

## EXPERIMENTAL PENGARUH VARIASI JUMLAH SUDU SETENGAH LINGKARAN TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN *CROSSFLOW* POROS HORIZONTAL

**Dimas Khairul Anam**

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: [dimasanam@mhs.unesa.ac.id](mailto:dimasanam@mhs.unesa.ac.id)

**Priyo Heru Adiwibowo**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: [priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id](mailto:priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id)

### Abstrak

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) adalah salah satu pembangkit listrik yang memanfaatkan aliran air untuk diubah menjadi energi mekanik. Ada banyak macam pembangkit listrik tenaga air ini, salah satunya adalah pembangkit mikrohidro. Indonesia memiliki banyak kekayaan alam yang dapat dimanfaatkan sebagai mikrohidro seperti, saluran irigasi, sungai dan air terjun yang dimanfaatkan tinggi jatuh (*head*) serta jumlah debit air sebagai pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). Banyaknya potensi air yang ada di Indonesia memungkinkan bahwasanya energi air dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit mikrohidro menjadi energi alternatif sebagai pengganti energi fosil. Dilihat dari keadaan geografis daerah-daerah di Indonesia yang memiliki potensi air yang memadai untuk sebuah pembangkit listrik berskala kecil yang biasa dikenal dengan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dalam penelitian hal ini membuat 3 buah turbin *crossflow* dengan jumlah sudu 4, 6, dan 8 dengan variasi kapasitas air sebesar 8,884 L/s, 11,010 L/s dan 12,583 L/s. Variasi pembebanan sebesar 500 gram, 1000 gram, 1500 gram dan seterusnya dengan peningkatan pembebanan 500 gram hingga putaran turbin berhenti untuk mengetahui daya dan efisiensi yang dihasilkan. Hasil dari penelitian didapatkan turbin dengan jumlah sudu 6 memiliki daya dan efisiensi yang paling optimal dari pada turbin dengan jumlah sudu 4 dan 8. Daya tertinggi dimiliki oleh turbin dengan jumlah sudu 6 yang terjadi pada kapasitas aliran 11,010 L/s dengan pembebanan 6500 gram, memiliki daya turbin sebesar 2,650 Watt. Efisiensi tertinggi juga dihasilkan oleh jumlah sudu 6 pada kapasitas 11,010 L/s dengan pembebanan 6500 gram dengan nilai efisiensi sebesar 48,14%. Hal ini dikarenakan pada jumlah sudu 6 turbin mampu memanfaatkan aliran air dengan baik dan jarak sudu yang sesuai maka luasan aliran air yang masuk untuk mendorong sudu semakin besar sehingga mampu menghasilkan rpm tinggi serta torsi yang lebih besar. Selain itu jarak sudu turbin juga memiliki pengaruh karena semakin sempit jarak sudu turbin menyebabkan terjadinya benturan pada punggung turbin, serta jarak sudu turbin yang semakin lebar membuat gaya dorong yang dihasilkan air terlalu lambat sehingga turbin tidak dapat berputar secara optimal.

**Kata kunci:** *Crossflow*, Daya, Efisiensi, Sudu Setengah Lingkaran, Jumlah Sudu.

### Abstract

Hydroelectric power plant (PLTA) is a power plant that utilized water flow to be converted into mechanical energy. There are many kinds of hydroelectric power plants, one of which is a micro hydro generator. Indonesia has a lot of natural wealth that can be utilized as a micro hydro, such as irrigation channels, rivers and waterfalls that are utilized high fall (*head*) and the amount of water discharge as a micro hydro power plant (PLTMH). The large potential of water in Indonesia made it possible that water energy can be utilized as a micro hydro generator to become alternative energy as a substitute for fossil energy. Based on the geographical situation of the regions in Indonesia which have adequate water potential for a small-scale power plant which is commonly known as a micro hydro power plant (PLTMH). This study used an experimental method. In this study, researcher made 3 *crossflow* turbines with the number of blades 4, 6, and 8 with variations in water capacity of 8,884 L / s, 11,010 L / s and 12,583 L / s. Loading variation of 500 grams, 1000 grams, 1500 grams and so on with an increase in loading of 500 grams until the turbine rotation stops to find out power and efficiency. The results of the study found the turbine with the number of blades 6 had the most optimal power and efficiency than the turbines with the number of blades 4 and 8. The highest power was owned by the turbine with the number of blades 6 that occurred at a flow capacity of 11,010 L / s with a load of 6500 grams turbine power of 2,650 Watt. The highest efficiency is also produced by the number of blades 6 at a capacity of 11,010 L / s with a load of 6500 grams with an efficiency value of 48.14%. It occurred because at the number of 6 turbine blades capable of utilizing water flow well and the appropriated blade spacing, the area of incoming water flow to drive the blade is greater so as to produce high rpm and greater torque. Besides the turbine blade distance also has an influence because the narrower the distance of the turbine blade caused the impact on the back of the turbine, and the wider turbine blade distance made the thrust generated by water too slow so that the turbine could not rotate optimally.

**Keywords:** *Crossflow*, Power, Efficiency, Semicircular Blades, Number of Blades.

## PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan manusia, di Indonesia sendiri, energi yang banyak digunakan adalah energi fosil. Hal ini dikarenakan jumlah energi fosil yang ada di Indonesia sangatlah berlimpah dimana energi fosil sendiri sangat sering di temukan di banyak daerah di Indonesia. Namun semakin lama berjalannya waktu dan semakin banyaknya populasi manusia, jumlah energi fosil akan berkurang karena energi fosil merupakan energi yang tidak bisa diperbarui. Sebagai pengganti energi fosil manusia harus banyak memanfaatkan sumber daya alam yang digunakan sebagai energi alternatif. Salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga air (PLTA).

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) adalah salah satu pembangkit listrik yang memanfaatkan aliran air untuk diubah menjadi energi mekanik. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) mulai dikembangkan di Indonesia secara bertahap pada tahun 1900. Masa itu merupakan era dimana penggunaan bahan bakar minyak merupakan sumber energi utama didunia. Pengembangan pembangkit listrik tenaga air (PLTA) tidak terlalu di prioritaskan, oleh karena itu progresnya berjalan lambat, sekarang pengembangan pembangkit listrik tenaga air (PLTA) mulai ditinjau ulang karena penggunaan bahan bakar minyak menghasilkan banyak polusi lingkungan dan persediaan bahan bakar minyak mulai menipis. Ada banyak macam pembangkit listrik tenaga air ini, salah satunya adalah pembangkit mikrohidro.

