

## UJI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI KELENGKUNGAN SUDU BERPENAMPANG LENGKUNG TERHADAP KINERJA TURBIN REAKSI *CROSSFLOW* POROS HORIZONTAL

**Dahlia Sakurti Ningsih**

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
Email : dahlia.17050754049@mhs.unesa.ac.id

**Priyo Heru Adiwibowo**

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

### Abstrak

Perkembangan teknologi yang canggih mendorong pertumbuhan ekonomi yang memicu peningkatan konsumsi energi yang dibutuhkan. Energi alternatif berperan untuk mencegah krisis energi dan dipilih karena lebih ramah lingkungan dengan sumber dapat diperbarui. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTM) memanfaatkan energi potensial air untuk diubah menjadi energi listrik dengan bantuan turbin *crossflow*. Penelitian yang dilakukan saat ini memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh kelengkungan sudu berpenampang lengkung terhadap kinerja turbin reaksi *crossflow* poros horizontal. Metode yang dipergunakan pada penelitian ini yaitu metode eksperimen dengan memvariasikan kelengkungan sudut sudu sebesar 90°, 120°, 150° dan 180° berpenampang lengkung pada turbin reaksi *crossflow* poros horizontal. Banyaknya sudu yang dipergunakan adalah 6 sudu yang setelahnyan akan diujikan dengan beberapa variasi kapasitas aliran air sebesar 9,572L/s, 11,024L/s, 14,322L/s, 16,152L/s, dan 18,113L/s. Dengan mevariasikan beberapa pembebanan seperti 500 gram, 1000 gram, 1500 gram, dan seterusnya hingga mengalami pelambatan bahkan turbin berhenti berputar. Hasil akhir yang diperoleh pada penelitian ini didapat bahwa daya maksimum yang mampu diapatkan dari pengujian yang telah dilakukan pada kelengkungan sudut sudu 120° lebih besar dibandingkan dengan kelengkungan sudut 90°, 150°, 180°, dan nilai daya yang mampu dihasilkan sebesar 4,008 Watt dengan pembebanan 13000 gram saat kapasitas aliran air sejumlah 18,113 L/s. Efisiensi paling optimal yang didapatkan dari turbin yaitu pada kelengkungan 120° lebih besar dibandingkan dengan kelengkungan sudu 90°, 150°, 180° dan nilai efisiensi yang mampu dihasilkan sebesar 88,96% dengan pembebanan pada 4500 gram saat kapasitas aliran air sejumlah 11,024 L/s. Penyebabnya pada kelengkungan sudu turbin 120° cukup mampu memanfaatkan adanya aliran air dengan sangat bagus dan dapat menghasilkan daya dorong yang menyebabkan mampu untuk memutar turbin dengan dengan nilai daya yang tinggi bersamaan dengan efisiensi yang besar

**Kata kunci** : Turbin, *Crossflow*, Daya, Efisiensi, Horizontal, Kelengkungan, Sudu

### Abstract

*The development of sophisticated technology encourages economic growth which triggers an increase in the consumption of required energy. Alternative energy plays a role in preventing energy crises and is chosen because it is more environmentally friendly with renewable sources. Micro Hydro Power Plant (MHP) utilizes the potential energy of water to be converted into electrical energy with the help of a crossflow turbine. The purpose of this study was to determine the effect of the curvature of the curved cross-sectional blade on the performance of the horizontal shaft crossflow reaction turbine. This research uses an experimental method by varying the blade curvature of 90°, 120°, 150° and 180° with a curved cross section on a horizontal shaft crossflow reaction turbine. The number of blades used is 6 blades which will be tested with variations in water flow capacity of 9.572 L/s, 11.024 L/s, 14.322 L/s, 16.152 L/s, and 18.113 L/s. With variations in loading at 500 grams, 1000 grams, 1500 grams, and continuously until the turbine slowdown and even stops rotating. The final results obtained in this study were that the maximum power that can be obtained from the tests that have been carried out on the blade angle curvature of 120° is greater than the angle curvature of 90°, 150°, 180°, and the power value that can be produced is 4.008 Watt with loading 13000 grams when the water flow capacity is 18.113 L/s. The most optimal efficiency obtained from the turbine is that at 120° curvature it is greater than the blade curvature of 90°, 150°, 180° and the efficiency value that can be produced is 88.96% with a loading of 4500 grams when the water flow capacity is 11.024 L/s. The reason is that the 120° turbine blade curvature is quite capable of utilizing the presence of water flow very well and can generate thrust which causes it to be able to rotate the turbine with a high power value along with great efficiency*

**Keywords** : Turbine, *Crossflow*, Power, Efficiency, Horizontal, Curvature, Blade

### Pendahuluan

Perkembangan teknologi yang semakin canggih setiap waktu mendorong peningkatan konsumsi energi yang

dibutuhkan. Energi yang harus selalu tersedia dan siap digunakan menjadikan kebutuhan energi semakin meningkat. Tidak hanya dipengaruhi oleh teknologi

yang semakin membaik namun juga pertumbuhan ekonomi maupun penambahan populasi penduduk yang terjadi setiap tahunnya juga ikut mempengaruhinya.

Permintaan kebutuhan akan energi sangat berkaitan dengan aktivitas pertumbuhan ekonomi. Diasumsikan pertumbuhan ekonomi sesuai dengan “Visi Indonesia 2045” telah memperkirakan bahwa pertumbuhan ekonomi Indonesia sampai pada tahun 2045 yaitu mencapai sekitar 5,6% (Bappenas, 2019), yang sebelumnya pertumbuhan ekonomi Indonesia pada tahun 2019 ditargetkan oleh APBN mencapai 5,3% (Directorate General of State Budget, 2019) Bersumber pada dengan ini menjadikan pertimbangan permintaan akan energi juga meningkat akan meningkat.

Indonesia sebagai salah satu negara dengan jumlah populasi penduduk terbesar di dunia. Diketahui dari publikasi hasil proyeksi bahwa populasi penduduk Indonesia selama dua puluh lima tahun mendatang akan terus meningkat dari 238,5 juta jiwa pada tahun 2010 dan akan terus meningkat menjadi 305,6 juta jiwa pada tahun 2035 (Badan Pusat Statistik, 2013). Dengan adanya pertumbuhan populasi setiap tahunnya secara langsung sangat mempengaruhi banyaknya permintaan energi.

Pada tahun 2018, total produksi energi primer yang terdiri dari minyak bumi, gas bumi, batu bara, dan energi terbarukan mencapai 411,6 MTOE. Total konsumsi energi final (tanpa biomassa tradisional) tahun 2018 sekitar 114 MTOE terdiri dari sector transportasi 40%, kemudian industri 36%, rumah tangga 16%, komersial dan sector lainnya masing-masing 6% dan 2%. (Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019)

Salah satu solusi yang diperlukan adalah adanya energi alternatif. Energi alternatif menjadi salah satu solusi membantu memenuhi energi yang dibutuhkan untuk menghindari terjadinya krisis energi kedepannya. Tidak hanya itu energi alternatif juga lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar fosil (minyak bumi, gas bumi, batu bara) dikarenakan tidak menghasilkan polusi. Sifat bahan bakar fosil juga tidak dapat diperbarui dan akan habis jika digunakan terus-menerus berbeda dengan energi alternatif yang tidak akan habis.

