

## EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI PANJANG PADA UJUNG SUDU BERPENAMPANG L TERHADAP KINERJA TURBIN *CROSSFLOW* POROS HORIZONTAL

**Dinda Putri Anggriani**

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
Email: [dinda.17050754081@mhs.unesa.ac.id](mailto:dinda.17050754081@mhs.unesa.ac.id)

**Priyo Heru Adiwibowo**

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

### Abstrak

Pembangkit listrik saat ini terus menerus dikembangkan seiring dengan pemasokan produksi listrik yang semakin bertambah pesat. Keadaan ini berbanding terbalik dengan sumber energi yang semakin menipis setiap tahunnya. Dengan adanya sumber energi terbarukan seperti matahari, angin, air, dan sebagainya dapat dimanfaatkan untuk mengganti energi tak terbarukan. Potensi air yang melimpah di Indonesia dapat dipergunakan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) berskala kecil. Saat ini banyak dikembangkan turbin impuls di mana energi potensial air di rubah menjadi energi kinetik, yang mampu beroperasi pada head yang rendah. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh dari variasi panjang pada ujung sudu ber penampang L pada turbin crossflow. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan memvariasikan panjang pada ujung sudu ber penampang L dengan menggunakan turbin tanpa ujung dan variasi panjang ujung sudu yang digunakan 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm yang akan diuji dengan variasi kapasitas air sebesar 9.572 L/s, 11.024 L/s, 14.322 L/s, 16.,152 L/s, dan 18.113 L/s dengan variasi pembebanan 500 g, 1000 g, 1500 g, 2000 g hingga turbin berhenti berputar. Didapatkan hasil penelitian turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm memiliki kinerja yang paling optimal dibandingkan dengan panjang ujung sudu 15 mm, 20 mm, dan 25 mm. Daya tertinggi diperoleh pada turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm pada kapasitas 18,113 L/s dengan pembebanan 9000 gram sebesar 5,912 Watt. Efisiensi tertinggi diperoleh pada panjang ujung sudu 10 mm pada kapasitas 11,024 L/s dengan pembebanan 4000 gram sebesar 82,94 %. Sedangkan turbin tanpa ujung memiliki kinerja terendah dibandingkan turbin lainnya. Hal ini dikarenakan pada turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm mampu memanfaatkan aliran air dengan baik dan jarak antar ujung sudu lebih jauh mengakibatkan banyaknya air yang tertampung sehingga mampu menggerakkan turbin lebih kuat yang dapat menghasilkan RPM tinggi serta torsi lebih besar meskipun diberi pembebanan yang semakin besar.

**Kata Kunci** : *Crossflow*, Daya, Efisiensi, Turbin, Sudu L, Panjang Ujung Sudu.

### Abstract

*Current power plants are continuously being developed in line with the rapidly increasing supply of electricity production. This situation is inversely proportional to energy sources that are dwindling every year. With the existence of renewable energy sources such as sun, wind, water, and so on, it can be used to replace non-renewable energy. The abundant water potential in Indonesia that can be used as a small-scale Micro-hydro Power Plant (PLTMH). At this time, many impulse turbines have been developed where the potential energy of water is converted into kinetic energy, which is capable of operating at low heads. The purpose of this study was to determine the effect of variations in length at the end of the blade with a cross-section of L in a crossflow turbine. This study uses an experimental method by varying the length at the end of the L-section blade using a turbine without an end and the variations in the length of the tip of the blades used are 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm which will be tested with variations in water capacity of 9.572 L/s, 11.024 L/s, 14.322 L/s, 16., 152 L/s, and 18,113 L/s with various loadings of 500 g, 1000 g, 1500 g, 2000 g until the turbine stops. The results showed that turbines with blade end lengths of 10 mm had the most optimal performance compared to blade tip lengths of 15 mm, 20 mm, and 25 mm. The highest power is obtained in a turbine with a blade end length of 10 mm at a capacity of 18,113 L/s with a 9000 gram loading of 5,912 Watt. The highest efficiency was also obtained at the blade end length of 10 mm at a capacity of 11.024 L/s with a loading of 4000 grams of 82.94%. While the turbine without an end has the lowest performance compared to other turbines. This is because the turbine with a blade end length of 10 mm is able to utilize the water flow well and the distance between the tip of the blades is further which results in more water being accommodated so that it is able to drive a more powerful turbine which can produce high rpm and greater torque even though it is given a higher load.*