Indonesia memiliki banyak kekayaan alam yang dapat dimanfaatkan sebagai mikrohidro seperti, saluran irigasi, sungai dan air terjun yang dimanfaatkan tinggi terjunan (*head*) serta jumlah debit air sebagai pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). Banyaknya potensi air yang ada di Indonesia memungkinkan bahwa energi air dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit mikrohidro menjadi energi alternatif sebagai pengganti energi fosil. Dan dilihat dari keadaan geografis daerah-daerah di Indonesia yang memiliki potensi air yang memadai untuk sebuah pembangkit listrik berskala kecil yang biasa dikenal dengan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH).

Energi air merupakan energi yang sangat besar dimanfaatkan di Indonesia dikarenakan energi air sangat ramah lingkungan, sehingga dapat mendukung pemanfaatan energi bersih di Indonesia yang dalam skala besar sebagai pembangkit listrik. Potensi energi air di Indonesia adalah 75.000 MW, namun baru dimanfaatkan 10% atau sebesar 7.572 MW. Hal tersebut akan mendorong pemanfaatan energi air dengan menggunakan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) akan lebih potensial untuk memenuhi kebutuhan sumber daya lokal di Indonesia khususnya di daerah terpencil.

Bentuk turbin yang tepat digunakan pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah turbin air jenis *crossflow*. Daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul mencapai 70% sedangkan efisiensi turbin *crossflow* mencapai 82%. Salah satu

keistimewaan turbin air *crossflow* adalah masih bisa digunakan pada tinggi jatuh 1 m dengan kapasitasnya antara 0,02 m<sup>3</sup>/detik sampai dengan 7 m<sup>3</sup>/detik (Dietzel, 1995). Di Indonesia turbin cross flow biasa digunakan sebagai penggerak mula pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH).

Menurut Sahid (2012), dalam penelitiannya yang berjudul “kaji eksperimental kinerja turbin *crossflow* berbasis konruksi silinder (*drum*) poros vertikal untuk potensi arus sungai” menunjukkan bahwa turbin aliran silang poros vertikal sebagai penggerak pompa air yang dibuat berdasarkan konstruksi silinder yang dibelah menjadi empat mempunyai sudut sudu jalan optimum 60° dengan debit aliran masukan sebesar 0,23 m<sup>3</sup>/detik, debit aliran keluaran pompa sebesar 0,000253 m<sup>3</sup>/detik, daya hidrolis yang dihasilkan pompa sebesar 3,05 watt, dan mempunyai efisiensi sistem sebesar 4,98%.

Menurut penelitian Yani dan Mihdar (2016), menggunakan metode eksperimen dengan rancangan percobaan skala laboratorium menunjukkan adanya pengaruh bentuk sudu terhadap daya dan efisiensi yaitu bentuk sudu lengkung memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan bentuk sudu datar dan mangkuk. Daya dan efisiensi turbin maksimum terjadi pada sudu lengkung dengan nilai sebesar 4,699 Watt dan 29,659%, kemudian menurun pada sudu mangkuk dengan nilai daya dan efisiensi sebesar 4,508 Watt dan 28,457%. Sedangkan daya dan efisiensi turbin terendah terjadi pada sudu datar dengan nilai daya dan efisiensi sebesar 3,080 Watt dan 19,439%.

Gunarto dan Aspriansyah (2017), membuat sebuah penelitian model sudu type setengah silinder yang diaplikasikan dalam turbin *pelton* dengan menggunakan metode melalui *design* eksperimen murni dengan empat tahapan, dimana tahapan pertama diawali dari penyiapan bahan baku dan peralatan penunjang. Tahapan kedua merencanakan/merancang peralatan praktikum pengujian prestasi turbin *pelton* di laboratorium dengan menggunakan sudu setengah silinder. Tahapan ketiga melakukan pengujian peralatan hasil dari tahapan dua. Dan yang terakhir penggunaan peralatan tersebut untuk praktikum. Dari hasil pengujian dengan menggunakan debit 0,126 liter/detik dan bukaan katub yang berbeda  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  dan  $\frac{1}{4}$  diperoleh bahwa alat uji turbin *pelton* rata-rata menghasilkan efisiensi 72,5%.

Penelitian Pramesti (2018), berjudul “analisa pengaruh sudut sudu terhadap kinerja turbin kinetik poros horisontal dan vertikal”. Variasi sudut pengaruh aliran sudut yang akan diteliti menggunakan sudut 5°, 10°, 15° dan variasi debit aliran 50, 70 dan 90 m<sup>3</sup>/jam dengan menggunakan variasi poros vertikal dan horisontal. Hasil penelitian didapatkan, daya *output* maksimum yang dihasilkan turbin sebesar 1,53 Watt. Terjadi pada debit 90 m<sup>3</sup>/jam dengan sudut pengaruh aliran 15°. Efisiensi tertinggi sebesar 18% terjadi pada debit aliran 50 m<sup>3</sup>/jam dengan sudut pengaruh aliran sebesar 15°. Turbin dengan tipe horisontal memiliki nilai daya dan

efisiensi yang sedikit lebih besar jika dibandingkan dengan turbin poros vertikal.

Menurut Riduan dan Adiwibowo (2016), dalam penelitiannya dibuat beberapa *runner* masing-masing memiliki 6 buah, 8 buah, dan 12 buah mata sudu setengah silinder. Pembebanan masing-masing 500 gram, 1000 gram, 1500 gram dan 2000 gram. Kapasitas air 5,8121 L/s, 6,620 L/s, 7,048 L/s dan 7,492L/s. Pemberian variasi kapasitas dan pembebanan dari proses pengujian didapatkan putaran turbin, kemudian dianalisis lebih lanjut untuk didapatkan daya dan efisiensi dari turbin air. Hasil penelitian didapatkan daya dan efisiensi tertinggi terjadi pada sudu 12 apabila dibandingkan dengan sudu 6 dan sudu 8 pada kapasitas 7,49228 L/s dan pembebanan 2000 gram.

Pemanfaatan turbin aliran *crossflow* poros horisontal dengan variasi sudu setengah lingkaran ini belum pernah dilakukan. Sehingga penelitian ini merupakan terobosan baru dalam pemanfaatan sumber daya alam yang ada di Indonesia sebagai sumber energi listrik yang tentunya juga sebagai pemanfaatan energi bersih. Diharapkan dalam penelitian ini dapat menjadi bentuk turbin aliran *crossflow* yang baik dan efisien sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif di Indonesia.

## METODE

### • Variabel Penelitian

#### ➤ Variabel Bebas

Menurut Sugiyono (2012:61), Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel dependen atau terikat. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu jumlah sudu pada *runner* turbin sebanyak 4 sudu, 6 sudu dan 8 sudu.

#### ➤ Variabel Terikat

Menurut Sugiyono (2012:61), variabel bebas merupakan variabel yang dipengaruhi atau menjadi sebab akibat karena adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin *crossflow*.