Mikro hidro atau yang Pembangkit Listrik Tenaga Mikro hidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. Pada sungai Air Anak terdapat potensi ketersediaan air yang cukup

sepanjang tahun, debit yang dapat diandalkan, memiliki kontur yang sesuai dan telah dimanfaatkan untuk PLTMH. (Very Dwiyanto, Dyah Indriana K, 2018)

Pemilihan sudu (blade) sangat penting tergantung kebutuhan masing masing. Salah satunya *crossflow*, ini digunakan pada aliran air dengan head menengah. Kelebihan tipe ini adalah efisiensinya yang tinggi karena dalam proses penyerapan energi air dilakukan dua kali. Air yang pertama kali masuk turbin akan diserap tenaganya oleh sudu bagian atas kemudian melalui rongga dalam turbin. Pada saluran keluar, air sekali lagi melewati sudu sehingga energi yang masih terkandung dalam air diserap untuk kedua kalinya (Suryono & Nusantara, 2017).

Penelitian yang dilakukan oleh (Hanggara & Irvani, 2017) dengan judul “ Potensi PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) Di Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang” hasilnya yaitu rerata energi yang dihasilkan untuk 4 lokasi pengamatan sebesar 47,75 KW yang setara untuk pemenuhan energi listrik 47 rumah jika diasumsikan daya tiap rumah sebesar 1 KW.

Penelitian yang telah dilakukan oleh (Hanggara & Irvani, 2017) dengan judul “ Potensi PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) Di Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang” diperoleh hasil yaitu rerata energi yang dapat dihasilkan untuk 4 lokasi pengamatan sebesar 47,75 KW setara untuk memenuhi energi listrik 47 rumah jika diasumsikan daya tiap rumah sebesar 1 KW.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Pramesti, 2018) dengan judul “Analisa pengaruh sudut sudu terhadap kerja turbin kinetik poros horizontal dan vertikal”. Hasilnya bahwa turbin dengan tipe poros horizontal memiliki nilai daya dan efisiensi yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan turbin poros vertikal.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Yani et al., 2017) dengan judul “Pengaruh Variasi Sudu Terhadap Kinerja Turbin Air Kinetik” hasil penelitian bahwa salah satu faktor yang mempengaruhi daya dan efisiensi adalah bentuk sudu. Efisiensi dan daya tertinggi terdapat pada sudu yang berbentuk lengkung dengan nilai sebesar 4,699 Watt dan 29,659%, kemudian terdapat pada sudu mangkuk dengan daya dan efisiensi sebesar 4,508 Watt dan 28,457% dan setelahnya terjadi pada sudu datar dengan nilai daya dan efisiensi sebesar 3,080 Watt dan 19,439%.

Menurut (Anam & Adiwibowo, 2020) pada penelitiannya yang berjudul “Experimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Setengah Lingkaran Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin *Crossflow* Poros

Horizontal” yang telah dilakukan oleh mereka mendapatkan hasil penelitian bahwa pada turbin *crossflow* pada sudu setengah lingkaran memiliki nilai efisiensi tertinggi saat kapasitas aliran 11,010 L/s dengan pembebanan 6500 gram dihasilkan daya dan efisiensi turbin sebesar 2,650 Watt dan 48,14% saat variasi jumlah sudu adalah 6 sudu.

Penelitian yang dilakukan (Triswanto & Adiwibowo, 2017) tentang kinerja turbin reaksi dengan sudu berbentuk melengkung tipe U pada sudut kelengkungan 20°, 25,° dan 30°. Hasil penelitian turbin yang menggunakan sudu berbentuk melengkung tipe U menjelaskan bahwa besar sudut kelengkungan sangat mempengaruhi daya dan efisiensi yang dihasilkan, semakin besar sudut kelengkungan sudu turbin mengakibatkan peningkatan daya dan efisiensi. Daya dan efisiensi paling optimal terdapat pada sudut kelengkungan 30°.

Penelitian yang dilakukan (Sanditya et al., 2016) berjudul “Pengaruh Sudut Kelengkungan Sudu Savonius Pada Horizontal Axis Water Turbine Aliran Dalam Pipa”. Didapat sudut kelengkungan sudu berpengaruh pada kinerja turbin dengan fenomena hasil distribusi kecepatan fluida, contour tekanan, dan torsi pada variasi sudut kelengkungan sudu yaitu 110°, 120°, 130°, dan 140°. Dengan sudu yang optimal didapat pada kelengkungan sudu 120°.

## METODE

### • Jenis Penelitian

Metode eksperimen merupakan metode yang bertujuan untuk memperoleh data pada penelitian yang sedang dilakukan ini. Metode eksperimen diambil untuk mengetahui ada ataupun tidak hubungan antara sebab dan akibat (aksi-reaksi) dari beberapa variabel yang saling bersangkutan. Turbin dengan variasi kelengkungan sudu berpenampang lengkung menjadi alasan penunjang bagi peneliti untuk mencari hasil daya dan efisiensi terbaik pada turbin.

### • Variabel Penelitian

Pada Penelitian ini ada beberapa variabel yaitu;

#### ➤ Variabel Bebas

Variabel bebas (*independent*) pada studi eksperimen ini yaitu variasi kelengkungan sudu sudu turbin utama dengan sudut 90°, 120°, 150°, 180°



Gambar 1. Turbin *Crossflow* dengan variasi kelengkungan sudut sudu pada turbin berpenampang lengkung

#### ➤ Variabel Terikat

Studi eksperimen ini menggunakan variable yang terikat atau disebut variabel yang dipengaruhi.. Variable terikan adalah daya dan efisiensi yang terdapat pada turbin *crossflow* poros horizontal.

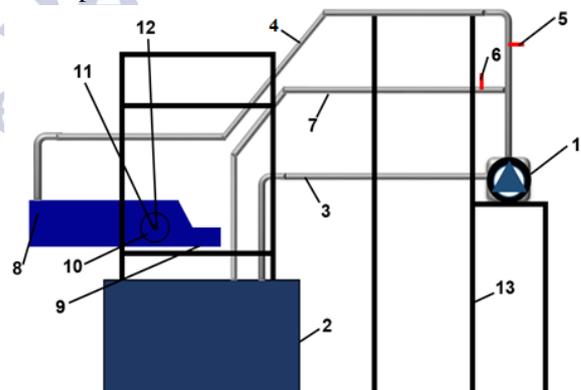
#### ➤ Variabel Kontrol

Variabel yang dikendalikan saat studi eksperimen ini dilakukan yaitu:

- Fluida yang digunakan studi eksperimen ini merupakan air.
- Kapasitas atau debit aliran air yang diatur yaitu 9,572 L/s, 11,024 L/s, 14,322 L/s, 16,152 L/s, dan 18,113 L/s.
- Turbin *crossflow* yang akan diujikan dengan banyak sudu utama sejumlah 6 dengan diameter 16 cm dan tinggi 15 cm pada poros horizontal.
- Bukaan katup 130°, 140°, 150°, 160°, 170°.
- Besaran beban yang diujikan 500 gram, 1000 gram, 1500 gram dan seterusnya hingga mengalami pelambatan bahkan turbin tidak bergerak atau berhenti berputar.