**Keywords** : *Crossflow*, Power, Efficiency, Turbine, L Blades.

## PENDAHULUAN

Pembangkit listrik saat ini terus menerus dikembangkan seiring dengan pemasokan produksi listrik yang semakin bertambah pesat. Keadaan ini berbanding terbalik dengan sumber energi yang semakin menipis setiap tahunnya. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Badan Pusat Statistik di Indonesia menyatakan bahwa kapasitas terpasangnya PLN mengalami pertambahan. Dimulai dari jenis pembangkit listrik tenaga gas, tenaga uap, tenaga air, tenaga panas bumi, sampai tenaga mikrohidro. Sesuai dengan Badan Pusat Statistik (2017) kapasitas terpasang PLN tenaga mikrohidro sebesar 137 Mega Watt (MW) sedangkan pada tahun 2018 mengalami kenaikan menjadi 152 Mega Watt (MW). Sedangkan proporsi pasokan energi primer menurut Badan Pusat Statistik (2016) untuk energi Minyak 35,19%, Batu bara 23,43%, gas 17,97%, geothermal 1,05%. Di mana dengan bertambahnya tahun energi primer akan semakin berkurang. Dengan adanya sumber energi terbarukan seperti matahari, angin, air, dan sebagainya dapat dimanfaatkan untuk mengganti energi tak terbarukan. Salah satunya potensi air yang melimpah di Indonesia dapat dipergunakan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) berskala kecil.

Menurut informasi Kementerian ESDM RI (2012) Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang ada di Indonesia sangat banyak, mikrohidro sebesar 450 MW, Biomassa 50 giga watt, energi matahari 4,80 kWh/m<sup>2</sup>/hari, dan energi nuklir 3 giga watt. Direktur Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi menyampaikan data energi pada acara Focus Group Discussion tentang Suply-Demand Energi Terbarukan yang diselenggarakan Pusdatin ESDM.

Pengembangan EBT sekarang ini berpedoman kepada Perpres No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional. Dalam Perpres dinyatakan kontribusi EBT dalam pencampuran energi primer nasional pada tahun 2025 sebesar 17% dengan komposisi Bahan Bakar Nabati sebesar 5%, Panas Bumi 5%, Biomasa, Nuklir, Air, Surya, dan Angin 5%, serta batu bara yang diproduksi sebesar 2%. Pemerintah menargetkan dapat meningkatkan jumlah Pembangkit Listrik Mikrohidro tahun 2025 sebesar 2,846 MW, tahun 2020 Biomasa sejumlah 180 MW, tahun 2025 angin sejumlah 0,97 GW, tahun 2024 surya sejumlah 0,87 GW, dan tahun 2024 nuklir sejumlah 4,2 GW.

Berdasarkan penelitian Rohermanto (2007) berkenaan dengan Pembangkit Listrik Mikrohidro, Mikrohidro merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) berskala kecil, karena secara bahasa mikro berarti kecil dan hydro berarti air.. Dengan

memanfaatkan aliran irigasi atau aliran sungai menjadi sumber tenaga untuk menggerakkan turbin dan memutar generator. Pada dasarnya air mengalir dengan ketinggian 2,5 meter dengan debit 250 liter/detik, maka tersedia energi listrik. Dan juga mikrohidro tidak harus memiliki waduk sebesar sebagaimana PLTA.

Penelitian juga dilakukan oleh Sutrimo & Adiwibowo (2019) “Studi eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Berpenampang L Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin *Crossflow* Poros Horizontal”. Dengan hasil bahwa variasi jumlah sudu mempunyai dampak sangat besar pada hasil efisiensi dan daya yang diperoleh dari turbin crossflow. Jumlah sudu 6 buah pada kapasitas aliran 13,408 L/s dengan beban 6000 gram memperoleh daya tertinggi 3,683 watt. Efisiensi terbesar diperoleh pada turbin dengan variasi jumlah sudu 6 di kapasitas aliran 11,775 L/s dengan beban 5500 gram nilai efisiensi yaitu 57,98 %. Hal tersebut disebabkan sudu yang berjumlah banyak menyebabkan penyempitan. Turbin berbentuk lingkaran penuh menyebabkan daya air tidak dapat menekan turbin secara maksimal, kinerja turbin juga akan dipengaruhi oleh massa turbin itu sendiri.

Penelitian juga dilakukan oleh Prabowo & Adiwibowo (2018) “Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang L dengan Variasi Panjang Sisi Lurus Pada Ujung Sudu”, menjelaskan panjang ujung sudu 5 cm mendapatkan daya terbesar pada kapasitas 13,4434 L/s sebesar 35,65 Watt pada beban 35000 gram. Efisiensi tertinggi juga didapatkan turbin dengan panjang ujung sudu 5 cm pada kapasitas 9,3092 L/s sebesar 48,47 % pada beban 25000 gram. Dikarenakan panjang ujung sudu bertambah maka daya dan efisiensi yang didapatkan meningkat hingga yang optimal pada panjang ujung sudu yaitu 5 cm lalu daya dan efisiensi terjadi penurunan.

