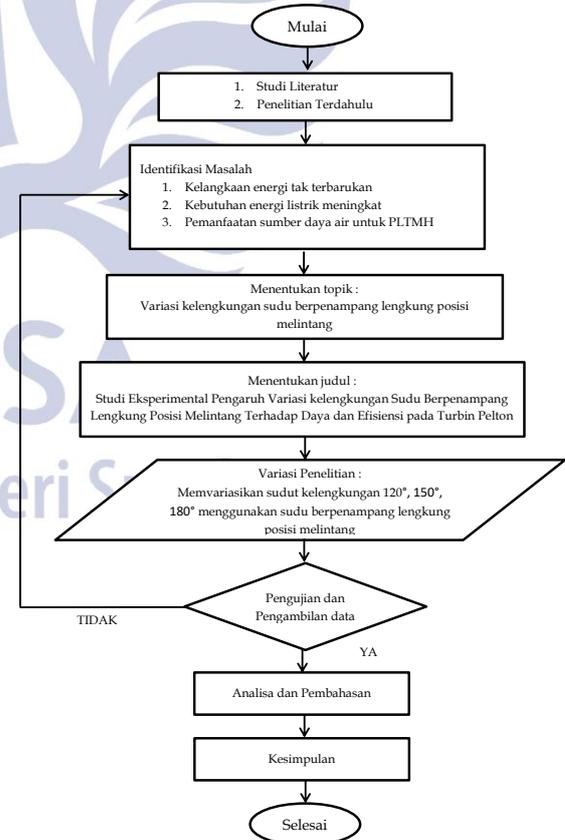


Gambar 4. Sudu Berpenampang Lengkung 180°

Keterangan:

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

• Diagram Alir Penelitian



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

• Peralatan dan Instrumen Penelitian

Penelitian ini menggunakan peralatan sebagai berikut:

- **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 dilakukan dengan tujuan memberikan informasi mengenai kinerja turbin yang optimal, pengaruh dari beberapa variabel dan fenomena yang terjadi selama pengujian dan pengambilan data.

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)

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

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

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

(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)

- Efisiensi Turbin

$$\eta = \frac{Pt}{Pa} \cdot 100\% \dots\dots\dots(10)$$

(Pritchard, Philip J. and Leylegian, 2011)

Dengan:

η = Efisiensi turbin

Pt = Daya turbin (Watt)

Pa = Daya air (Watt)

- **Pembahasan**

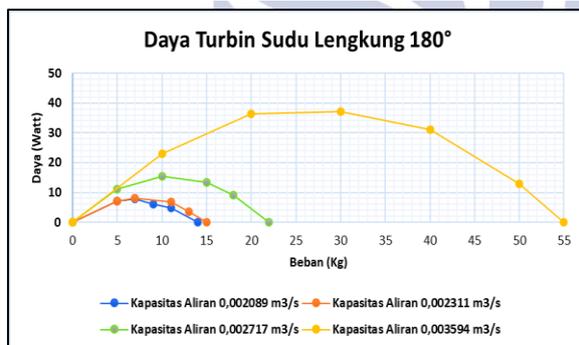
Data penelitian yang sudah didapatkan kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk melihat

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 Berpenampang Lengkung pada Kelengkungan Sudu 180°

Tabel 1. Hasil Perhitungan Daya Variasi Kapasitas Aliran Air pada Kelengkungan Sudu 180°

Daya Turbin Variasi Sudu lengkung 180° (Watt)				
Beban (Kg)	Kapasitas Aliran 0,002089 m³/s	Kapasitas Aliran 0,002311 m³/s	Kapasitas Aliran 0,002717 m³/s	Kapasitas Aliran 0,003594 m³/s
0	0	0	0	0
5	7,056526086	7,185384329	11,0661705	
7	7,9027	8,054710714		
9	6,142305714			
10			15,3767	23,06747536
11	4,7149476	6,836012857		
13		3,692834357		
14	0			
15		0	13,4704053	
18			9,168855771	
20				36,42764117
22			0	
30				37,1037
40				31,168846
50				12,91559374
55				0



Gambar 7. Garfik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Daya Turbin pada Kelengkungan Sudu 180°

Turbin dengan variasi kelengkungan sudu 180° memperoleh nilai daya yang tinggi beriringan dengan bertambahnya kapasitas aliran air yang digunakan. Seperti pada gambar grafik 7, pada kapasitas aliran air 0,002089 m³/s terjadi peningkatan dipembebanan 7 kg dengan daya yang diperoleh turbin sebesar 7,9027 watt, lalu terjadi penurunan nilai daya sampai turbin tidak bergerak pada pembebanan 14 kg. Selanjutnya kapasitas aliran air 0,002311 m³/s juga terjadi peningkatan dipembebanan 7 kg dengan daya yang diperoleh turbin sebesar 8,0547 watt, lalu terjadi penurunan nilai daya sampai turbin tidak bergerak pada pembebanan 15 kg.