### • Peralatan dan Instrumen Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

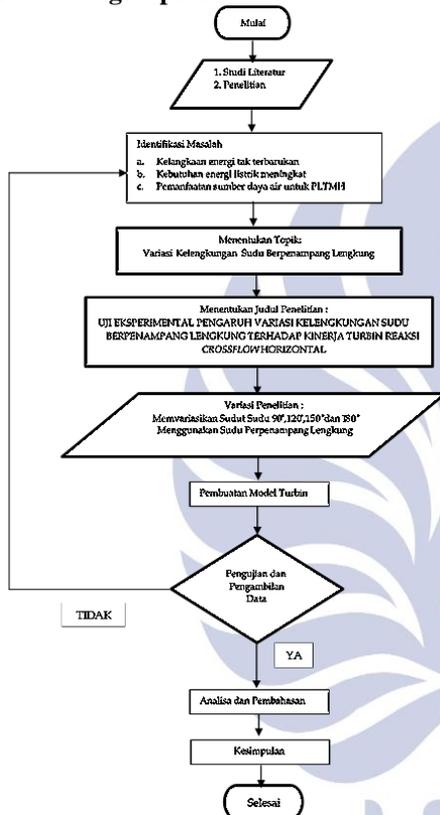


Gambar 2. Skema Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Keterangan :

1. Pompa
2. Bak Penampungan Air
3. Pipa Penyalur *Suction*
4. Saluran *Discharge*
5. Katup Utama
6. Katup *Bypass*
7. Saluran *Bypass*
8. Saluran *Inlet*
9. Area *Outlet*
10. Tempat Pemasangan Turbin
11. Posisi Rangka Poros
12. Posisi *Prony Brake*
13. Rangka Utama

• **Teknik Pengumpulan Data**



Gambar 3. Flowchart Penelitian

• **Teknik Pengumpulan Data**

Teknik pengumpulan data yang digunakan yaitu melakukan pengujian serta pengukuran objek dan dilanjutkan dengan pencatatan hasil pengujian.

• **Teknik Analisa Data**

Analisa data perlu dilakukan untuk memperoleh kesimpulan setelahnya. Analisa data dilakukan dengan cara mengambil data memakai alat ukur. Hasil pengukuran yang diperoleh dihitung secara teoritis dan ditampilkan berupa gambar grafik.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

• **Hasil Penelitian**

Pengambilan data pada penelitian dilakukan rerata 3 kali pengambilan. Hal ini dilakukan guna mendapatkan data yang valid. Data ini diperoleh dari eksperimen yang dilakukan pada turbin *crossflow* dengan variasi kelengkungan sudut sudu pada turbin utama sebesar 90°, 120°, 150°, 180°. Data sudah diperoleh dilakukan proses perhitungan pada kapasitas aliran air, daya air yang mengalir, gaya, torsi, kecepatan anguler, daya turbin, dan efisiensi turbin. Beberapa perhitungan diantaranya yaitu:

➤ Kapasitas Air (Q)

$$Q = cd \cdot \frac{g}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \text{tg} \frac{\theta}{2} \cdot H^{\frac{5}{2}} \dots (\text{Pritchard}, 2011:648)$$

Keterangan

- Q = Debit aliran air (m<sup>3</sup> /s)
- Cd = *Coefficient of Discharge*
- g = Gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)
- θ = Sudut *V-notch weir* (60°)
- H = Tinggi ambang (m)

➤ Luas Penampang Pada Aliran (A)

$$A = t \cdot l$$

Keterangan

- A = Luas penampang saluran (m<sup>2</sup>)
- t = Tinggi ambang air pada ujung keluaran pengarah (m)
- l = Lebar keluaran pengarah (m)

➤ Kecepatan Aliran Air (V)

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

Keterangan

- V = Kecepatan aliran saluran pengarah (m/s)
- Q = Kapasitas aliran (m<sup>3</sup>/s)
- A = luas penampang aliran (m<sup>2</sup>)

➤ Daya air (Pa)

$$Pa = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3$$

Keterangan

- Pa = Daya air (watt)
- ρ = Massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)
- A = Luas penampang aliran (m<sup>2</sup>)
- V = Kecepatan aliran (m/s)

➤ Gaya (F)

$$F = (m \text{ beban} - m \text{ neraca}) \cdot g \dots \dots \dots (\text{Khurmi \& Gupta}, 2005:10)$$

Keterangan

- F = Gaya (N)
- m = Beban (kg)
- g = Gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

➤ Torsi (T)

$$T = F \cdot r \dots \dots \dots (\text{Khurmi \& Gupta}, 2005:10)$$

Keterangan

- T = Torsi (N.m)
- F = Gaya (N)
- r = Lengan (m)

- Kecepatan Anguler ( $\omega$ )  

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60} \dots \dots \dots \text{(Khurmi \& Gupta, 2005:10)}$$

Keterangan  
 $\omega$  = Kecepatan (rad/s)  
 $\pi$  = 3,14  
 $n$  = Putaran (rpm)

- Daya Turbin ( $P_t$ )  

$$P_t = T \cdot \omega \dots \dots \dots \text{(Pritchard, 2011:504)}$$

Keterangan  
 $P_t$  = Daya turbin ( Watt)  
 $T$  = Torsi (N.m)  
 $\omega$  = Kecepatan angular (rad/s)

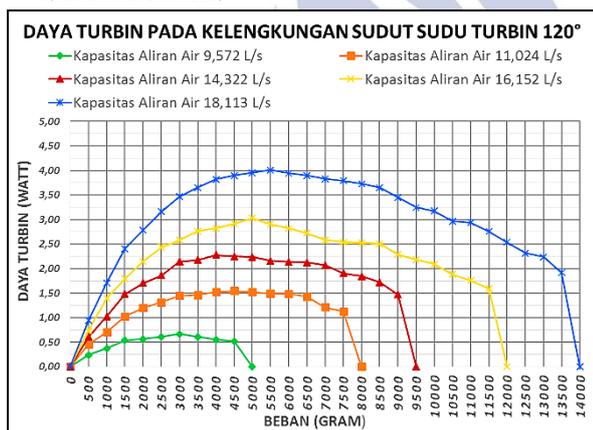
- Efisiensi Turbin ( $\eta$ )  

$$\eta = \frac{P_t}{P_a} \cdot 100\% \dots \dots \dots \text{(Pritchard, 2011:505)}$$

$\eta$  = Efisiensi turbin  
 $P_t$  = Daya turbin (Watt)  
 $P_a$  = Daya air (Watt)

**Pembahasan**

- Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Kinerja Daya Turbin Saat Kelengkungan Sudu Sudu Turbin 120°



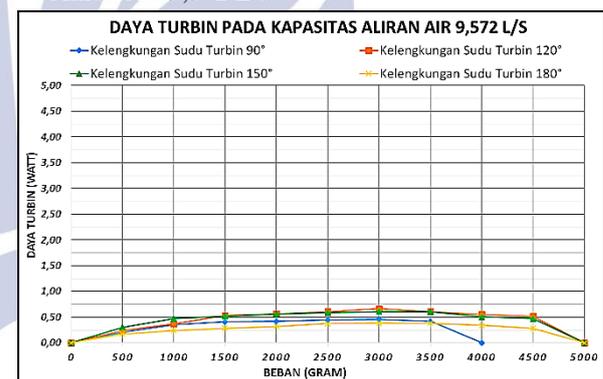
Gambar 4. Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Kinerja Daya Turbin Pada Kelengkungan Sudu Sudu Turbin 120°

Bersumber pada gambar 4 kelengkungan sudu sudu turbin 120° menghasilkan daya yang semakin meningkat sebanding dengan peningkatan kapasitas aliran air. Pada kapasitas aliran air sejumlah 9,572 L/s pembebanan ditingkatkan menjadi 3000 gram dan menghasilkan nilai daya turbin 0,665 Watt, lalu turbin berhenti berputar saat pembebanan 5000 gram. Pada kapasitas aliran air sejumlah 11,024 L/s pembebanan ditingkatkan menjadi 4500 gram dan menghasilkan nilai daya turbin 1,544 Watt, hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 8000 gram. Pada kapasitas aliran air sejumlah 14,322 L/s pembebanan ditingkatkan menjadi 4000 gram dan menghasilkan nilai daya turbin 2,277 Watt, hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 9500 gram. Pada kapasitas aliran air sejumlah 16,152 L/s pembebanan

ditingkatkan menjadi 5000 gram dan menghasilkan nilai daya turbin 3,030 Watt, hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 12000 gram. Pada kapasitas aliran air sejumlah 18,113 L/s pembebanan ditingkatkan menjadi 5500 gram dan menghasilkan nilai daya turbin 4,008 Watt, hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 14000 gram.