Penelitian juga dilakukan oleh Insanto & Adiwibowo (2020) yang berjudul “Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Sudu Berpenampang Datar Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Reaksi *Crossflow* Poros Horizontal”. Menyatakan nilai daya dan efisiensi paling optimal pada turbin rasio 15/16 dibandingkan turbin dengan rasio 13/16 dan 14/16. Daya tertinggi diperoleh turbin dengan rasio 15/16 pada 12,58 L/s dengan beban 8000 gram nilai daya sebesar 3,135 Watt. Efisiensi tertinggi juga diperoleh rasio 15/16 pada kapasitas 12,58 L/s dengan beban 8000 gram dengan nilai efisiensi sebesar 58,21 %.

Penelitian selanjutnya oleh Fauzy & Adiwibowo (2020) yang berjudul “Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Diameter Luar dan Dalam Sudu plat Datar Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin *Crossflow*

Poros Horizontal". Dalam penelitiannya dikatakan bahwa nilai daya terbesar dan efisiensi optimal terdapat pada turbin dengan rasio diameter 0,6 dibandingkan turbin rasio diameter 0,5, 0,65, dan 0,7. Nilai daya tertinggi terdapat pada turbin dengan rasio diameter 0,6 di kapasitas 14,32 L/s dengan beban 5500 gram, dengan nilai daya 2,86 watt. Rasio diameter 0,6 memiliki nilai efisiensi optimal pada kapasitas 14,32 L/s dengan beban 5500 gram diperoleh nilai efisiensi sebesar 74,18%.

Penelitian yang sudah dilakukan memperoleh hasil kinerja turbin *crossflow* yang optimal pada penelitian terdahulu mengenai jumlah sudu berpenampang L dan panjang ujung sisi sudu berpenampang namun pada aliran turbin vortex. Maka dari itu peneliti mengkaji penelitian untuk mengoptimalkan daya dan efisiensi pada turbin reaksi aliran *crossflow* terhadap kinerja turbin dengan memvariasikan panjang pada ujung sudu berpenampang L pada turbin *crossflow*. Harapan peneliti dari hasil uji eksperimen ini yaitu membuat turbin *crossflow* poros horizontal untuk lebih baik menurut segi efektivitas dan daya yang didapatkan mampu dimanfaatkan untuk skala kecil contoh pada pemukiman berada disekitar potensi air maka bisa lebih dimanfaatkan energi terbarukan tersebut.

## METODE

Penelitian kali ini metode yang digunakan adalah metode eksperimen. Metode eksperimen adalah metode untuk mencari suatu hubungan sebab akibat antara beberapa faktor yang terkait. Pada eksperimen kali ini peneliti memvariasikan panjang pada ujung sudu berpenampang L untuk mencari berapa panjang pada ujung sudu yang optimal yang memiliki efisiensi terbaik. Penelitian ini dilakukan dalam keadaan dan peralatan yang telah disesuaikan.

## Tempat dan Waktu Penelitian

### Tempat Penelitian

Penelitian turbin aliran *crossflow* tipe sudu berpenampang L yang memvariasikan panjang pada ujung sudu ini akan dilaksanakan di Lab. Mekanika Fluida A8.02 Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.

### Waktu Penelitian

Penelitian kali ini dilakukan sesudah proposal skripsi telah diseminarkan dan disetujui sehingga semua data dan analisa yang dibutuhkan akan terpenuhi.

## Variabel Penelitian

### Variabel Bebas

Pada penelitian kali ini variabel bebas yang digunakan adalah variasi panjang pada ujung sudu yaitu 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm.



Gambar 1. Turbin *Crossflow* Sudu Berpenampang L

### Variabel Terikat

Pada penelitian ini variabel terikatnya berupa hasil Daya dan efisiensi dari turbin reaksi *crossflow*.