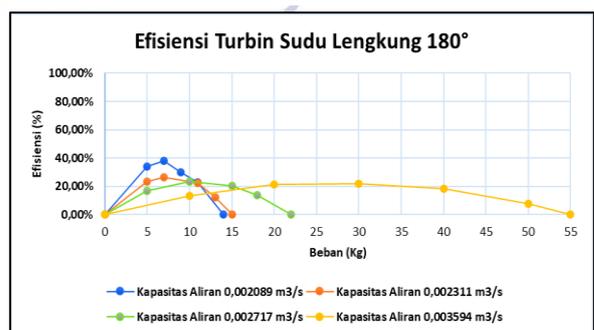
Selanjutnya kapasitas aliran air 0,002717 m³/s terjadi peningkatan pada beban 10 kg dengan daya yang diperoleh sebesar 15,3767 watt, lalu nilai daya yang diperoleh menurun sampai turbin tidak bergerak pada pembebanan 22 kg. Lalu pada kapasitas aliran air 0,003594 m³/s terjadi peningkatan pada pembebanan 30 kg dengan nilai daya yang diperoleh sebesar 37,1037 watt, lalu nilai daya yang dihasilkan terjadi penurunan sampai turbin tidak bergerak pada pembebanan 55 kg.

Dari gambar grafik 7 tersebut dapat disimpulkan bahwa turbin pada kapasitas aliran air 0,003594 m³/s dengan pembebanan 30 kg memiliki nilai daya tertinggi yaitu 37,1037 watt. Hal ini dipengaruhi oleh bertambahnya kapasitas aliran air memberikan gaya dorong yang besar sehingga turbin mampu berputar meskipun diberi beban yang berat. Namun akan terjadi penurunan nilai daya yang dihasilkan ketika semakin berat pembebanan yang diberikan, maka perlunya gaya dorong yang lebih besar agar turbin mampu berputar.

Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Efisiensi Turbin Berpenampang Lengkung pada Kelengkungan Sudu 180°

Tabel 2. Hasil Perhitungan Efisiensi Variasi Kapasitas Aliran Air pada Kelengkungan Sudu 180°

Efisiensi Turbin Variasi Sudu Lengkung 180° (%)				
Beban (Kg)	Kapasitas Aliran 0,002089 m³/s	Kapasitas Aliran 0,002311 m³/s	Kapasitas Aliran 0,002717 m³/s	Kapasitas Aliran 0,003594 m³/s
0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
5	34,19%	23,60%	16,94%	
7	38,29%	26,46%		
9	29,76%			
10			23,54%	13,58%
11	22,85%	22,46%		
13		12,13%		
14	0,00%			
15		0,00%	20,62%	
18			14,04%	
20				21,45%
22			0,00%	
30				21,85%
40				18,36%
50				7,61%
55				0,00%



Gambar 8. Garfik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Efisiensi Turbin pada Kelengkungan Sudu 180°

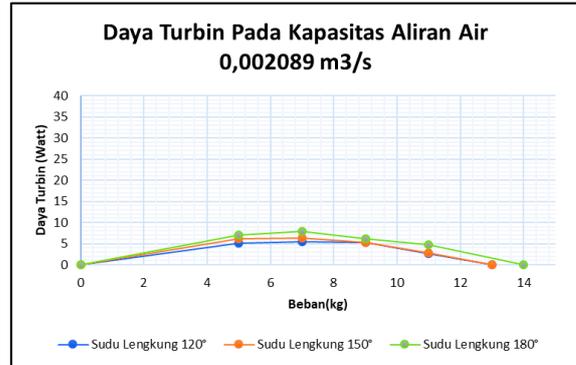
Turbin dengan variasi kelengkungan sudu 180° pada kapasitas aliran air 0,002089 m³/s menghasilkan efisiensi paling tinggi dengan daya turbin paling rendah. Seperti yang terlihat pada gambar grafik 8 bahwa kapasitas aliran air 0,002089 m³/s terjadi kenaikan efisiensi dipembebanan 7 kg dengan efisiensi yang diperoleh sebesar 38,29%, lalu terjadi penurunan nilai efisiensi sampai turbin tidak bergerak pada pembebanan 14 kg. Efisiensi turbin dengan kapasitas aliran air 0,002311 m³/s terjadi kenaikan pada pembebanan 7 kg dengan nilai efisiensi yang diperoleh sebesar 26,46%, lalu efisiensi yang diperoleh menurun sampai turbin tidak bergerak kembali pada pembebanan 15 kg. Turbin pada kapasitas aliran air 0,002717 m³/s terjadi kenaikan nilai efisiensi pada pembebanan 10 kg dengan efisiensi yang diperoleh sebesar 23,54%, lalu efisiensi yang dihasilkan menurun dan turbin tidak bergerak dipembebanan 22 kg. Pada kapasitas aliran air 0,003594 m³/s terjadi peningkatan dipembebanan 30 kg dengan efisiensi yang diperoleh sebesar 21,85%, lalu efisiensi yang diperoleh mulai menurun dan turbin tidak bergerak pada pembebanan 55 kg.