#### ➤ Variabel Kontrol

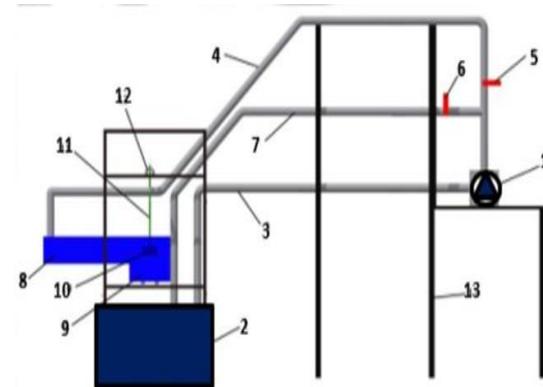
Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga pengaruh variabel independent terhadap dependen tidak dipengaruhi oleh faktor yang tidak diteliti.

Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Fluida kerja yang digunakan adalah air
- Kapasitas air sebesar 12.583 L/s, 11.010 L/s, 8.884 L/s.
- Pembebanan sebesar 500 g, 100 g, 1500 g dan 2000 g dan seterusnya sampai turbin berhenti berputar.

### • Peralatan dan Instrumen Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:



Gambar 1. Desain Instalasi Alat Uji

Keterangan:

- Pompa air
- Bak penampungan air
- Pipa penyalur *suction*
- Saluran *discharge*
- Katup pengaturan kapasitas
- Katup utama
- Katup *bypass*
- Saluran *inlet*
- Area *outlet*
- Penempatan turbin
- Posisi rangka poros
- Posisi *Prony Brake*
- Rangka utama PLTMH

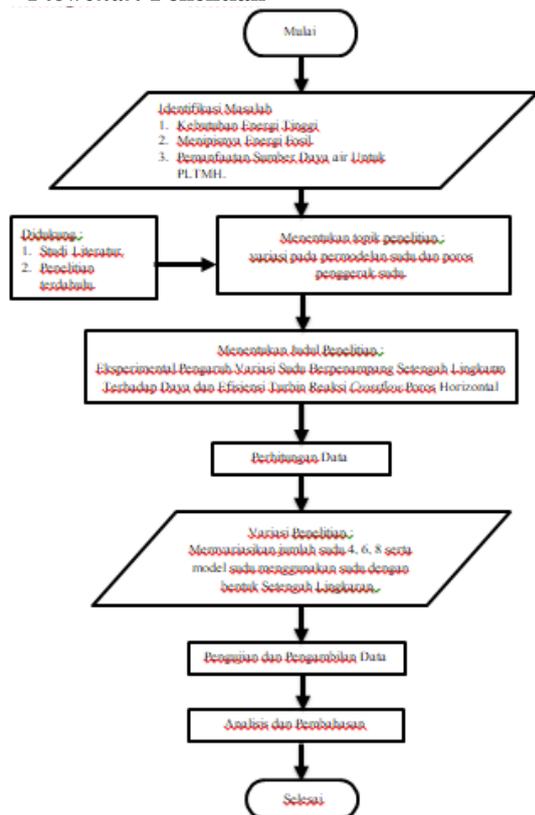
### • Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam rangka mencapai tujuan penelitian. Tujuan yang diungkapkan dalam bentuk hipotesis merupakan jawaban sementara terhadap pertanyaan penelitian. Data yang dikumpulkan ditentukan oleh variabel-variabel yang ada dalam hipotesis. Teknik pengumpulan data di ambil tiga kali pengambilan data, dalam penelitian ini dilakukan dengan mengukur atau menguji obyek yang diteliti dan mencatat hasil tersebut.

### • Teknik Analisa Data

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data dengan alat ukur, maka hasil dari pengukuran dimasukkan ke dalam tabel, dihitung secara teoritis dan kemudian disajikan dalam bentuk grafik agar lebih dapat memahami. Hal ini dilaksanakan untuk memberi informasi mengenai kinerja alat yang paling optimal, hubungan antara variabel-variabel dan fenomena-fenomena apa saja yang terjadi selama pengujian dilakukan.

• **Flowchart Penelitian**



Gambar 2. Flowchart penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

• **Hasil Penelitian**

Dalam proses analisa data di ambil rata-rata data dari tiga kali proses percobaan, hal ini dimaksudkan agar data yang diperoleh benar-benar sesuai dengan kondisi yang terjadi atau valid. Data tersebut didapatkan dari pengujian turbin *crossflow* poros horisontal dengan sudu berpenampang setengah lingkaran dan variasi jumlah sudu sebanyak 4, 6 dan 8. Data yang dihasilkan digunakan untuk perhitungan efisiensi dan daya yang dihasilkan turbin.

Sebelum melakukan perhitungan daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin maka perlu diketahui terlebih dahulu kapasitas air dan kecepatan aliran air.

➤ **Menghitung Kapasitas Air (Q)**

Daya air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q = Cd \cdot \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot tg \frac{\theta}{2} \cdot H^{\frac{5}{2}} \quad (\text{Pritchard and Leylegian, 2011:648})$$

Keterangan:

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

➤ **Menghitung Luas Penampang Aliran (A)**

Luas penampang dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$A = t \cdot l \quad (\text{Pritchard and Leylegian, 2011:584})$$

Keterangan:

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

➤ **Menghitung Kecepatan Aliran (V)**

Kecepatan Aliran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$V = \frac{Q}{A} \quad (\text{Pritchard and Leylegian, 2011:617})$$

Keterangan:

- V = Kecepatan Aliran (m/s)
- Q = Kapasitas Aliran (m<sup>3</sup>/s)
- A = Luas Penampang saluran (m<sup>2</sup>)

➤ **Menghitung Daya Air yang Mengalir (Pa)**

Daya air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Pa = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (\text{Pritchard and Leylegian, 2011:504})$$

Keterangan:

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

➤ **Menghitung Gaya (F)**

$$F = m \cdot g \quad (\text{Khurmi, R.S., J.K.Gupta, 2005:10})$$

Keterangan:

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

➤ **Menghitung Torsi Turbin (T)**

Torsi pada turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$T = F \cdot r \quad (\text{Khurmi, R.S., J.K.Gupta, 2005:10})$$

Keterangan:

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

➤ **Menghitung Kecepatan Anguler Turbin**

Kecepatan anguler turbin dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} \quad (\text{Khurmi, R.S., J.K.Gupta, 2005:10})$$

Keterangan:

- ω = Kecepatan anguler turbin (rad/s)
- π = 3,14
- n = Putaran (rpm)

➤ **Menghitung Daya Turbin (Pt)**

Daya turbin dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Pt = T \cdot \omega \quad (\text{Pritchard and Leylegian, 2011:504})$$