Kesimpulan dari gambar 4, kelengkungan sudu sudu turbin 120° saat kapasitas aliran air 18,113 L/s dengan pembebanan 5500 gram memiliki nilai daya tertinggi yaitu 4,008 Watt. Hal ini dipengaruhi oleh peningkatan kapasitas aliran air yang diberikan berbanding lurus terhadap daya turbin yang dihasilkan setelahnya, sehingga semakin besar gaya dorong yang diberikan maka semakin besar pula dalam memutar turbin, meskipun pembebanan terus ditingkatkan. Namun terjadi penurunan dari nilai daya yang disebabkan oleh semakin besarnya pembebanan yang diberikan karena telah mencapai titik maksimal.

- Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Sudu Terhadap Kinerja Daya Turbin Saat Kapasitas Aliran Air 9,572 L/s

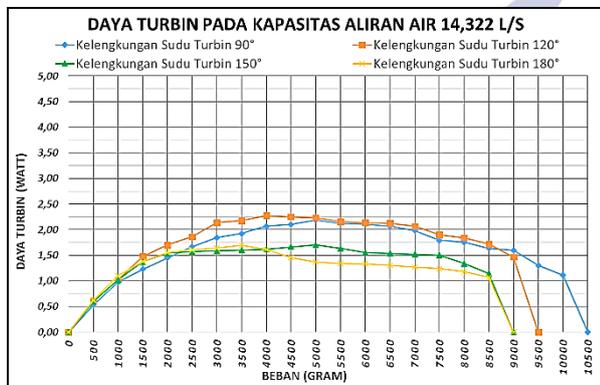


Gambar 5. Grafik Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Sudu Terhadap Kinerja Daya Pada Kapasitas Aliran Air 9,572 L/s

Bersumber pada gambar 5 kelengkungan sudu sudu 90° daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan 3000 gram dengan daya 0,461 Watt, hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 4000 gram. Pada kelengkungan sudu sudu 120° daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan 3000 gram dengan daya 0,665 Watt, hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 5000 gram. Pada kelengkungan sudu sudu 150° daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan 3000 gram dengan daya 0,606 Watt, hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 5000 gram. Pada kelengkungan sudu sudu 180° daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan 3000 gram dengan daya 0,385 Watt, hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 5000 gram.

Kesimpulan dari gambar 5, kelengkungan sudut sudu  $120^\circ$  saat kapasitas aliran air sebesar  $9,572 \text{ L/s}$  menghasilkan daya maksimal pada pembebanan  $3000 \text{ gram}$  dengan daya sebesar  $0,665 \text{ Watt}$ . Peristiwa ini dikarenakan pada kapasitas aliran air  $9,572 \text{ L/s}$  dengan kelengkungan sudut sudu turbin  $120^\circ$  mampu mengoptimalkan daya air yang dialirkan, sehingga mampu memberi daya dorong yang optimal menjadikan turbin dapat berputar meski pembebanan terus ditingkatkan, namun terjadi penurunan daya yang dihasilkan dikarenakan pembebanan yang terus-menerus diberikan sehingga perlu daya yang lebih besar untuk memutar turbin.

➤ Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Sudu Terhadap Kinerja Daya Turbin Saat Kapasitas Aliran Air  $11,024 \text{ L/s}$



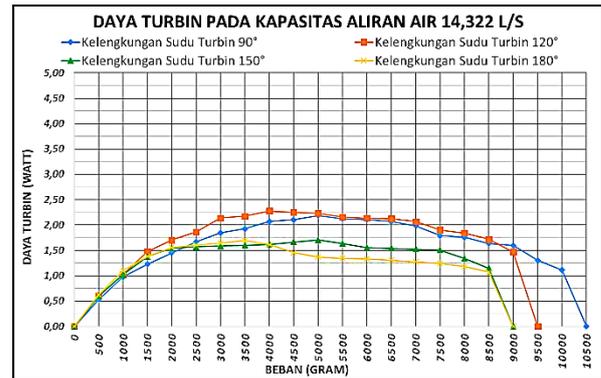
Gambar 6. Grafik Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Sudu Terhadap Kinerja Daya Pada Kapasitas Aliran Air  $11,024 \text{ L/s}$

Bersumber pada gambar 6 kelengkungan sudut sudu  $90^\circ$  daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan  $4500 \text{ gram}$  dengan daya  $1,407 \text{ Watt}$ , hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan  $8500 \text{ gram}$ . Pada kelengkungan sudut sudu  $120^\circ$  daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan  $4500 \text{ gram}$  dengan daya  $1,544 \text{ Watt}$ , hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan  $8000 \text{ gram}$ . Pada kelengkungan sudut sudu  $150^\circ$  daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan  $4000 \text{ gram}$  dengan daya  $1,229 \text{ Watt}$ , hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan  $7500 \text{ gram}$ . Pada kelengkungan sudut sudu  $180^\circ$  daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan  $4000 \text{ gram}$  dengan daya  $1,054 \text{ Watt}$ , hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan  $7000 \text{ gram}$ .

Kesimpulan dari gambar 6, kelengkungan sudut sudu  $120^\circ$  saat kapasitas aliran air sebesar  $11,024 \text{ L/s}$  menghasilkan daya maksimal pada pembebanan  $4500 \text{ gram}$  dengan daya sebesar  $1,544 \text{ Watt}$ . Peristiwa ini dikarenakan pada kapasitas aliran air  $11,024 \text{ L/s}$  dengan kelengkungan sudut sudu turbin  $120^\circ$  mampu

mengoptimalkan daya air yang dialirkan sehingga mampu memberi daya dorong yang optimal menjadikan turbin dapat berputar meski pembebanan terus ditingkatkan, namun terjadi penurunan daya yang dihasilkan dikarenakan pembebanan yang terus-menerus diberikan sehingga perlu daya yang lebih besar untuk memutar turbin.

➤ Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Sudu Terhadap Kinerja Daya Turbin Saat Kapasitas Aliran Air  $14,322 \text{ L/s}$

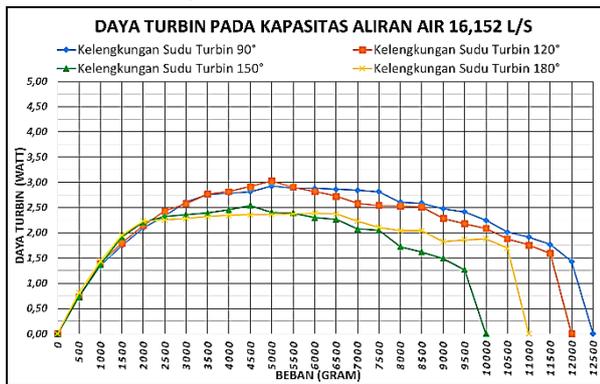


Gambar 7. Grafik Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Sudu Terhadap Kinerja Daya Pada Kapasitas Aliran Air  $14,322 \text{ L/s}$

Bersumber pada gambar 7 kelengkungan sudut sudu  $90^\circ$  daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan  $5000 \text{ gram}$  dengan daya  $2,187 \text{ Watt}$ , hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan  $10500 \text{ gram}$ . Pada kelengkungan sudut sudu  $120^\circ$  daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan  $4000 \text{ gram}$  dengan daya  $2,277 \text{ Watt}$ , hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan  $9500 \text{ gram}$ . Pada kelengkungan sudut sudu  $150^\circ$  daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan  $5000 \text{ gram}$  dengan daya  $1,706 \text{ Watt}$ , hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan  $9000 \text{ gram}$ . Pada kelengkungan sudut sudu  $180^\circ$  daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan  $3500 \text{ gram}$  dengan daya  $1,694 \text{ Watt}$ , hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan  $9000 \text{ gram}$ .