Dari gambar grafik 8 dapat ditarik kesimpulan yaitu turbin dengan kapasitas aliran air 0,002089 m³/s pada pembebanan 7 kg memiliki nilai efisiensi tertinggi yaitu 38,29%. 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 Kelengkungan Sudu Terhadap Daya Turbin pada Kapasitas Aliran 0,002089 m³/s

Tabel 3. Daya Turbin Berpenampang Lengkung pada Kapasitas Aliran Air 0,002089 m³/s

Daya Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0,002089 m ³ /s (Watt)				
No	Beban (kg)	Sudu Lengkung 120°	Sudu Lengkung 150°	Sudu Lengkung 180°
1	0	0	0	0
2	5	5,01396107	6,169034667	7,056526086
3	7	5,427873	6,403782	7,902711771
4	9	5,275017629	5,354682667	6,142305714
5	11	2,653798086	2,836508889	4,7149476
6	13	0	0	0
7	14	0	0	0



Gambar 9. Grafik Pada Kapasitas Aliran Air 0,002089 m³/s Terhadap Daya Turbin

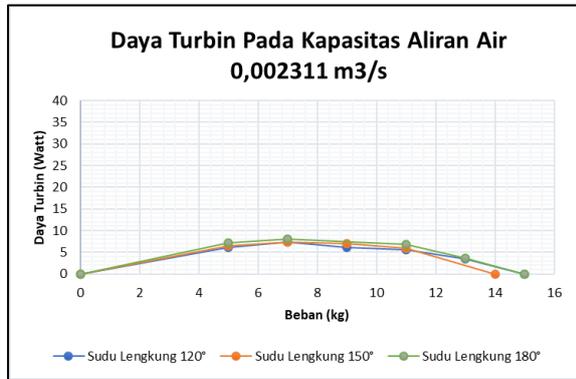
Gambar grafik 9 menerangkan bahwa turbin dengan kelengkungan sudu 180° meningkat pada pembebanan 7 kg dengan nilai daya yang diperoleh sebesar 7,9027 watt, lalu terjadi penurunan nilai daya hingga turbin tidak bergerak Kembali dipembebanan 14 kg. Daya turbin pada kelengkungan sudu 120° terjadi peningkatan dipembebanan 7 kg dengan nilai daya yang diperoleh sebesar 5,4279 watt dan nilai daya menurun hingga turbin tidak bergerak pada pembebanan 13 kg. Kemudian daya turbin pada kelengkungan sudu 150° juga terjadi peningkatan daya turbin pada pembebanan 7 kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 6,4037 watt lalu mengalami penurunan daya hingga turbin tidak bergerak lagi dipembebanan 13 kg.

Dari gambar grafik 9 dapat disimpulkan bahwa dengan kapasitas aliran air 0,002089 m³/s turbin dengan kelengkungan sudu 180° menghasilkan daya tertinggi yaitu sebesar 7,9027 watt. Hal ini dikarenakan pada kapasitas aliran air tersebut, air terjun melalui nozzle mengenai penampang turbin dengan kelengkungan sudu 180° menerima tekanan air yang paling besar daripada kelengkungan sudu 120° dan 150° sehingga memiliki daya turbin yang paling besar pula.

Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Terhadap Daya Turbin pada Kapasitas Aliran 0,002311 m³/s

Tabel 4. Daya Turbin Berpenampang Lengkung pada Kapasitas Aliran Air 0,002311 m³/s

Daya Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0,002311 m ³ /s (Watt)				
No	Beban (kg)	Sudu Lengkung 120°	Sudu Lengkung 150°	Sudu Lengkung 180°
1	0	0	0	0
2	5	6,0774912	6,467332667	7,185384329
3	7	7,25884877	7,283686667	8,054710714
5	9	6,117109586	6,915934667	0
6	11	5,625742257	5,986664444	6,836012857
7	13	3,4238644	0	3,692834357
8	14	0	0	0
9	15	0	0	0



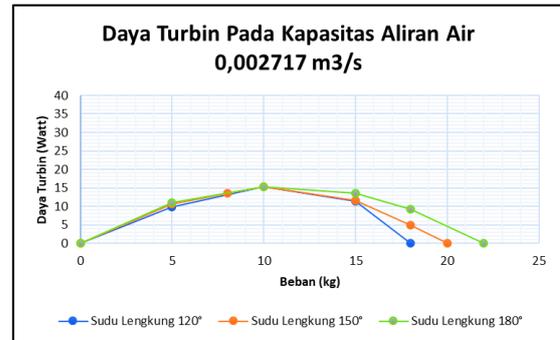
Gambar 10. Grafik Pada Kapasitas Aliran Air 0,002311 m³/s Terhadap Daya Turbin

Gambar grafik 10 menerangkan bahwa daya turbin pada kelengkungan sudu 180° meningkat pada pembebanan 7 kg dengan daya yang diperoleh sebesar 8,0547 watt, lalu mengalami penurunan dan berhenti pada pembebanan 15 kg. Daya turbin dengan kelengkungan 120° mengalami peningkatan nilai daya turbin dipembebanan 7 kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 7,2588 watt, setelah itu mengalami penurunan hingga turbin tidak bergerak pada pembebanan 15 kg. Kemudian pada turbin dengan kelengkungan sudu 150° terjadi peningkatan nilai daya turbin pada pembebanan 7 kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 7,2836 watt, setelah itu daya turbin mengalami penurunan dan tidak bergerak pada pembebanan 14 kg.

Dapat disimpulkan bahwa dengan kapasitas aliran air 0,002311 m³/s turbin dengan kelengkungan sudu 180° menghasilkan daya tertinggi yaitu sebesar 8,0547 watt. Hal ini dikarenakan pada kapasitas aliran air tersebut, air terjun melalui *nozzle* mengenai penampang turbin dengan kelengkungan sudu 180° menerima tekanan air yang paling besar daripada kelengkungan sudu 120° dan 150° sehingga memiliki daya turbin yang paling besar pula.

Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Terhadap Daya Turbin pada Kapasitas Aliran 0,002717 m³/s
Tabel 5. Daya Turbin Berpenampang Lengkung pada Kapasitas Aliran Air 0,002717 m³/s

Daya Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0,002717 m ³ /s (Watt)				
No	Beban (kg)	Sudu Lengkung 120°	Sudu Lengkung 150°	Sudu Lengkung 180°
1	0	0	0	0
2	5	9,9027808	10,60306531	11,0661705
3	8		13,59049371	
4	10	15,2561103	15,32164417	15,37672966
5	15	11,4515462	11,68134314	13,4704053
6	18	0	5,019356571	9,168855771
7	20		0	
9	22			0



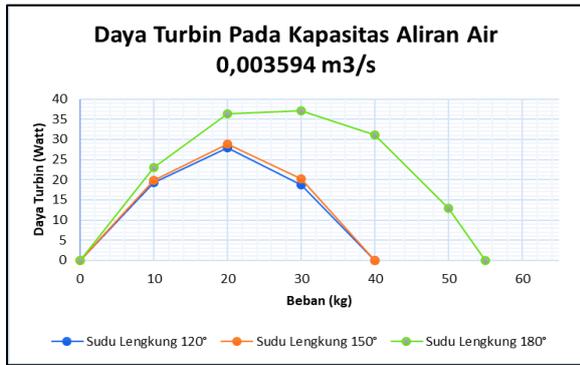
Gambar 11. Grafik Pada Kapasitas Aliran Air 0,002717 m³/s Terhadap Daya Turbin