Keterangan:

- Pt = Daya turbin (Watt)
- T = Torsi (N.m)
- ω = Kecepatan anguler (rad/s)

➤ **Menghitung Efisiensi Turbin (η)**

Efisiensi turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

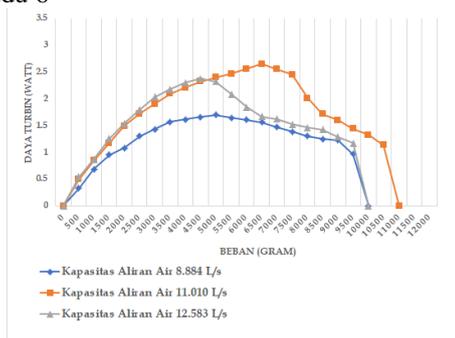
$$\eta = \frac{P_t}{P_a} \cdot 100\% \quad (\text{Pritchard and Leylegian, 2011:505})$$

Keterangan:

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

• **Pembahasan**

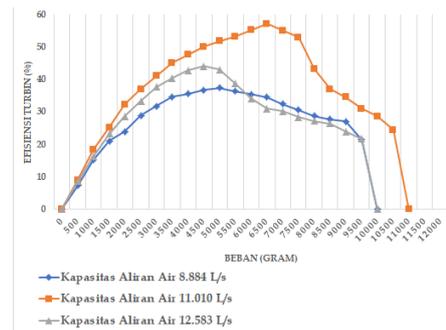
- Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Daya Turbin pada Variasi Jumlah Sudu 6



Gambar 3. Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Daya Turbin Pada Variasi Jumlah Sudu 6

Berdasarkan gambar 3 turbin dengan variasi jumlah sudu 6 menghasilkan daya yang semakin meningkat seperti yang terlihat pada gambar diatas. Pada kapasitas 8,884 L/s mengalami peningkatan daya turbin hingga pada pembebanan 5000 gram dengan nilai daya turbin yang dihasilkan sebesar 1,698 Watt, lalu mengalami penurunan hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 10000 gram. Pada kapasitas aliran 11,010 L/s daya air mengalami peningkatan dibandingkan pada kapasitas sebelumnya yaitu peningkatan nilai daya selalu meningkat hingga pada pembebanan 6500 gram dengan nilai daya turbin yang dihasilkan sebesar 2,65 Watt, lalu daya yang dihasilkan berangsur-angsur menurun hingga berhenti pada pembebanan 11000 gram. Daya turbin pada kapasitas aliran air 12,583 L/s mengalami peningkatan hingga pada pembebanan 4500 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 2,379 Watt dan mulai menurun hingga berhenti pada pembebanan 10000 gram.

Dari gambar 3 dapat diambil kesimpulan bahwa pada kapasitas aliran 11,010 L/s pada pembebanan 6500 gram memiliki nilai daya turbin tertinggi yaitu sebesar 2,65 watt. Hal ini disebabkan karena pada kapasitas 11,010 L/s turbin dengan variasi jumlah sudu 6 dapat menampung daya air dengan baik sehingga gaya dorong yang diberikan air dapat diubah menjadi energi untuk memutar turbin dengan maksimal.

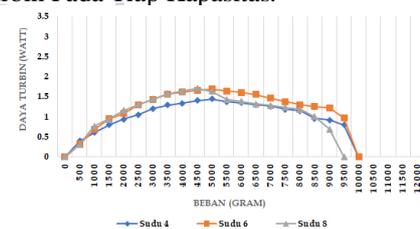


Gambar 4. Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Efisiensi Turbin Pada Variasi Jumlah Sudu 6

Berdasarkan gambar 4. turbin dengan variasi jumlah sudu 6 menghasilkan efisiensi yang semakin meningkat seperti yang terlihat pada gambar diatas. Pada kapasitas 8,884 L/s mengalami peningkatan efisiensi turbin hingga pada pembebanan 5000 gram dengan efisiensi turbin yang dihasilkan sebesar 37,446%, lalu mengalami penurunan hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 10000 gram. Pada kapasitas aliran 11,010 L/s efisiensi turbin mengalami peningkatan dibandingkan pada kapasitas sebelumnya yaitu peningkatan nilai efisiensi turbin selalu naik hingga pada pembebanan 6500 gram dengan efisiensi turbin yang dihasilkan sebesar 57,189%, lalu efisiensi yang dihasilkan berangsur-angsur menurun hingga berhenti pada pembebanan 11000 gram. Efisiensi turbin pada kapasitas aliran air 12,583 L/s mengalami peningkatan hingga pada pembebanan 4500 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 44,172% dan mulai menurun hingga berhenti pada pembebanan 10000 gram.

Dari gambar 4. dapat diambil kesimpulan bahwa pada kapasitas aliran air 11,010 L/s pada pembebanan 6500 gram memiliki nilai efisiensi tertinggi yaitu dengan nilai efisiensi sebesar 57,189%. Daya yang tinggi tidak sepenuhnya menghasilkan efisiensi yang tinggi pula dikarenakan nilai efisiensi didapatkan dari perhitungan daya turbin dibagikan dengan daya air lalu dikalikan 100 persen.

- Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya Turbin Pada Tiap Kapasitas.

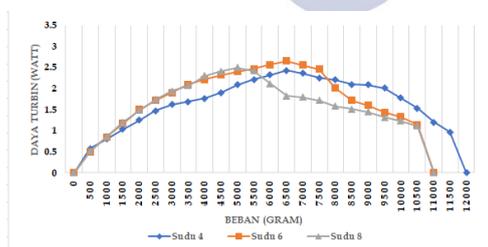


Gambar 5. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 8,884 L/s

Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa turbin dengan jumlah sudu 8 mengalami peningkatan secara terus menerus hingga pembebanan 4500 gram dan mengalami penurunan pada pembebanan 5000 gram dan daya yang dihasilkan juga paling besar dibandingkan dengan sudu 6 dan sudu 4. Hal ini dikarenakan pada kapasitas aliran air 8,884 L/s sudu 8 dapat menampung lebih banyak daya air sehingga dihasilkan daya turbin yang paling tinggi dibanding sudu 6 dan sudu 4.

Pada gambar 5 dapat dilihat grafik yang dihasilkan oleh turbin dengan jumlah sudu 4, 6 dan 8. Daya turbin dengan jumlah sudu 4 mengalami peningkatan hingga pembebanan 5000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 1,443 watt, lalu mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 10000 gram. Daya turbin dengan jumlah sudu 6 terus mengalami peningkatan hingga pembebanan 5000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 1,698 watt, lalu daya yang dihasilkan berangsur-angsur menurun hingga berhenti hingga pembebanan 10000 gram. Sedangkan daya turbin dengan jumlah sudu 8 mengalami peningkatan hingga pembebanan 4500 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 1,716 watt, lalu daya yang dihasilkan mengalami penurunan dan berhenti pada pembebanan 9500 gram.