Kesimpulan dari gambar 7, kelengkungan sudut sudu  $120^\circ$  saat kapasitas aliran air sebesar  $14,322 \text{ L/s}$  menghasilkan daya maksimal pada pembebanan  $4000 \text{ gram}$  dengan daya sebesar  $2,277 \text{ Watt}$ . Peristiwa ini dikarenakan pada kapasitas aliran air  $14,322 \text{ L/s}$  dengan kelengkungan sudut turbin  $120^\circ$  mampu mengoptimalkan daya air yang dialirkan sehingga memberi daya dorong yang optimal menjadikan turbin dapat berputar meski pembebanan terus ditingkatkan, namun terjadi penurunan daya yang dihasilkan dikarenakan pembebanan yang terus-menerus diberikan sehingga perlu daya yang lebih besar untuk memutar turbin.

- Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudut Sudu Terhadap Kinerja Daya Turbin Saat Kapasitas Aliran Air 16,152 L/s

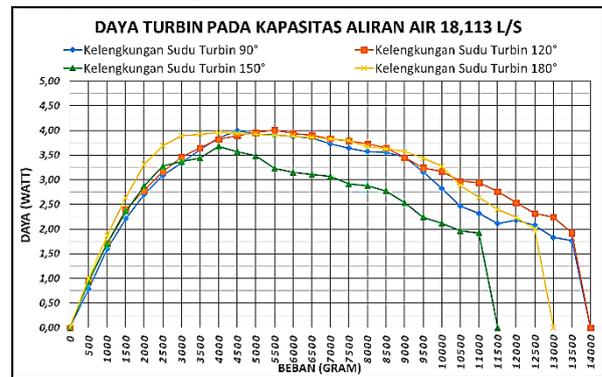


Gambar 8. Grafik Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudut Sudu Terhadap Kinerja Daya Pada Kapasitas Aliran Air 16,152 L/s

Bersumber pada gambar 8 kelengkungan sudut sudu 90° daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan 5000 gram dengan daya 2,927 Watt, hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 12500 gram. Pada kelengkungan sudut sudu 120° daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan 5000 gram dengan daya 3,030 Watt, hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 12000 gram. Pada kelengkungan sudut sudu 150° daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan 4500 gram dengan daya 2,541 Watt, hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 10000 gram. Pada kelengkungan sudut sudu 180° daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan 6000 gram dengan daya 2,389 Watt, hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 11000 gram.

Kesimpulan dari gambar 8, kelengkungan sudut sudu 120° saat kapasitas aliran air sebesar 16,152 L/s menghasilkan daya maksimal pada pembebanan 5000 gram dengan daya sebesar 2,927 Watt. Peristiwa ini dikarenakan pada kapasitas aliran air 16,152 L/s dengan kelengkungan sudut turbin 120° mampu mengoptimalkan daya air yang dialirkan, sehingga mampu memberi daya dorong yang optimal menjadikan turbin dapat berputar meski pembebanan terus ditingkatkan, namun terjadi penurunan daya yang dihasilkan dikarenakan pembebanan yang terus-menerus diberikan sehingga perlu daya yang lebih besar untuk memutar turbin.

- Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudut Sudu Terhadap Kinerja Daya Turbin Saat Kapasitas Aliran Air 18,113 L/s



Gambar 9. Grafik Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudut Sudu Terhadap Kinerja Daya Pada Kapasitas Aliran Air 18,113 L/s

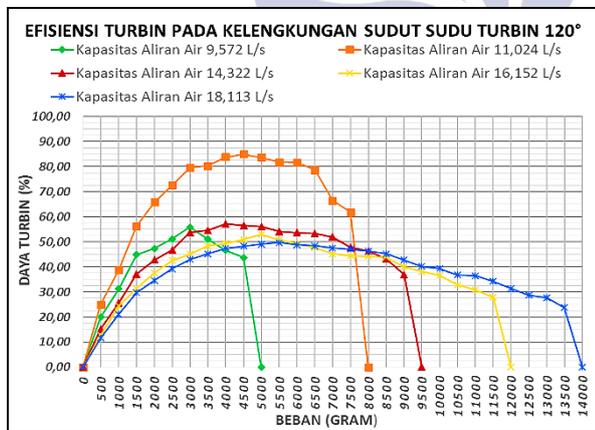
Bersumber pada gambar 9 kelengkungan sudut sudu 90° daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan 4500 gram dengan daya 3,994 Watt, hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 14000 gram. Pada kelengkungan sudut sudu 120° daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan 5500 gram dengan daya 4,008 Watt, hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 14000 gram. Pada kelengkungan sudut sudu 150° daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan 4000 gram dengan daya 3,679 Watt, hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 11500 gram. Pada kelengkungan sudut sudu 180° daya turbin maksimal terdapat pada pembebanan 4000 gram dengan daya 3,956 Watt, hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 13000 gram

Kesimpulan dari gambar 9, kelengkungan sudut sudu 120° saat kapasitas aliran air sebesar 18,113 L/s menghasilkan daya maksimal pada pembebanan 5500 gram dengan daya sebesar 4,008 Watt. Peristiwa ini dikarenakan pada kapasitas aliran air 18,113 L/s dengan kelengkungan sudut sudu turbin 120° mampu mengoptimalkan daya air yang dialirkan, sehingga mampu memberi daya dorong yang optimal menjadikan turbin dapat berputar meski pembebanan terus ditingkatkan, namun terjadi penurunan daya yang dihasilkan dikarenakan pembebanan yang terus-menerus diberikan sehingga perlu daya yang lebih besar untuk memutar turbin.

Dari analisis sebelumnya disimpulkan bahwa kelengkungan sudut sudu 120° pada turbin reaksi *crossflow* memiliki daya yang paling tinggi pada semua kapasitas aliran air yang telah dialirkan, hal ini disebabkan pada kelengkungan sudut sudu turbin 120° mampu mengoptimalkan aliran air yang menerpa sudut

sudu sehingga daya dorong yang dihasilkan dapat membuat turbin berputar. Peristiwa ini dikarenakan aliran air yang terjadi pada kelengkungan yang memiliki sudut sudu paling kecil tidak sepenuhnya sempat menerpa turbin dan mengalir melewati sudu turbin sehingga turbin yang terdorong tidak optimal, sedangkan aliran air yang terjadi pada sudu yang memiliki kelengkungan sudut sudu paling besar banyak menerpa sudu menyebabkan tertampungnya air pada sudu turbin sehingga yang terjadi turbin semakin berat dan susah untuk berputar secara optimal. Daya tertinggi yang dapat dihasilkan turbin yaitu kapasitas aliran air sebesar 18,113 L/s saat kelengkungan sudut sudu 120° dengan jumlah daya yang dihasilkan 4,008 Watt dan pembebanan pada 5500 gram, hal ini karena pada kapasitas tersebut daya air yang mengalir sangat besar sehingga menghasilkan daya turbin yang besar pula. Sedangkan daya terendah yang dapat dihasilkan turbin yaitu kapasitas aliran air sebesar 9,572 L/s saat kelengkungan sudut sudu 180° dengan jumlah daya yang dihasilkan 0,385 Watt dan pembebanan pada 3000 gram, hal ini karena pada kapasitas tersebut daya air yang mengalir sangat kecil sehingga menghasilkan daya turbin yang kecil pula.