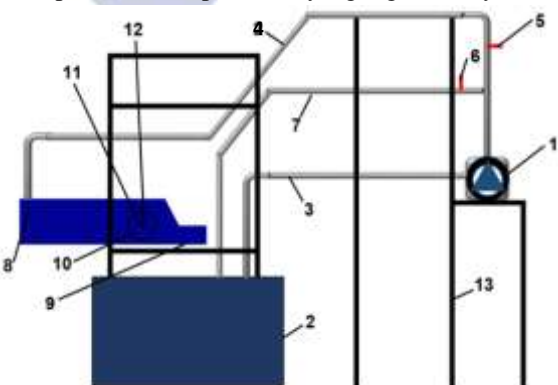
### Variabel Kontrol

Pada penelitian kali ini variabel kontrol yang digunakan yaitu :

- Menggunakan fluida air.
- Kapasitas atau debit aliran air ketika pengujian.
- Kapasitas air yang digunakan sebesar 9.572 L/s, 11.024 L/s, 14.322 L/s, 16.152 L/s, dan 18.113 L/s.
- Bukaan katup disesuaikan pada  $130^{\circ}$  ,  $140^{\circ}$  ,  $150^{\circ}$  ,  $160^{\circ}$  ,  $170^{\circ}$  .
- Pembebanan yang diberikan 500 g, 1000 g, 1500 g, 2000 g, dan selanjutnya sampai turbin tidak berputar.

## Peralatan dan Instrumen Penelitian

Dalam penelitian ini peralatan yang digunakan yaitu :



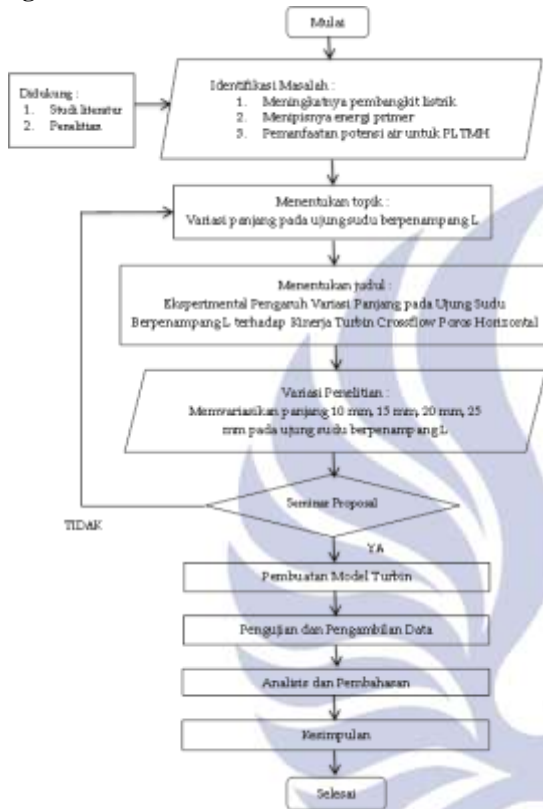
Gambar 2. Skema PLTMH

Keterangan :

1. Pompa
2. Bak Penampungan Air
3. Pipa Penyalur *Section*
4. Saluran *Discharge*
5. Katup Utama
6. Katup *Bypass*

7. Saluran *Bypass*
8. Saluran *Inlet*
9. Saluran *Outlet*
10. Letak Turbin
11. Letak Rangka Poros
12. Letak *Prony Brake*
13. Rangka Utama PLTMH

**Diagram Alir Penelitian**



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

**Teknik Pengumpulan Data**

Pengumpulan data digunakan agar mendapat informasi yang diperlukan guna mencapai apa yang diharapkan pada penelitian. Jawaban sementara dari pertanyaan penelitian terdapat pada hipotesis. Beberapa data variabel yang ada dalam hipotesis akan digabungkan. Teknik pengumpulan data pada penelitian kali ini memakai cara pengukuran atau pengujian obyek yang diteliti dan menulis *output* tersebut.

**Teknik Analisa Data**

Pengambilan data dalam penelitian ini menggunakan alat ukur, sehingga perolehan dari pengukuran ditulis pada tabel, dihitung dan tersaji dalam bentuk grafik supaya dapat bisa dipahami. Hal ini dilakukan untuk memberikan keadaan tentang kinerja alat yang optimal, interaksi antara variabel dan kenyataan yang terjadi ketika pengujian.

**Hasil dan Pembahasan**

**Hasil Penelitian**

Penelitian kali ini pengambilan data dikerjakan sampai tiga kali, yang akan di hitung rata-rata dari proses percobaan tiga kali, hal ini bertujuan supaya data yang didapatkan seperti pada kondisi yang sebenarnya. Dari pengujian nilai yang diperoleh terdiri atas tinggi aliran air, beban neraca, nilai putaran poros yang akan dihitung untuk memperoleh nilai daya air, torsi, daya turbin dan efisiensi. Beberapa perhitungan mendapatkan data tersebut yaitu :

- Perhitungan Kapasitas Air (Q)

Untuk pengukuran kapasitas air dilakukan menggunakan *V-notch weir*, dengan rumusan sebagai berikut :

$$Q = cd \cdot \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot tg \frac{\theta}{2} \cdot Hv^{5/2} \quad (1)$$

Dimana :