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa pada kapasitas 8,884 L/s turbin dengan jumlah sudu 8 didapatkan daya yang besar dibandingkan dengan sudu 6 dan 4. Hal ini dikarenakan dengan kapasitas 8,884 L/s mampu mendorong turbin dengan jarak antar sudu yang kecil. Semakin besar jarak sudu turbin maka putaran turbin yang dihasilkan juga semakin kecil pada kapasitas 8,884 L/s. Pada kapasitas ini turbin dengan jumlah sudu 6 dan 4 kurang mendapat dorongan air sehingga nilai daya turbin yang dihasilkan lebih kecil dari pada sudu 8.



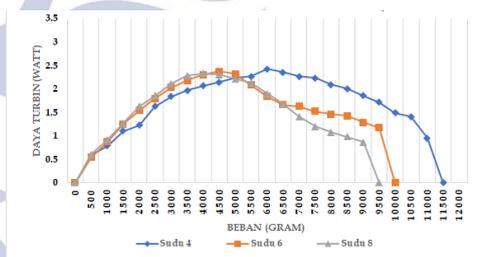
Gambar 6. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 11,010 L/s

Berdasarkan gambar 6 dapat dilihat bahwa turbin dengan variasi jumlah sudu 6 dapat menghasilkan daya turbin yang paling tinggi. Dimana peningkatan terus terjadi sampai pada pembebanan 6500 gram dan terjadi penurunan hingga berhenti di pembebanan 11000 gram. Hal ini dikarenakan pada kapasitas 11.010 L/s turbin dengan jumlah sudu 6 dapat menampung banyak air sehingga dorongan yang didapatkan turbin

dengan jumlah sudu 6 ini lebih baik dari pada turbin dengan jumlah sudu 8 dan 4.

Dari grafik tersebut juga dapat dilihat, daya turbin pada jumlah sudu 4 mengalami peningkatan nilai daya hingga pembebanan 6500 gram dengan nilai daya turbin sebesar 2,430 watt, setelah itu daya turbin menurun dan berhenti pada pembebanan 12000 gram. Daya turbin dengan jumlah sudu 6 juga mengalami peningkatan hingga pembebanan 6500 gram dengan nilai daya sebesar 2,650 Watt, setelah itu daya mengalami penurunan dan berhenti pada pembebanan 11000 gram. Selanjutnya, pada variasi jumlah sudu 8 daya turbin mengalami peningkatan hingga pembebanan 5000 gram dengan nilai daya sebesar 2,494 Watt, setelah itu daya menurun terus menerus dan berhenti pada pembebanan 11000 gram.

Dapat disimpulkan bahwa turbin dengan jumlah sudu 6 dengan kapasitas daya air 11.010 L/s memiliki nilai daya turbin tertinggi, yaitu sebesar 2,650 Watt. Dikarenakan dengan kapasitas tersebut, turbin dengan jumlah sudu 6 mampu menerima dorongan daya air dengan kapasitas tersebut dengan baik. Sedangkan dengan turbin dengan jumlah sudu 8 terdapat benturan pada punggung turbin sehingga adanya hambatan pada saat turbin berputar yang mengakibatkan menurunnya nilai daya turbin yang dihasilkan pada turbin dengan jumlah sudu 8. Pada turbin dengan variasi jumlah sudu 4 juga mendapatkan dorongan yang baik pula akan tetapi dikarenakan jarak sudu yang terlalu jauh membuat turbin dengan variasi jumlah sudu 4 mendapatkan dorongan yang terlalu lambat, sehingga nilai daya yang dihasilkan tidak lebih baik dari pada sudu 6 dan sudu 8.



Gambar 7. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 12,583 L/s

Dari gambar 7 juga dapat dibandingkan daya yang dihasilkan tiap variasi jumlah sudu, turbin dengan jumlah sudu 4 mengalami peningkatan daya turbin hingga pembebanan 6500 gram dan daya yang dihasilkan sebesar 2,398 Watt, lalu mengalami penurunan hingga berhenti berputar pada pembebanan 11500 gram. Turbin dengan jumlah sudu 6 mengalami peningkatan daya turbin hingga pembebanan 4500 gram dan daya yang dihasilkan sebesar 2,379 Watt, setelah itu putaran turbin berangsur-angsur turun hingga berhenti pada pembebanan 10000 gram. Pada turbin dengan jumlah sudu 8, daya yang

dihasilkan turbin terus mengalami peningkatan hingga pembebanan 4000 gram dengan daya turbin yang dihasilkan sebesar 2,333 Watt lalu mengalami penurunan dan berhenti pada pembebanan 9500 gram.

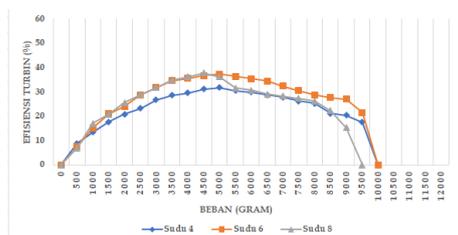
Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa turbin dengan jumlah sudu 4 pada kapasitas 12.583 L/s dan pembebanan 6500 gram memiliki nilai daya tertinggi, yaitu 2,398 Watt. Hal ini disebabkan karena pada kapasitas yang semakin besar dibutuhkan jarak sudu turbin yang semakin besar pula sehingga dorongan yang diberikan tidak mendorong punggung turbin yang nantinya akan menjadi hambatan untuk turbin berputar seperti yang terjadi pada variasi jumlah sudu 6 dan 8 pada kapasitas ini.

Berdasarkan gambar 5, 6, 7 dapat dilihat bahwa dengan memvariasikan jumlah sudu setengah lingkaran pada turbin *crossflow* poros horisontal memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Pada gambar 5 dengan diberikan kapasitas aliran 8,884 L/s, variasi jumlah sudu tidak menghasilkan daya yang besar namun daya yang dihasilkan turbin cenderung mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena pada kapasitas tersebut turbin tidak terendam dengan luasan area penampang aliran tidak sepenuhnya mengenai luasan sudu turbin, sehingga gaya dorong yang dimiliki aliran tidak sepenuhnya mampu mendorong turbin agar berputar dan menghasilkan daya yang tinggi. Seiring penambahan kapasitas aliran yang diatur membuka katup saluran balik pada skema pompa terlihat pada gambar 6 bahwa daya yang dihasilkan turbin mengalami peningkatan dari pada kapasitas aliran sebelumnya, variasi yang diberikan pada jumlah sudu juga cenderung mengalami peningkatan terhadap nilai daya yang dihasilkan turbin. Dalam kondisi aliran 11,010 L/s mendapat nilai daya turbin terbaik yaitu sebesar 2,650 Watt. Pada gambar 7 daya yang dihasilkan turbin mengalami penurunan, turbin dengan jumlah sudu 4 yang mendapatkan hasil paling baik dibandingkan aliran sebelumnya. Hal ini disebabkan karena semakin bertambahnya kapasitas air menyebabkan luas penampang aliran semakin tinggi sehingga gaya dorong tidak mampu melewati turbin yang memiliki jarak sudu yang sempit serta aliran air mendorong punggung turbin yang nantinya menjadi hambatan untuk turbin berputar yaitu pada turbin jumlah sudu 6 dan 8.