➤ Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Kinerja Efisiensi Turbin Saat Kelengkungan Sudu Sudu Turbin 120°



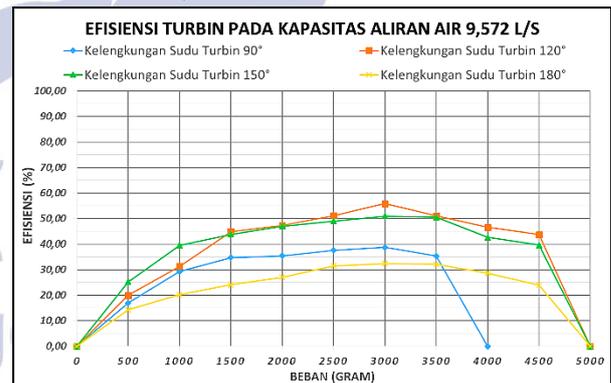
Gambar 10. Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Kinerja Efisiensi Turbin Pada Kelengkungan Sudu Sudu Turbin 120°

Bersumber pada gambar 10 kelengkungan sudut sudu turbin 120° menghasilkan efisiensi yang berbeda-beda tergantung dari kapasitas aliran air yang diberikan. Pada kapasitas aliran air sejumlah 9,572 L/s pembebanan ditingkatkan menjadi 3000 gram dan efisiensi turbin yang dihasilkan adalah 55,88%, lalu turbin berhenti berputar saat pembebanan 5000 gram. Pada kapasitas aliran air sejumlah 11,024 L/s pembebanan ditingkatkan menjadi 4500 gram dan

efisiensi turbin yang dihasilkan adalah 84,96%, lalu turbin berhenti berputar saat pembebanan 8000 gram. Pada kapasitas aliran air sejumlah 14,322 L/s pembebanan ditingkatkan menjadi 4000 gram dan efisiensi turbin yang dihasilkan adalah 57,15%, lalu turbin berhenti berputar saat pembebanan 9500 gram. Pada kapasitas aliran air sejumlah 16,152 L/s pembebanan ditingkatkan menjadi 5000 gram dan efisiensi turbin yang dihasilkan adalah 53,01%, lalu turbin berhenti berputar saat pembebanan 12000 gram. Pada kapasitas aliran air sejumlah 18,113 L/s pembebanan ditingkatkan menjadi 5500 gram dan efisiensi turbin yang dihasilkan adalah 49,72%, lalu turbin berhenti berputar saat pembebanan 14000 gram.

Kesimpulan dari gambar 10, kelengkungan sudut sudu turbin 120° saat kapasitas aliran air 14,322 L/s pada pembebanan 4500 gram memiliki nilai efisiensi tertinggi yaitu 84,96%. Hal ini disebabkan karena efisiensi berbanding lurus dengan daya turbin yang dihasilkan dan berbanding terbalik dengan daya air yang dibutuhkan, hal yang sama berlaku untuk rumus efisiensi itu sendiri. Sehingga jika daya turbin yang dihasilkan besar sedangkan daya air yang dibutuhkan untuk menggerakkan turbin kecil maka efisiensi yang dihasilkan semakin besar. Namun pada satu titik tertentu terjadi penurunan dari nilai efisiensi yang disebabkan oleh semakin besarnya pembebanan yang diberikan karena telah mencapai titik maksimal

➤ Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Sudu Terhadap Kinerja Efisiensi Turbin Saat Kapasitas Aliran Air 9,572 L/s



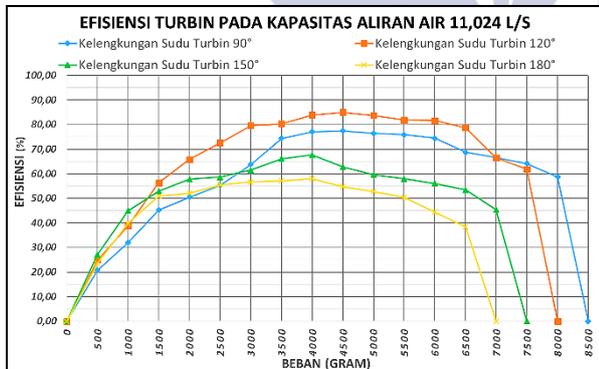
Gambar 11. Grafik Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Sudu Terhadap Kinerja Efisiensi Pada Kapasitas Aliran Air 9,572 L/s

Bersumber pada gambar 11 kelengkungan sudut sudu 90° efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 3000 gram dengan efisiensi sebesar 38,76%, hingga turbin berhenti berputar saat pembebanan 4000 gram. Pada kelengkungan sudut sudu 120° efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 3000 gram dengan efisiensi sebesar

55,88%, hingga turbin berhenti berputar saat pembebanan 5000 gram. Pada kelengkungan sudut sudu 150° efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 3000 gram dengan efisiensi sebesar 50,94%, hingga turbin berhenti berputar saat pembebanan 5000 gram. Pada kelengkungan sudut sudu 180° efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 3000 gram dengan efisiensi sebesar 32,39%, hingga turbin berhenti berputar saat pembebanan 5000 gram.

Kesimpulan dari gambar 11, kelengkungan sudut sudu 120° saat kapasitas aliran air sebesar 9,572 L/s menghasilkan efisiensi maksimal pada pembebanan 3000 gram dengan efisiensi sebesar 55,88%. Peristiwa ini dikarenakan pada kapasitas aliran air 9,572 L/s dengan kelengkungan sudut sudu turbin 120° mampu mengoptimalkan daya air yang dialirkan, sehingga mampu memberi daya dorong yang optimal menjadikan turbin dapat berputar meski pembebanan terus ditingkatkan, namun terjadi penurunan daya yang dihasilkan dikarenakan pembebanan yang terus-menerus diberikan sehingga perlu daya yang lebih besar untuk memutar turbin.

➤ Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Sudu Terhadap Kinerja Efisiensi Turbin Saat Kapasitas Aliran Air 11,024 L/s



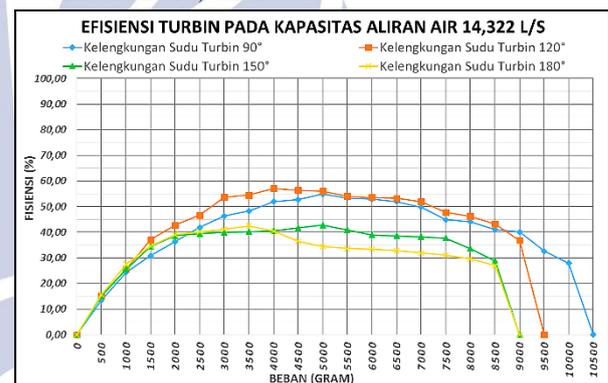
Gambar 12. Grafik Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Sudu Terhadap Kinerja Efisiensi Pada Kapasitas Aliran Air 11,024 L/s

Bersumber pada gambar 12 kelengkungan sudut sudu 90° efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 4500 gram dengan efisiensi sebesar 77,43%, hingga turbin berhenti berputar saat pembebanan 8500 gram. Pada kelengkungan sudut sudu 120° efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 4500 gram dengan efisiensi sebesar 84,96%, hingga turbin berhenti berputar saat pembebanan 8000 gram. Pada kelengkungan sudut sudu 150° efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 4000 gram dengan efisiensi sebesar 67,64%, hingga turbin berhenti berputar saat

pembebanan 7500 gram. Pada kelengkungan sudut sudu 180° efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 4000 gram dengan efisiensi sebesar 58,00% hingga turbin berhenti berputar saat pembebanan 7000 gram.