Gambar grafik 11 menerangkan bahwa daya turbin dengan kelengkungan sudu 180° meningkat pada pembebanan 10 kg dengan daya yang diperoleh sebesar 15,3767 watt, lalu menurun hingga turbin tidak bergerak pada pembebanan 22 kg. Kemudian daya turbin pada kelengkungan sudu 120° meningkat pada pembebanan 10 kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 15,2561 watt, lalu terjadi penurunan daya hingga turbin tidak bergerak pada pembebanan 18 kg. Berikutnya daya turbin pada turbin dengan kelengkungan sudu 150° meningkat pada pembebanan 10 kg dengan daya yang dihasilkan sebesar 15,3216 watt, setelah itu menurun dan tidak bergerak pada pembebanan 20 kg.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kapasitas aliran air 0,002717 m³/s turbin dengan kelengkungan sudu 180° menghasilkan daya tertinggi yaitu sebesar 15,3767 watt. Hal ini dikarenakan pada kapasitas aliran air tersebut, air terjun melalui *nozzle* mengenai penampang turbin dengan kelengkungan sudu 180° menerima tekanan air yang paling besar daripada kelengkungan sudu 120° dan 150° sehingga memiliki daya turbin yang paling besar pula.

Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Terhadap Daya Turbin pada Kapasitas Aliran 0,003594 m³/s
Tabel 6. Daya Turbin Berpenampang Lengkung pada Kapasitas Aliran Air 0,003594 m³/s

Daya Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0,003594 m ³ /s (Watt)				
No	Beban (kg)	Sudu Lengkung 120°	Sudu Lengkung 150°	Sudu Lengkung 180°
1	0	0	0	0
2	10	19,2920299	19,78293476	23,06747536
3	20	27,9309105	28,82697463	36,42764117
4	30	18,7175034	20,31234464	37,1037
5	40	0	0	31,1684846
6	45			
7	50			12,91559374
8	55			0



Gambar 12. Grafik Pada Kapasitas Aliran Air 0,003594 m³/s Terhadap Daya Turbin

Gambar grafik 12 menerangkan bahwa pada kelengkungan sudu 180° mengalami peningkatan pada pembebanan 30 kg dengan daya yang diperoleh sebesar 37,1037 watt, lalu terjadi penurunan daya hingga turbin tidak bergerak pada pembebanan 55 kg. Berikutnya daya turbin dengan kelengkungan sudu 120° meningkat pada pembebanan 20 kg dengan daya yang diperoleh sebesar 27,9309 watt, setelah itu menurun hingga turbin tidak bergerak pada pembebanan 40 kg. Kemudian daya turbin dengan kelengkungan sudu 150° terjadi peningkatan pada pembebanan 20 kg dengan daya yang diperoleh sebesar 28,8270 watt, lalu mengalami penurunan hingga turbin tidak bergerak lagi pada pembebanan 40 kg.

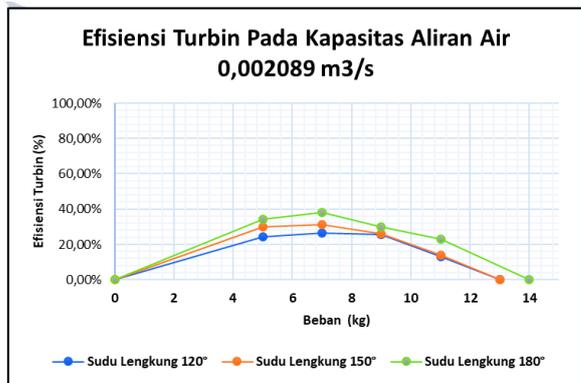
Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan kapasitas aliran air 0,003594 m³/s turbin dengan kelengkungan sudu 180° menghasilkan daya tertinggi yaitu sebesar 37,1037 watt. Hal ini dikarenakan turbin dengan kelengkungan sudu 180° lebih dalam lengkungannya dibandingkan dengan kelengkungan sudu 120° dan 150°. 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.

Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa meningkatnya kapasitas aliran air memengaruhi besarnya daya turbin karena putaran dan torsi turbin yang berbeda dalam setiap pembebanan. Pembebanan yang terus meningkat pada saat pengujian menyebabkan torsi pada turbin menjadi semakin besar. Apabila gaya turbin tidak cukup besar menahan beban maka putaran turbin akan berkurang hingga turbin berhenti berputar. Pada penelitian ini dari ketiga variasi kelengkungan sudu, daya turbin tertinggi terletak pada variasi kelengkungan sudu 180° dengan kapasitas aliran air 0,003594 m³/s pada pembebanan 30 kg sebesar 37,1037 watt.

Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Terhadap Efisiensi Turbin pada Kapasitas Aliran 0,002089 m³/s

Tabel 7. Efisiensi Turbin Berpenampang Lengkung pada Kapasitas Aliran Air 0,002089 m³/s

Efisiensi Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0,002089 m ³ /s (%)				
No	Beban (kg)	Sudu Lengkung 120°	Sudu Lengkung 150°	Sudu Lengkung 180°
1	0	0,00%	0,00%	0,00%
2	5	24,29%	29,89%	34,19%
3	7	26,30%	31,03%	38,29%
4	9	25,56%	25,95%	29,76%
5	11	12,86%	13,74%	22,85%
6	13	0,00%	0,00%	0,00%
7	14	0,00%	0,00%	0,00%



Gambar 13. Grafik Pada Kapasitas Aliran Air 0,002089 m³/s Terhadap Efisiensi Turbin

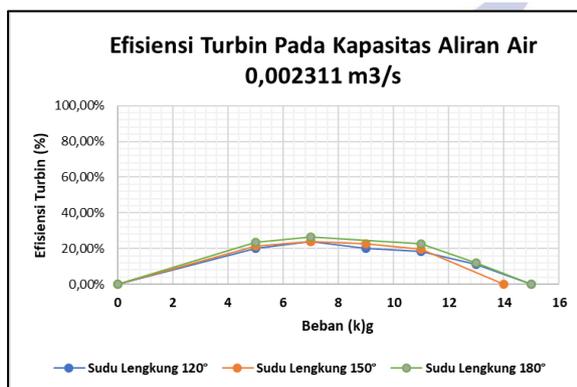
Gambar grafik 13 menerangkan bahwa efisiensi turbin pada kelengkungan sudu 180° meningkat hingga pembebanan 7 kg dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 38,29%, lalu terjadi penurunan efisiensi hingga turbin tidak bergerak pada pembebanan 14 kg. Berikutnya efisiensi turbin pada kelengkungan sudu 120° mengalami peningkatan dipembebanan 7 kg dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 26,30% dan terjadi penurunan efisiensi hingga turbin tidak bergerak pada pembebanan 13 kg. Kemudian efisiensi turbin pada kelengkungan sudu 150° meningkat dipembebanan 7 kg dengan nilai efisiensi yang dihasilkan sebesar 31,03%, lalu mengalami penurunan sampai turbin tidak bergerak lagi pada pembebanan 13 kg.

Dari gambar grafik 13 tersebut dapat disimpulkan bahwa turbin dengan kelengkungan sudu 180° pada kapasitas aliran 0,002089 m³/s memiliki nilai efisiensi tertinggi yaitu sebesar 38,29%. Hal ini dikarenakan nilai perbandingan antara daya turbin dan daya air yang dihasilkan cukup kecil, sehingga didapatkan hasil efisiensi yang cukup tinggi.

Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Terhadap Efisiensi Turbin pada Kapasitas Aliran 0,002311 m³/s

Tabel 8. Efisiensi Turbin Berpenampang Lengkung pada Kapasitas Aliran Air 0,002311 m³/s

Efisiensi Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0,002311 m ³ /s (%)				
No	Beban (kg)	Sudu Lengkung 120°	Sudu Lengkung 150°	Sudu Lengkung 180°
1	0	0,00%	0,00%	0,00%
2	5	19,97%	21,25%	23,60%
3	7	23,85%	23,93%	26,46%
4	9	20,10%	22,72%	
5	11	18,48%	19,67%	22,46%
6	13	11,25%		12,13%
7	14		0,00%	
8	15	0,00%		0,00%



Gambar 14. Grafik Pada Kapasitas Aliran Air 0,002311 m³/s Terhadap Efisiensi Turbin

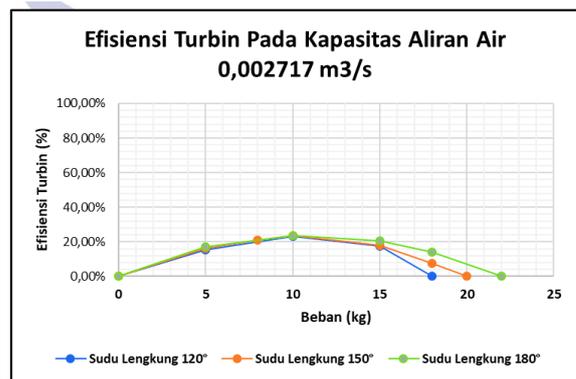
Gambar grafik 14 menerangkan bahwa nilai efisiensi turbin dengan kelengkungan sudu 180° mengalami peningkatan pada pembebanan 7 kg dengan efisiensi yang diperoleh sebesar 26,46%, lalu mengalami penurunan hingga turbin tidak bergerak dipembebanan 15 kg. Berikutnya efisiensi turbin pada kelengkungan sudu 120° mengalami peningkatan dipembebanan 7 kg dengan nilai efisiensi yang dihasilkan sebesar 23,85%, lalu menurun hingga turbin tidak bergerak lagi pada pembebanan 15 kg. Kemudian efisiensi pada turbin dengan kelengkungan sudu 150° terjadi peningkatan efisiensi pada pembebanan 7 kg dengan nilai efisiensi yang diperoleh sebesar 23,93%, lalu terjadi penurunan efisiensi hingga turbin tidak bergerak pada pembebanan 14 kg.