Dari analisis yang diberikan di atas dapat disimpulkan bahwa variasi jumlah sudu 6 pada turbin *crossflow* memiliki nilai daya yang paling tinggi, berikutnya dengan variasi jumlah sudu 8 dan daya terendah dihasilkan oleh variasi jumlah sudu 4. Pada saat kapasitas kecil cenderung dibutuhkan turbin dengan jarak sudu yang kecil pula untuk aliran air mampu melewati jarak sudu

turbin yang kecil serta dapat mendorong badan sudu turbin, namun semakin bertambahnya kapasitas juga dibutuhkan jarak sudu yang semakin besar pula agar mampu mendorong turbin untuk berputar. Untuk kapasitas aliran yang besar menyebabkan gaya dorong yang dihasilkan mengenai punggung turbin dengan jarak sudu yang kecil, hal ini disebabkan karena kapasitas aliran air yang besar tidak mampu masuk melewati jarak sudu turbin yang kecil sehingga terjadinya hambatan untuk turbin berputar. Dan sebaliknya untuk kapasitas aliran yang kecil turbin dengan jarak sudu yang besar kurang menampung banyak air sehingga daya yang dihasilkan juga semakin kecil. Pada kapasitas 11,010 L/s terbukti bahwa jumlah sudu 6 memiliki nilai daya turbin terbaik yaitu 2,650 Watt pada pembebanan 6500 gram, ini merupakan nilai tertinggi pada eksperimen dalam memvariasikan jumlah sudu setengah lingkaran pada turbin *crossflow* poros horizontal. Dalam kapasitas 11,010 L/s turbin dengan jumlah sudu 6 mampu menampung aliran air dengan baik sehingga aliran air yang menerpa sisi bagian dalam sudu dapat dimanfaatkan dengan optimal untuk memutar turbin dengan menghasilkan rpm dan torsi yang lebih tinggi. Tetapi tidak dengan turbin dengan jumlah sudu 4 yang mampu menampung kapasitas aliran air yang tinggi dengan pembebanan yang tinggi juga, namun daya turbin yang dihasilkan tidak terlalu tinggi karena jarak sudu yang jauh serta gaya dorong yang diberikan air tidak terlalu cepat, sehingga daya yang dihasilkan turbin dengan jumlah sudu 4 tidak terlalu tinggi akan tetapi turbin dengan jumlah sudu 4 memiliki ketahanan putaran yang sangat baik dalam menerima pembebanan, dikarenakan jarak sudu yang lebar mampu menampung aliran air dalam kapasitas besar atau kecil sehingga kestabilan putaran turbin dengan jumlah sudu 4 dalam menerima pembebanan dapat menghasilkan ketahanan yang baik. Dan pada turbin dengan jumlah sudu 8, daya yang dihasilkan tidak begitu besar. Hal ini dikarenakan sudu turbin bagian dalam tidak sepenuhnya menampung aliran air dalam kapasitas besar serta gaya dorong yang diberikan air tidak sepenuhnya mendorong badan turbin melainkan sebagian aliran mendorong punggung turbin sehingga mengakibatkan adanya hambatan ketika turbin berputar, akan tetapi variasi jumlah sudu 8 ini mampu menampung aliran air dengan baik pada kapasitas aliran kecil.

➤ Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Turbin Pada Tiap Kapasitas.

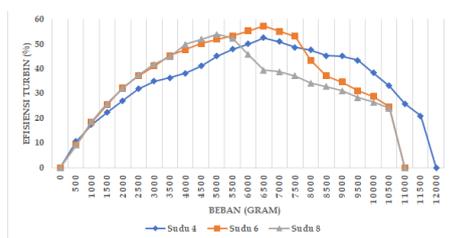


Gambar 8. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 8,884 L/s

Berdasarkan grafik 8 dapat diketahui bahwa turbin dengan jumlah sudu 8 mengalami kenaikan nilai efisiensi hingga pembebanan 4500 gram, setelah itu nilai efisiensi menurun hingga putaran berhenti dipembebanan 9500 gram. Hal ini dikarenakan nilai efisiensi berhubungan dengan nilai daya turbin dan torsi yang dihasilkan oleh turbin. Apabila nilai daya turbin mengalami penurunan maka efisiensi turbin juga akan menurun.

Dari grafik diatas juga dapat dibandingkan bahwa turbin dengan jumlah sudu 4 mengalami peningkatan efisiensi hingga pembebanan 5000 gram dengan nilai efisiensi sebesar 31.872% setelah itu efisiensi menurun hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 10000 gram. Turbin dengan jumlah sudu 6 mengalami peningkatan nilai efisiensi hingga pembebanan 5000 dengan nilai efisiensi sebesar 37.446% setelah itu nilai efisiensi turbin menurun hingga berhenti pada pembebanan 10000 gram. Turbin dengan jumlah sudu 8 efisiensi turbin terus meningkat hingga pembebanan 4500 gram dengan nilai efisiensi sebesar 37.895% lalu turbin berhenti pada pembebanan 9500 gram.

Dari gambar 8 dapat disimpulkan bahwa turbin dengan jumlah sudu 8 memiliki nilai efisiensi tertinggi dengan kapasitas aliran air 8,884 L/s dengan nilai efisiensi sebesar 37.895% pada pembebanan 4500 gram. Hal ini berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan turbin, Karena dalam mencari nilai efisiensi, daya turbin dibagikan dengan daya air lalu dikalikan 100 persen. Dari rumusan itu juga dapat dilihat bahwa kapasitas aliran mempengaruhi peningkatan daya yang dihasilkan turbin karena adanya putaran dan torsi yang meningkat.