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

- Luas Penampang Aliran (A)

Untuk mencari luas penampang bisa dihitung dengan rumusan sebagai berikut :

$$A = t \cdot l \quad (2)$$

Dimana :

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

- Kecepatan Aliran Air (V)

Kecepatan aliran pada saluran penampang bisa diukur dengan rumusan sebagai berikut :

$$V = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

Dimana :

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

- Daya Air yang Mengalir (Pa)

Daya air yang dimiliki air bisa dihitung dengan rumusan sebagai berikut :

$$Pa = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (4)$$

Dimana :

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

- Gaya (F)

Besaran gaya dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$F = (m \text{ beban} - m \text{ neraca}) \cdot g \quad (5)$$

Dimana :

F = Gaya (N)

m = Beban (kg)

g = Gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

▪ Torsi (T)

Besarnya torsi bisa dihitung dengan rumusan sebagai berikut :

$$T = F \cdot r \quad (6)$$

Dimana :

T = Torsi (Nm)

F = Gaya (N)

r = Lengan (m)

▪ Kecepatan Angular Turbin ( $\omega$ )

Kecepatan angular dapat dihitung dengan rumusan sebagai berikut :

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60} \quad (7)$$

Dimana :

$\omega$  = Kecepatan angular (rad/s)

$\pi$  = 3,14

n = Putaran (rpm)

▪ Daya Turbin (Pt)

Daya turbin bisa dihitung menggunakan rumusan sebagai berikut :

$$Pt = T \cdot \omega \quad (8)$$

Dimana :

Pt = Daya Turbin (watt)

T = Torsi (N.m)

$\omega$  = Kecepatan angular (rad/s)

▪ Efisiensi Turbin ( $\eta$ )

Efisiensi turbin dihitung menggunakan rumusan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{Pt}{Pa} \cdot 100\% \quad (9)$$

Dimana :

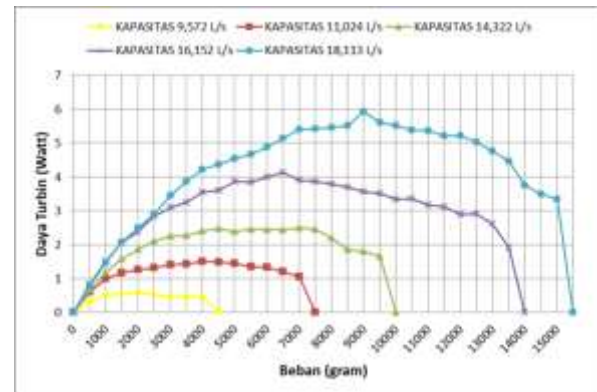
$\eta$  = Efisiensi turbin

Pt = Daya turbin (watt)

Pa = Daya air (watt)

**Pembahasan**

▪ **Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Daya Turbin**

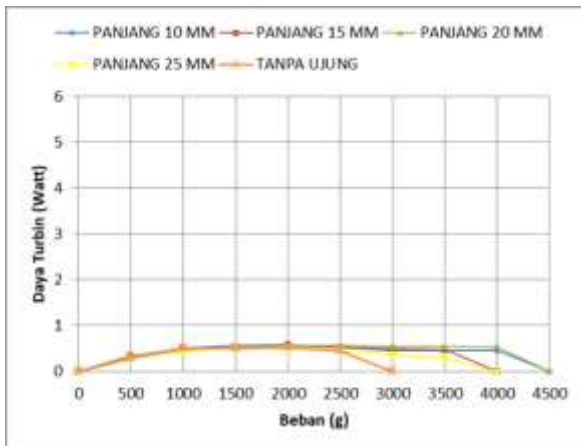


Gambar 4. Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Daya Turbin pada Panjang Ujung Sudu 10 mm

Menurut grafik pada gambar 4 turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm mendapatkan daya yang terus meningkat berbanding lurus dengan meningkatnya kapasitas aliran. Pada gambar 4 pada kapasitas aliran 9,572 L/s mengalami kenaikan sampai beban 2000 gram nilai daya turbin yang didapatkan 0,591 Watt, lalu berangsur-angsur menurun sampai turbin tidak berputar pada beban 4500 gram. Daya turbin dengan kapasitas aliran 11,024 L/s meningkat hingga beban 4000 gram sebesar 1,507 Watt lalu menurun hingga turbin tidak berputar pada beban 7500 gram. Daya turbin dengan kapasitas aliran 14,322 L/s meningkat sampai beban 7000 gram sebesar 2,498 Watt lalu menurun sampai turbin tidak berputar pada beban 10000 gram. Pada kapasitas aliran 16,152 L/s daya meningkat sampai beban 6500 gram sebesar 4,120 Watt, lalu berangsur-angsur menurun sampai turbin tidak berputar pada beban 14000 gram. Dan daya di kapasitas aliran 18,113 L/s meningkat sampai pembebanan 9000 gram sebesar 5,912 Watt, lalu terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 15500 gram.