Dari gambar grafik 14 tersebut dapat disimpulkan bahwa turbin dengan kelengkungan sudu 180° pada kapasitas aliran air 0,002311 m³/s memiliki nilai efisiensi tertinggi yaitu sebesar 26,46%. 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 Kelengkungan Sudu Terhadap Efisiensi Turbin pada Kapasitas Aliran 0,002717 m³/s

Tabel 9. Efisiensi Turbin Berpenampang Lengkung pada Kapasitas Aliran Air 0,002717 m³/s

Efisiensi Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0,002717 m ³ /s (%)				
No	Beban (kg)	Sudu Lengkung 120°	Sudu Lengkung 150°	Sudu Lengkung 180°
1	0	0,00%	0,00%	0,00%
2	5	15,16%	16,23%	16,94%
3	8		20,81%	
4	10	23,36%	23,46%	23,54%
5	15	17,53%	17,89%	20,62%
6	18	0,00%	7,68%	14,04%
7	20		0,00%	
9	22			0,00%



Gambar 15. Grafik Pada Kapasitas Aliran Air 0,002717 m³/s Terhadap Efisiensi Turbin

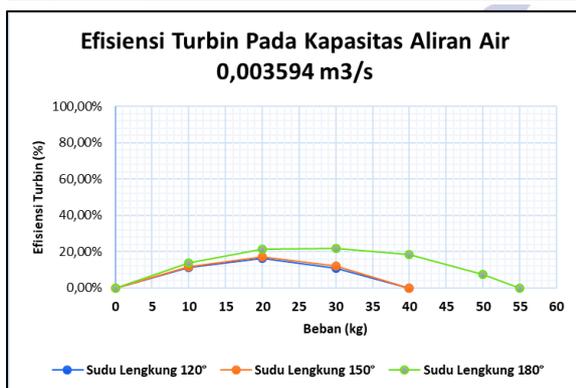
Gambar grafik 12 menerangkan bahwa nilai efisiensi turbin dengan kelengkungan sudu 180° mengalami peningkatan dipembebanan 10 kg dengan nilai efisiensi yang diperoleh sebesar 23,54%, lalu menurun hingga turbin tidak bergerak pada pembebanan 22 kg. Berikutnya efisiensi turbin dengan kelengkungan sudu 120° meningkat pada pembebanan 10 kg dengan nilai efisiensi yang dihasilkan sebesar 23,36%, lalu menurun hingga turbin tidak bergerak pada pembebanan 18 kg. Kemudian turbin dengan kelengkungan sudu 150° terjadi peningkatan nilai efisiensi pada pembebanan 10 kg dengan nilai efisiensi yang diperoleh sebesar 23,46%, lalu terjadi penurunan nilai efisiensi hingga turbin tidak bergerak lagi pada pembebanan 20 kg.

Dari gambar grafik 15 tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa turbin dengan kelengkungan sudu 180° pada kapasitas aliran air 0,002717 m³/s memiliki nilai efisiensi optimal dengan nilai efisiensi yang diperoleh sebesar 23,54%. 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 Kelengkungan Sudu Terhadap Efisiensi Turbin pada Kapasitas Aliran 0,003594 m³/s

Tabel 10. Efisiensi Turbin Berpenampang Lengkung pada Kapasitas Aliran Air 0,003594 m³/s

Efisiensi Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 0,003594 m ³ /s (%)				
No	Beban (kg)	Sudu Lengkung 120°	Sudu Lengkung 150°	Sudu Lengkung 180°
1	0	0,00%	0,00%	0,00%
2	10	15,12%	15,51%	18,08%
3	20	21,90%	22,60%	28,56%
4	30	14,67%	15,92%	29,09%
5	40	0,00%	0,00%	24,19%
6	45			
7	50			10,02%
8	55			0,00%



Gambar 16. Grafik Pada Kapasitas Aliran Air 0,003594 m³/s Terhadap Efisiensi Turbin