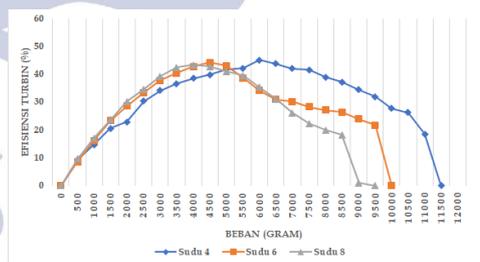


Gambar 9. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 11,010 L/s

Berdasarkan pada gambar 9 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi turbin dengan jumlah sudu 6 mengalami peningkatan dibanding kapasitas sebelumnya, nilai efisiensi dari variasi jumlah sudu 6 terus meningkat hingga pembebanan 6500 gram. Hal ini disebabkan karena kapasitas aliran yang diatur lebih besar dengan nilai sebesar 11,010 L/s sehingga daya turbin meningkat dan efisiensinya juga meningkat.

Dari grafik diatas juga dapat diketahui bahwa turbin dengan variasi jumlah sudu 4 terus mengalami peningkatan nilai efisiensi hingga pembebanan 6500 gram, nilai efisiensi yang dihasilkan turbin sebesar 52.445%, setelah itu berangsur-angsur daya mengalami penurunan hingga berhenti pada pembebanan 12000 gram. Pada turbin dengan variasi jumlah sudu 6 nilai efisiensi terus meningkat hingga pembebanan 6500 gram dengan efisiensi sebesar 57.189%, nilai efisiensi setelah itu berangsur-angsur menurun hingga berhenti pada pembebanan 11000 gram. Selanjutnya pada turbin dengan variasi jumlah sudu 8 nilai efisiensi turbin juga terus mengalami peningkatan hingga pembebanan 5000 gram dengan nilai efisiensi sebesar 53.833%, setelah itu nilai efisiensi juga menurun hingga turbin berhenti pada pembebanan 11000 gram.

Dari gambar 9 dapat disimpulkan bahwa variasi jumlah sudu 6 pada turbin *crossflow* dengan kapasitas 11,010 L/s memiliki nilai efisiensi tertinggi dan terbaik yaitu dengan nilai 57.189% pada pembebanan 6500 gram, hal ini berbanding lurus dengan daya turbin yang dihasilkan karena nilai efisiensi berasal dari perhitungan daya turbin dibagi dengan daya air lalu dikalikan 100 persen.



Gambar 10. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 12,583 L/s

Berdasarkan pada gambar 10 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi turbin dengan jumlah sudu 4 mengalami peningkatan, nilai efisiensi dari variasi jumlah sudu 4 terus meningkat hingga pada pembebanan 6000 gram. Hal ini disebabkan karena kapasitas aliran yang diatur lebih besar yaitu dengan nilai 12,583 L/s sehingga daya turbin meningkat dan efisiensi turbin juga ikut meningkat.

Berdasarkan gambar 10 pula dapat dibandingkan bahwa turbin dengan variasi jumlah sudu 4 terus mengalami peningkatan nilai

efisiensi hingga pembebanan 6000 gram dengan nilai efisiensi sebesar 45.093%. Setelah itu nilai efisiensi mengalami penurunan hingga berhenti pada pembebanan 11500 gram. Turbin dengan variasi jumlah sudu 6 juga mengalami peningkatan nilai efisiensi hingga pembebanan 4500 gram dengan nilai efisiensi sebesar 44.172% setelah itu berangsur-angsur nilai efisiensi dari turbin ini menurun dan berhenti berputar pada pembebanan 10000 gram. Terakhir adalah variasi turbin dengan jumlah sudu 8 yang mengalami peningkatan nilai efisiensi hingga pembebanan 4000 gram dengan nilai efisiensi sebesar 43.318% lalu nilai efisiensi turbin menurun hingga berhenti pada pembebanan 9500 gram.

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa variasi jumlah sudu 4 dan kapasitas 12,583 L/s memiliki nilai efisiensi tertinggi pada pembebanan 6000 gram dengan nilai efisiensi sebesar 45.093%. Hal ini berbanding lurus dengan daya turbin yang dihasilkan pada kapasitas aliran yang sama, karena pada dasarnya nilai efisiensi dihasilkan dari daya air dibagi dengan daya turbin dikalikan 100 persen.

Berdasarkan gambar 8, 9, 10 dapat dilihat bahwa dengan memvariasikan jumlah sudu setengah lingkaran pada turbin *crossflow* poros horizontal memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Nilai efisiensi meningkat karena adanya peningkatan pembebanan yang dilakukan saat pengujian, pembebanan menyebabkan torsi pada turbin semakin besar sehingga daya yang dihasilkan turbin pun akan semakin besar. Namun perlu diperhatikan saat pembebanan semakin besar maka gaya akan semakin besar hingga dapat menghentikan putaran turbin, sehingga saat turbin berhenti tidak menghasilkan daya dan efisiensi. Penambahan kapasitas aliran air pun tidak selamanya menghasilkan daya dan efisiensi yang tinggi, hal ini disebabkan karena luasan penampang aliran yang semakin tinggi justru menahan putaran turbin saat terkena gaya dari aliran air.

Pada gambar 8 dengan mengatur kapasitas aliran pada 8,884L/s variasi jumlah sudu tidak menghasilkan nilai efisiensi yang begitu besar, namun efisiensi yang dihasilkan cenderung mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena pada kapasitas tersebut turbin tidak terendam dan luasan area penampang aliran tidak sepenuhnya mengenai luasan sudu turbin, sehingga gaya dorong yang dimiliki aliran tidak sepenuhnya mampu mendorong turbin agar berputar dan menghasilkan daya yang tinggi. Seiring penambahan kapasitas aliran yang diatur dengan membuka katup saluran balik pada skema pompa terlihat pada gambar 9 bahwa efisiensi yang dihasilkan turbin mengalami peningkatan dari pada kapasitas aliran sebelumnya, variasi yang diberikan pada jumlah sudu juga cenderung

mengalami peningkatan terhadap nilai efisiensi yang dihasilkan turbin. Semakin bertambahnya kapasitas aliran seperti yang terjadi pada gambar 10 nilai efisiensi yang dihasilkan turbin mengalami penurunan dibandingkan dengan kapasitas sebelumnya. Hal ini disebabkan semakin bertambahnya kapasitas aliran maka lebih dibutuhkan jarak celah sudu yang semakin besar pula untuk aliran air mampu melewati celah turbin dan mendorong turbin.