Dari gambar 4 bisa disimpulkan jika kapasitas aliran air 18,113 L/s pada beban 9000 gram mendapatkan nilai daya tertinggi sebesar 5,912 Watt. Hal ini lantaran dengan diberikannya peningkatan kapasitas aliran, maka gaya dorong mampu memutar turbin meskipun beban juga meningkat, akan tetapi pada titik tertentu nilai daya yang dihasilkan terjadi penurunan karena bertambah besar beban yang diberikan maka perlunya gaya yang semakin besar agar turbin berputar.

▪ Pengaruh Variasi Panjang Ujung Sudu Terhadap Daya Turbin Pada Tiap Kapasitas



Gambar 5. Grafik Daya Turbin pada Kapasitas 9,572 L/s

Pada gambar 5 dapat dilihat grafik yang dihasilkan oleh turbin dengan variasi panjang ujung sudu 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm. Daya turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm meningkat sampai beban 2000 gram sebesar 0,591 Watt, kemudian terjadi penurunan daya sampai turbin tidak berputar pada beban 4500 gram. Daya turbin dengan panjang ujung sudu 15 mm meningkat sampai beban 2000 gram dengan sebesar 0,569 Watt, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 4000 gram. Daya turbin dengan panjang ujung sudu 20 mm meningkat sampai beban 2000 gram sebesar 0,558 Watt, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 4000 gram. Daya turbin dengan panjang ujung sudu 25 mm meningkat sampai beban 1500 gram sebesar 0,528 Watt, kemudian terjadi penurunan sampai turbin berhenti berputar pada beban 4000 gram.

Dari grafik tersebut bisa disimpulkan turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm pada kapasitas 9,572 L/s pada beban 2000 gram mempunyai nilai daya turbin tertinggi yaitu 0,591 Watt. Sedangkan pada turbin tanpa ujung memiliki daya turbin yang paling rendah dibandingkan panjang ujung sudu 10 mm dan turbin yang lainnya, daya turbin meningkat hingga beban 2000 gram sebesar 0,524 Watt, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 3000 gram.



Gambar 6. Grafik Daya Turbin pada Kapasitas 11,024 L/s

Pada gambar 6 bisa dilihat grafik yang didapatkan oleh turbin dengan variasi panjang ujung sudu 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm. Turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm meningkat sampai beban 4000 gram dan daya yang diperoleh 1,507 Watt, kemudian terjadi penurunan daya sampai turbin tidak berputar pada beban 7500 gram. Daya turbin dengan panjang ujung sudu 15 mm meningkat sampai beban 3500 gram sebesar 1,445 Watt, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 6500 gram. Daya turbin dengan panjang ujung sudu 20 mm meingkat sampai beban 2500 gram sebesar 1,384 Watt, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 6500 gram. Daya turbin dengan panjang ujung sudu 25 mm meningkat sampai beban 3000 gram sebesar 1,173 Watt, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 5500 gram.

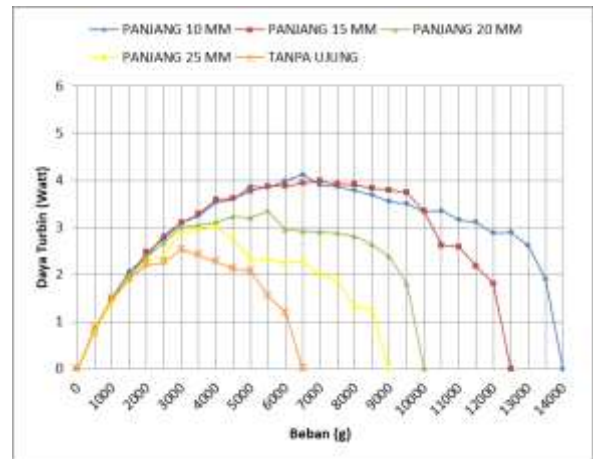
Dari grafik tersebut bisa disimpulkan jika turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm pada kapasitas 11,024 L/s pada beban 4000 gram mempunyai nilai daya turbin tertinggi yaitu 1,494 Watt. Sedangkan turbin tanpa ujung memiliki daya turbin yang paling rendah dibandingkan turbin dengan variasi panjang ujung sudu, daya turbin meningkat samapi beban 2500 gram sebesar 1,129 Watt, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 4500 gram.