Gambar grafik 12 menerangkan bahwa nilai efisiensi turbin dengan kelengkungan sudu 180° mengalami peningkatan pada pembebanan 30 kg dengan nilai efisiensi yang diperoleh sebesar 21,85%, lalu mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin tidak bergerak pada pembebanan 55 kg. Berikutnya efisiensi turbin dengan kelengkungan sudu 120° meningkat pada pembebanan 20 kg dengan nilai efisiensi yang diperoleh sebesar 16,45%, lalu nilai efisiensi menurun hingga turbin tidak bergerak pada pembebanan 40 kg. Kemudian efisiensi pada turbin dengan kelengkungan 150° mengalami peningkatan nilai efisiensi pada pembebanan 20 kg dengan nilai efisiensi yang diperoleh sebesar 16,98%, lalu mengalami penurunan hingga turbin tidak bergerak pada pembebanan 40 kg.

Dari gambar grafik 16 tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa turbin dengan kelengkungan sudu 180° pada kapasitas aliran air 0,003594 m³/s didapat nilai efisiensi tertinggi yaitu sebesar 21,85%. 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.

Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa besarnya efisiensi sebuah turbin dipengaruhi oleh daya turbin dan daya air. Ketika daya air yang digunakan semakin besar sementara daya turbin yang dihasilkan tidak terlalu besar maka nilai efisiensi akan menurun. Apabila nilai perbandingan antara daya turbin dan daya air yang dihasilkan cukup kecil, maka hasil efisiensi yang didapatkan cukup tinggi. Pada penelitian ini dari ketiga variasi kelengkungan sudu, efisiensi tertinggi terletak pada variasi kelengkungan sudu 180° dengan kapasitas aliran air 0,002089 m³/s pada pembebanan 7 kg sebesar 38,29%.

PENUTUP

Simpulan

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

- Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh variasi kelengkungan sudu terhadap daya yang dihasilkan oleh turbin *pelton* dengan posisi melintang. Dimana nilai daya turbin semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kapasitas aliran air yang digunakan. Dari 3 (tiga) variasi kelengkungan sudu (120°, 150°, dan 180°) yang mendapatkan daya turbin tertinggi yaitu turbin dengan variasi kelengkungan sudu 180° pada kapasitas aliran air 0,003594 m³/s dengan pembebanan 30 kg sebesar 37,1037 watt.
- Penelitian ini menunjukkan adanya pengaruh variasi kelengkungan sudu terhadap efisiensi yang dihasilkan oleh turbin *pelton* dengan posisi melintang. Dimana nilai efisiensi turbin semakin optimal, namun dengan daya yang dihasilkan seminimal mungkin. Dari 3 (tiga) variasi kelengkungan sudu (120°, 150°, dan 180°) yang mendapatkan efisiensi turbin optimal yaitu turbin dengan variasi kelengkungan sudu 180° pada kapasitas aliran air 0,002089 m³/s dengan pembebanan 7 kg sebesar 38,29%

Saran

Menurut hasil penelitian, pengujian dan analisa yang telah dilakukan. Terdapat saran untuk dilakukan penelitian lebih lanjut, yaitu melakukan modifikasi pada bentuk sudu turbin agar diharapkan memiliki daya tertinggi dan efisiensi yang lebih optimal dari penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- Dwi Fernanda, A., & Heru adiwibowo, P. (2021). *Pengaruh Variasi Diameter Ujung Nossel Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Pelton*. 06(03), 8–17.
- Husen, A. (2021). *Uji Eksperimental Bentuk Sudu-Sudu Pada Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Air Turbin Pelton*. 23(2), 32–42.
- Jaedun, A. (2011). Metodologi Penelitian Eksperimen. *Metodologi Penelitian Eksperimen*, 0–12
- 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.
- Mafrudin, D. I. (2020). *Turbin Impuls*. Lampung. CV. LADUNY ALIFATAMA (Penerbit Laduny) Anggota IKAPI
- Pribadi, A. (2020). Hingga Juni 2020 , Kapasitas Pembangkit di Indonesia 71. *Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral, September*. Jakarta
- Pribadi, A. (2021). Triwulan III 2021 : Rasio Elektrifikasi 99 , 40 % , Kapasitas Pembangkit EBT 386 MW. *Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral, November*. Jakarta
- Purwanto, Ermawati, T., Dwias, I., & Wiranta, S. (2017). *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Sebuah Pilihan : Belajar dari Koperasi Mekar Sari, Subang*.
- 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.