Kesimpulan dari gambar 12, kelengkungan sudut sudu 120° saat kapasitas aliran air sebesar 11,024 L/s menghasilkan efisiensi maksimal pada pembebanan 4500 gram dengan efisiensi sebesar 84,96%. Peristiwa ini dikarenakan pada kapasitas aliran air 11,024 L/s dengan kelengkungan sudut sudu turbin turbin 120° mampu mengoptimalkan daya air yang dialirkan, sehingga mampu memberi daya dorong yang optimal menjadikan turbin dapat berputar meski pembebanan terus ditingkatkan, namun terjadi penurunan daya yang dihasilkan dikarenakan pembebanan yang terus-menerus diberikan sehingga perlu daya yang lebih besar untuk memutar turbin.

➤ Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Sudu Terhadap Kinerja Efisiensi Turbin Saat Kapasitas Aliran Air 14,322 L/s

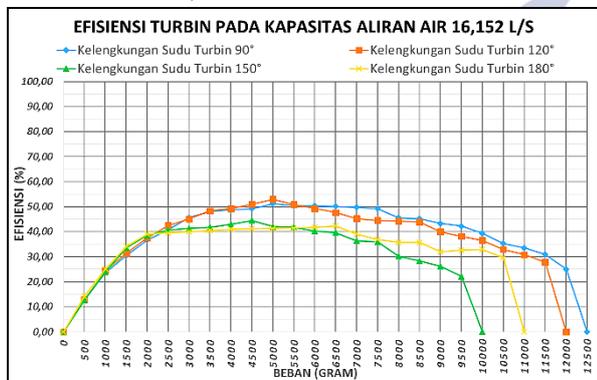


Gambar 13. Grafik Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Sudu Terhadap Kinerja Efisiensi Pada Kapasitas Aliran Air 14,322 L/s

Bersumber pada gambar 13 kelengkungan sudut sudu 90° efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 5000 gram dengan efisiensi sebesar 54,89%, hingga turbin berhenti berputar saat pembebanan 10500 gram. Pada kelengkungan sudut sudu 120° efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 4000 gram dengan efisiensi sebesar 57,15%, hingga turbin berhenti berputar saat pembebanan 9500 gram. Pada kelengkungan sudut sudu 150° efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 5000 gram dengan efisiensi sebesar 42,81%, hingga turbin berhenti berputar saat pembebanan 9000 gram. Pada kelengkungan sudut sudu 180° efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 3500 gram dengan efisiensi sebesar 42,52%, hingga turbin berhenti berputar saat pembebanan 9000 gram

Kesimpulan dari gambar 13, kelengkungan sudut sudu  $120^\circ$  saat kapasitas aliran air sebesar 14,322 L/s menghasilkan efisiensi maksimal pada pembebanan 4000 gram dengan efisiensi sebesar 57,15%. Peristiwa ini dikarenakan pada kapasitas aliran air 14,322 L/s dengan kelengkungan sudut sudu turbin  $120^\circ$  mampu mengoptimalkan daya air yang dialirkan, sehingga mampu memberi daya dorong yang optimal menjadikan turbin dapat berputar meski pembebanan terus ditingkatkan, namun terjadi penurunan daya yang dihasilkan dikarenakan pembebanan yang terus-menerus diberikan sehingga perlu daya yang lebih besar untuk memutar turbin.

➤ Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Sudu Terhadap Kinerja Efisiensi Turbin Saat Kapasitas Aliran Air 16,152 L/s



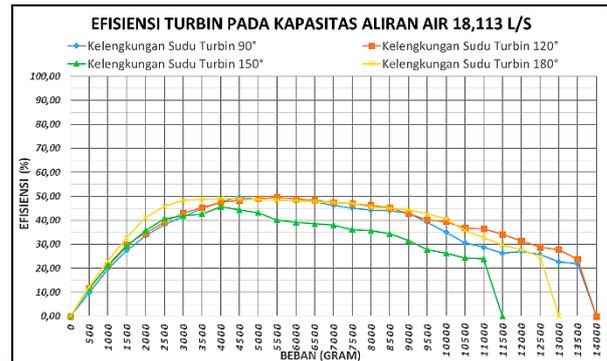
Gambar 14. Grafik Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Sudu Terhadap Kinerja Efisiensi Pada Kapasitas Aliran Air 16,152 L/s

Bersumber pada gambar 14 kelengkungan sudut sudu  $90^\circ$  efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 5000 gram dengan efisiensi sebesar 51,21%, hingga turbin berhenti berputar saat pembebanan 12500 gram. Pada kelengkungan sudut sudu  $120^\circ$  efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 5000 gram dengan efisiensi sebesar 53,01%, hingga turbin berhenti berputar saat pembebanan 12000 gram. Pada kelengkungan sudut sudu  $150^\circ$  efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 4500 gram dengan efisiensi sebesar 44,47%, hingga turbin berhenti berputar saat pembebanan 10000 gram. Pada kelengkungan sudut sudu  $180^\circ$  efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 6500 gram dengan efisiensi sebesar 41,80%, hingga turbin berhenti berputar saat pembebanan 11000 gram

Kesimpulan dari gambar 14, kelengkungan sudut sudu  $120^\circ$  saat kapasitas aliran air sebesar 16,152 L/s menghasilkan efisiensi maksimal pada pembebanan 5000 gram dengan efisiensi sebesar 53,01%. Peristiwa ini dikarenakan pada kapasitas aliran air 16,152 L/s

dengan kelengkungan sudut sudu turbin  $120^\circ$  mampu mengoptimalkan daya air yang dialirkan sehingga mampu memberi daya dorong yang optimal menjadikan turbin dapat berputar meski pembebanan terus ditingkatkan, namun terjadi penurunan daya yang dihasilkan dikarenakan pembebanan yang terus-menerus diberikan sehingga perlu daya yang lebih besar untuk memutar turbin.

➤ Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Sudu Terhadap Kinerja Efisiensi Turbin Saat Kapasitas Aliran Air 18,113 L/s



Gambar 15. Grafik Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Sudu Terhadap Kinerja Efisiensi Pada Kapasitas Aliran Air 18,113 L/s

Bersumber pada gambar 15 kelengkungan sudut sudu  $90^\circ$  efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 4500 gram dengan efisiensi sebesar 49,56 %, hingga turbin berhenti berputar saat pembebanan 14000 gram. Pada kelengkungan sudut sudu  $120^\circ$  efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 5500 gram dengan efisiensi sebesar 49,72%, hingga turbin berhenti berputar saat pembebanan 14000 gram. Pada kelengkungan sudut sudu  $150^\circ$  efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 4000 gram dengan efisiensi sebesar 45,650%, hingga turbin berhenti berputar saat pembebanan 11500 gram. Pada kelengkungan sudut sudu  $180^\circ$  efisiensi turbin maksimal terdapat pada pembebanan 4000 gram dengan efisiensi sebesar 49,09% hingga turbin berhenti berputar saat pembebanan 13000 gram

Kesimpulan dari gambar 15, kelengkungan sudut sudu  $120^\circ$  saat kapasitas aliran air 18,113 L/s menghasilkan efisiensi maksimal pada pembebanan 5500 gram dengan efisiensi sebesar 49,72%. Peristiwa ini dikarenakan pada kapasitas aliran 18,113 L/s kelengkungan sudut sudu turbin  $120^\circ$  mampu mengoptimalkan daya air yang dialirkan, sehingga mampu memberi daya dorong yang optimal menjadikan turbin dapat berputar meski pembebanan terus ditingkatkan, namun terjadi penurunan daya yang

dihasilkan dikarenakan pembebanan yang terus-menerus diberikan sehingga perlu daya yang lebih besar untuk memutar turbin.