Gambar 7. Grafik Daya Turbin pada Kapasitas 14,322 L/s

Pada gambar 7 dapat dilihat grafik yang dihasilkan oleh turbin dengan variasi panjang ujung sudu 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm. Daya turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm meningkat sampai beban 7000 gram sebesar 2,498 Watt, kemudian terjadi penurunan daya sampai turbin tidak berputar pada beban 10000 gram. Daya turbin dengan panjang ujung sudu 15 mm meningkat sampai beban 4000 gram sebesar 2,396 Watt, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 9000 gram. Daya turbin dengan panjang ujung sudu 20 mm meningkat sampai beban 4000 gram sebesar 2,393 Watt, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 9000 gram. Daya turbin dengan panjang ujung sudu 25 mm meningkat sampai beban 3000 gram sebesar 1,817 Watt, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 7000 gram.

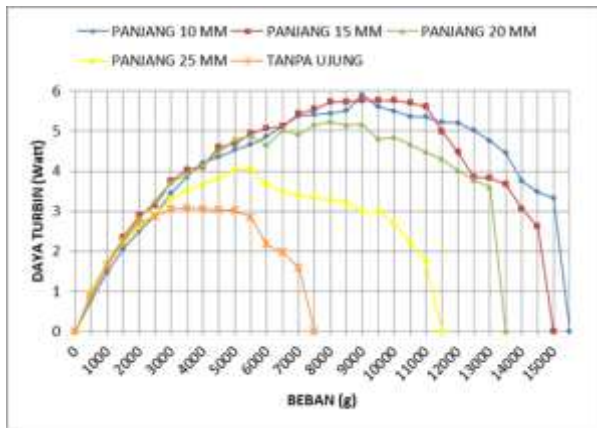
Dari grafik tersebut bisa disimpulkan jika turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm pada kapasitas 14,322 L/s pada beban 7000 gram mempunyai nilai daya turbin tertinggi yaitu 2,498 Watt. Dan panjang ujung sudu 15 mm, 20 mm, 25 mm memiliki daya yang lebih rendah dibandingkan dengan panjang ujung sudu 10 mm. Tetapi pada turbin tanpa ujung memiliki daya turbin terendah dibandingkan dengan daya turbin variasi panjang ujung lainnya, daya turbin mengalami kenaikan sampai pembebanan 2500 gram sebesar 1,512 Watt lalu menurun sampai turbin berhenti berputar hanya pada beban 5000 gram.



Gambar 8. Grafik Daya Turbin pada Kapasitas 16,152 L/s

Pada gambar 8 dapat dilihat grafik yang didapatkan oleh turbin dengan variasi panjang ujung sudu 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm. Daya turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm meningkat sampai beban 6500 gram sebesar 4,120 Watt, kemudian terjadi penurunan daya sampai turbin tidak berputar pada beban 14000 gram. Daya turbin dengan panjang ujung sudu 15 mm meningkat sampai beban 7000 gram sebesar 3,987 Watt, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 12500 gram. Daya turbin dengan panjang ujung sudu 20 mm meningkat sampai beban 5500 gram sebesar 3,347 Watt, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 10000 gram. Daya turbin dengan panjang ujung sudu 25 mm meningkat sampai beban 4000 gram sebesar 3,013 Watt, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 9000 gram.

Dari grafik tersebut bisa disimpulkan jika turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm pada kapasitas 16,152 L/s pada beban 6500 gram mempunyai nilai daya turbin tertinggi yaitu 4,120 Watt. Pada turbin tanpa ujung pada kapasitas ini juga memiliki nilai daya turbin terendah diantara turbin dengan variasi panjang ujung sudu lainnya, daya turbin meningkat pada pembebanan 3000 gram sebesar 2,530 Watt lalu menurun sampai turbin tidak berputar pada beban 6500 gram.



Gambar 9. Grafik Daya Turbin pada Kapasitas 18,113 L/s

Dapat dilihat pada gambar 9 grafik yang dihasilkan oleh turbin dengan variasi panjang ujung sudu 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm. Daya turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm meningkat sampai beban 9000 gram sebesar 5,912 Watt, kemudian terjadi penurunan daya sampai turbin tidak berputar pada beban 15500 gram. Daya turbin dengan panjang ujung sudu 15 mm meningkat sampai beban 9000 gram sebesar 5,763 Watt, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 15000 gram. Daya turbin dengan panjang ujung sudu 20 mm meningkat sampai beban 8000 gram sebesar 5,238 Watt, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 13500 gram. Daya turbin dengan panjang ujung sudu 25 mm meningkat sampai beban 5500 gram sebesar 4,061 Watt, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 11500 gram.