Dari analisis yang diberikan diatas dapat disimpulkan bahwa variasi jumlah sudu 6 pada variasi jumlah sudu setengah lingkaran turbin *crossflow* memiliki nilai efisiensi paling tinggi dilanjutkan dengan variasi jumlah sudu 8 dan nilai efisiensi terendah dihasilkan oleh variasi jumlah sudu 4. Ketika kapasitas aliran 8,884 L/s jumlah sudu 8 memiliki nilai efisiensi tertinggi dibandingkan dengan jumlah sudu yang lain, namun saat kapasitas aliran air ditingkatkan menjadi 11,010 L/s jumlah sudu 6 memiliki karakteristik nilai efisiensi tertinggi dengan nilai efisiensi sebesar 57.189% lalu diikuti variasi jumlah sudu 8. Pada hal ini maka dengan kapasitas aliran yang rendah dibutuhkan jarak sudu yang kecil untuk aliran mampu mendorong sudu turbin namun dengan bertambahnya kapasitas aliran air dibutuhkan jarak sudu yang besar pula. Dengan kapasitas yang besar, luas penampang aliran juga sangat tinggi sehingga turbin dengan jarak sudu yang kecil, aliran air mendorong punggung turbin sehingga mengakibatkan terjadinya hambatan untuk turbin berputar.

## PENUTUP

### Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian dan pembahasan data mengenai variasi jumlah sudu setengah lingkaran pada turbin *crossflow* poros horizontal yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan terhadap karakteristik setiap variasi jumlah sudu pada daya dan efisiensi yang dihasilkan berikut:

- Daya tertinggi terdapat pada turbin dengan variasi jumlah sudu 6 pada kapasitas 11,010 L/s dengan nilai daya turbin yang dihasilkan sebesar 2,650 Watt dengan pembebanan 6500 gram, diikuti dengan turbin dengan variasi jumlah sudu 8 dengan nilai daya turbin sebesar 2,494 Watt dengan pembebanan 5000 gram pada kapasitas 11,010 L/s dan yang paling rendah berada pada variasi jumlah sudu 4 dengan nilai daya turbin sebesar 2,430 Watt pada kapasitas aliran sebesar 11,010 L/s dengan pembebanan 6500 gram.
- Efisiensi tertinggi terdapat pada turbin dengan variasi jumlah sudu 6 pada kapasitas 11,010 L/s dengan nilai efisiensi sebesar 57,189%

dengan pembebanan 6500 gram, lalu diikuti variasi jumlah sudu 8 dengan nilai efisiensi sebesar 53,833% pada kapasitas air 11,010 L/s dengan pembebanan 5000 gram dan yang paling kecil berada pada variasi jumlah sudu 4 dengan nilai efisiensi 52,445% pada pembebanan 6500 gram dan kapasitas aliran sebesar 11,010 L/s.

#### Saran

Pada penelitian dengan memvariasikan jumlah sudu setengah lingkaran pada turbin *crossflow* ini masih perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk jumlah sudu 5 dan 7 agar dapat diketahui daya dan efisiensi disetiap jarak celah sudu turbin, serta dibutuhkan lagi adanya peninggi aliran sebagai tambahan tekanan dan dorongan pada turbin *crossflow* poros horisontal. Kemudian lebih diperhatikan lagi jarak aliran silang pada turbin sehingga saluran *inlet* dan *outlet* turbin lebih optimal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Berya, Prillia. 2012. "Makalah Turbin Air", (Online), ([https://www.academia.edu/7246445/Makalah\\_turbin-air](https://www.academia.edu/7246445/Makalah_turbin-air), diakses 17 September 2012).
- Dietzel, Fritz. 1995. *Turbin, Pompa dan Kompresor*. Jakarta: Erlangga
- Energi, Satu. 2015. "Jenis-Jenis Turbin Air PLTA/PLTMH" (<http://www.satuenergi.com/2015/04/jenis-jenis-turbin-air-pltaplth.html> diakses 2 April 2015).
- Gunarto dan Aspriansyah. 2017. "Rekayasa Model Peralatan Praktikum Turbin Pelton Dengan Type Sudu Setengah Silinder". *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 3 (1): hal. 5-9.
- Haimerl, L.A. 1960. *The Cross Flow Turbine*. Jerman Barat.
- Khurmi, R S. and J.K. Gupta. 2005. *Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publishing House.
- Laksono, Tegar. 2015. "Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)", (Online), (<https://tegarubolaksono.blogspot.com/2015/08/> diakses 30 Agustus 2015).
- Lexy, J Moleong. 2008. *Metodologi Penelitian Kualitatif*, Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Mockmore and Merryfield (1949:13) Segitiga Percepatan Turbin *Crossflow*
- Pinheiro Vas, Jerson Rogerio. 2016. "Cavitation Inception in Crossflow Hydro Turbine", (Online), ([https://www.researchgate.net/figure/Geometrical-configuration-of-a-crossflow-turbine-in-a-small-hydro-power-system\\_fig1\\_299417437](https://www.researchgate.net/figure/Geometrical-configuration-of-a-crossflow-turbine-in-a-small-hydro-power-system_fig1_299417437) diakses 9 Maret 2016).
- Prambanan, Mcp. 2017. "Makalah Bab Turbin", (Online), (<https://mcpprambanan.wordpress.com/2017/05/20/makalah-bab-turbin/> diakses 20 Mei 2017).
- Pramesti, Cyntia Ratna. 2014. "Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (Pembangkit Listrik)", (Online), (<https://chyntiaparasmita.wordpress.com/plta/> Diakses tanggal 14 Agustus 2014).
- Pramesti, Yashinta Sindy. 2018. "Analisa Pengaruh Sudut Sudu Terhadap Kinerja Turbin Kinetik Poros Horizontal dan Vertikal". *Jurnal Mesin Nusantara*. Vol 1 (1): hal. 51-59.
- Porras, Faiz De. 2012. "Turbin Air", (Online), (<https://id.scribd.com/doc/110958367/Turbin-Air>, diakses 24 oktober 2012).
- Pritchard, Philip J. and Leylegian, Jhon C. 2011. *Introduction to Fluid Mechanics*. Eighth Edition. Danver: Jhon Wiley & Sonc Inc.
- Riadi, Muchlisin. 2016. "Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)", (Online), (<https://www.kajianpustaka.com/2016/10/pembangkit-listrik-tenaga-mikro-hidro.html>, diakses 17 Oktober 2016).
- Riduan, Mujib dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2016. "Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Reaksi *Crossflow* Poros Vertikal Dengan Sudu Setengah Silinder". *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 04 (3): hal. 405-412.
- Sahid. 2012. "Kaji Eksperimental Kinerja Turbin *Crossflow* Bernasis Konstruksi Silinder (Drum) Poros Vertikal Untuk Potensi Arus Sungai". *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 3 (1): hal. 54-59.
- Sugiyono. 2011. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif Dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Tim Penyusun. 2014. *Pedoman Penulisan Skripsi: Program Sarjana Strata Satu (S-1) Universitas Negeri Surabaya*. Surabaya: Unesa.
- Yani, Ahmad dan Mihdar, Erianto. 2016. "Pengaruh Variasi Bentuk Sudu Terhadap Kinerja Turbin Kinetik (Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah Pedesaan)". *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 5 (1): hal. 8-13.