Dari analisa sebelumnya disimpulkan bahwa kelengkungan sudut sudu  $120^\circ$  pada turbin reaksi *crossflow* memiliki efisiensi yang paling tinggi pada semua kapasitas aliran yang telah dialirkan, hal ini dikarenakan kelengkungan sudut sudu  $120^\circ$  sanggup mengoptimalkan aliran air yang menerpa sudu sudu sehingga daya dorong yang dihasilkan dapat membuat turbin berputar. Peristiwa ini dikarenakan aliran air yang terjadi pada kelengkungan yang memiliki sudut sudu paling kecil tidak sepenuhnya sempat menerpa turbin dan mengalir melewati sudu turbin sehingga turbin yang terdorong tidak optimal, sedangkan aliran air yang terjadi pada sudu yang memiliki kelengkungan sudut sudu paling besar banyak menerpa sudu menyebabkan tertampungnya air pada sudu turbin sehingga yang terjadi turbin semakin berat dan susah untuk berputar secara optimal.

Pada kapasitas aliran air sebesar 18,113L/s sudut sudu turbin yang mampu menghasilkan efisiensi paling tinggi pada kelengkungan sudut sudu  $120^\circ$  berada pada pembebanan 4500 gram dengan efisiensi 84,96%. Hal ini karena pada kapasitas aliran air tersebut daya turbin yang dihasilkan sangat besar sedangkan daya air yang digunakan untuk menggerakkan turbin cukup kecil sama halnya yang terdapat pada rumus efisiensi yaitu efisiensi berbanding lurus dengan daya turbin yang dihasilkan dan berbanding terbalik dengan daya air yang dibutuhkan, sehingga jika daya turbin yang dihasilkan sangat besar sedangkan daya air yang dibutuhkan kecil maka efisiensi yang dihasilkan nantinya besar. Sedangkan sudu turbin yang menghasilkan efisiensi paling rendah berada pada kapasitas aliran air sejumlah 9,572 L/s dengan kelengkungan sudut sudu  $180^\circ$  dengan efisiensi 32,39% dan pembebanan berada pada 3000 gram. Hal ini karena pada kapasitas aliran air tersebut daya turbin yang dihasilkan sangat kecil sedangkan daya air yang dimiliki paling kecil dibandingkan dengan kapasitas aliran air lainnya. Sama halnya yang terdapat pada rumus efisiensi yaitu efisiensi berbanding lurus dengan daya turbin yang dihasilkan dan berbanding terbalik dengan daya air yang dibutuhkan, sehingga jika daya turbin yang dihasilkan sangat kecil sedangkan daya air yang dibutuhkan juga kecil maka efisiensi yang dihasilkan nantinya juga kecil.

### Simpulan

Hasil yang diperoleh setelah melakukan proses penelitian, pengujian dan analisa sebelumnya sehingga dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Pada turbin kelengkungan sudut sudu  $120^\circ$ , daya maksimum yang mampu dihasilkan oleh turbin lebih besar dibandingkan dengan sudut sudu kelengkungan lainnya seperti:  $90^\circ$ ,  $150^\circ$ ,  $180^\circ$  dan nilai daya yang mampu diperoleh sebesar 4,008 Watt dengan pembebanan maksimal yang mampu di tanggung pada 13000 gram saat kapasitas aliran air sejumlah 18,113 L/s.
- Pada turbin kelengkungan sudut sudu  $120^\circ$ , efisiensi maksimum yang mampu dihasilkan oleh turbin lebih besar dibandingkan dengan sudut sudu kelengkungan lainnya seperti:  $90^\circ$ ,  $150^\circ$ ,  $180^\circ$  dan nilai efisiensi yang mampu diperoleh sebesar 84,96% dengan pembebanan yang mampu di tanggung pada 4500 gram saat kapasitas aliran air sejumlah 11,024 L/s.

### Saran

Bersumber pada hasil penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh variasi kelengkungan sudu berpenampang lengkung terhadap kinerja turbin reaksi *crossflow* poros horizontal, maka dapat diberikan saran yaitu :

- Perlu adanya penelitian lanjutan dari variasi sudut sudu dengan kelengkungan lainnya atau mendekati lingkaran
- Turbin ini tidak tahan pada pembebanan yang tinggi dan daya yang dihasilkan sangat kecil hal ini terjadi dikarenakan head-nya rendah, maka diperhatikan untuk pemilihan head supaya didapat head yang tepat dan daya yang dihasilkan lebih baik.
- Perlu diperhatikan dalam pemilihan materialnya supaya didapat data yang lebih baik karena berat turbin juga mempengaruhi

### DAFTAR PUSTAKA

- Anam, D. K., & Adiwibowo, P. H. (2020). Experimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Setengah Lingkaran Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin *Crossflow* Poros Horizontal.
- Badan Pusat Statistik. (2013). Proyeksi Penduduk Indonesia 2010-2035.
- Bappenas. (2019). Visi Indonesia 2045 - Background Study. 1–158.
- Directorate General of State Budget. (2019). APBN 2019 Information. 1–37.

<https://www.kemenkeu.go.id/media/11213/buku-informasi-apbn-2019.pdf>

- Gunawan, A., Oktafeni, A., & Khabzli, W. (2014). Pemantauan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 10(4), 28–36. <https://doi.org/10.17529/jre.v10i4.1113>
- Hanggara, I., & Irvani, H. (2017). Potensi PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) Di Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang Jawa Timur. *Jurnal Reka Buana*, 2(2), 149–155.
- IMIDAP, T. (2008). Pedoman Teknis Standardisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro ( PLTMH ). In Jakarta (p. 76).
- Laksmna, S. C., Fahrudin, A., & Akbar, A. (2018). Pengaruh Sudut Pengarah Aliran Pada Turbin Air *Crossflow* Tingkat Dua Terhadap Putaran dan Daya. *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 3(1), 35. <https://doi.org/10.21070/r.e.m.v3i1.1591>
- Pramesti, Y. S. (2018). Analisa pengaruh sudut sudu terhadap kinerja turbin kinetik poros horisontal dan vertikal. *Jurnal Mesin Nusantara*, 1(1), 51. <https://doi.org/10.29407/jmn.v1i1.12296>
- Sanditya, T. A., Hadi, S., Dwi, D. D., & Tjahjana, P. (2016). AXIS WATER TURBINE DI ALIRAN DALAM PIPA Water turbine is a device that works to convert water energy into mechanical energy in the form of a torque in turbine shaft . In this study , the angle of attack of Savonius water turbine with horizontal axis ( HAW. 2, 32–35.
- Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Pendidikan Kualitatif Kuantitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Suryono, E., & Nusantara, A. E. B. (2017). Simulasi Turbin *Crossflow* Dengan Jumlah Sudu 18 Sebagai Pembangkit Listrik Picohydro. *Simetris : Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 8(2), 547. <https://doi.org/10.24176/simet.v8i2.1412>
- Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional. (2019). *Indonesia Energy Out Look 2019*. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Triswanto, H., & Adiwibowo, P. H. (2017). Uji Eksperimental Pengaruh Sudut Kelengkungan Dengan Sudu Tipe U Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex. In *Jurnalmahasiswa.Unesa.Ac.Id*. <https://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/20713>
- Very Dwiyanto, Dyah Indriana K, S. T. (2018). Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Studi Kasus : Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai). *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 4(3), 407–422. <https://www.neliti.com/id/publications/127987/analisis-pembangkit-listrik-tenaga-mikro-hidro-pltmh-studi-kasus-sungai-air-anak>
- Yani, A., Mihdar, M., & Erianto, R. (2017). PENGARUH VARIASI BENTUK SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN AIR KINETIK (Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah Pedesaan). *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 5(1), 1–6. <https://doi.org/10.24127/trb.v5i1.113>