Dari grafik bisa disimpulkan jika turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm pada kapasitas 18,113 L/s pada beban 9000 gram mempunyai nilai daya turbin tertinggi yaitu 5,912 Watt. Dan pada turbin tanpa ujung memiliki daya turbin terendah dibandingkan turbin dengan variasi panjang lainnya, daya turbin meningkat hingga pembebanan 3500 gram sebesar 3,075 Watt, kemudian terjadi penurunan daya hingga turbin berhenti berputar pada beban 7500.

Berdasarkan gambar 5 sampai 9 bahwa dengan memvariasikan panjang ujung sudu berpenampang L pada turbin reaksi *crossflow* poros horizontal mempunyai ciri-ciri yang berbeda. Pada gambar (5) dengan diberikannya kapasitas aliran sebesar 9,572 L/s variasi panjang ujung sudu tidak memperoleh nilai daya yang begitu besar tetapi daya yang didapatkan setiap variasi bertambah. Hal ini dikarenakan di kapasitas ini turbin tidak sampai terendam dan area luas penampang aliran tidak seluruhnya terkena luasan

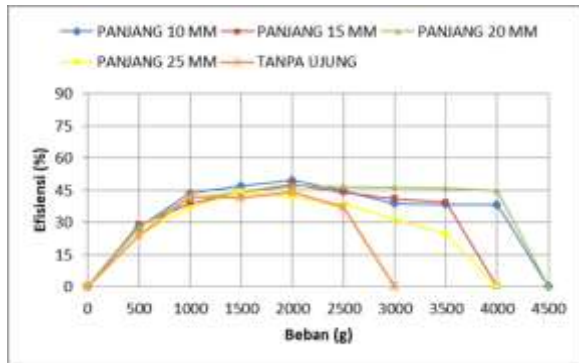
sudu turbin, maka gaya dorong pada aliran tidak sanggup menekan turbin supaya berputar dan mendapatkan daya yang tinggi. Dengan mengatur katup *bypass* kapasitas aliran dapat meningkat seperti gambar (6) jika daya turbin yang diperoleh pada kapasitas 11,024 L/s mengalami kenaikan dibandingkan kapasitas aliran sebelumnya, pemberian variasi pada panjang ujung sudu juga dapat meningkatkan nilai daya yang didapatkan turbin. Bertambahnya daya yang didapatkan turbin terus terjadi seperti gambar (7) pada kapasitas 14,322 L/s dengan kapasitas yang bertambah menyebabkan kecepatan aliran kian bertambah tinggi maka gaya dorong aliran air meningkat bahkan beban yang diberikan mencapai 10000 gram. Pada gambar (8) dengan kapasitas 16,152 L/s turbin terus menghasilkan daya yang cukup tinggi dibandingkan kapasitas sebelumnya, pada panjang ujung sudu 10 mm putaran turbin mampu sampai pada pembebanan 14000 hingga turbin berhenti. Daya turbin terus mengalami kenaikan pada gambar (9) pada kapasitas 18,113 L/s menyebabkan gaya dorong semakin tinggi sehingga mampu memutar turbin lebih optimal. Variasi yang diberikan pada panjang ujung sudu juga membuat nilai daya turbin meningkat pesat, bahkan beban mencapai turbin berhenti mencapai 15500 gram.

Dari analisa diatas maka bisa disimpulkan jika variasi panjang ujung sudu 10 mm pada turbin berpenampang L aliran *crossflow* memiliki daya yang tertinggi. Dilanjutkan dengan variasi panjang ujung sudu 15 mm kemudian variasi panjang ujung sudu 20 mm, dan terendah dihasilkan oleh variasi panjang ujung sudu 25 mm. Dan pada turbin tanpa ujung memiliki nilai daya turbin dibawah panjang ujung sudu 10 mm dimana dapat dikatakan bahwa turbin tanpa ujung merupakan turbin dengan daya turbin terendah diantara turbin dengan variasi panjang. Pada kapasitas 18,113 L/s panjang ujung sudu yang mampu mendapatkan daya tertinggi yaitu panjang ujung sudu 10 mm, seperti yang ditunjukkan gambar pada kapasitas ini mampu menggunakan aliran air dengan baik dan menghasilkan daya paling tinggi sebesar 5,912 Watt pada pembebanan 9000 gram, karena jarak antar ujung sudu yang lebar sehingga aliran air yang menerpa sudu bisa diubah secara baik dan memuat lebih banyak air maka dapat dimanfaatkan dengan optimal untuk memutar turbin yang mampu mendapatkan rpm dan torsi lebih tinggi dan mampu bertahan pada pembebanan tinggi, dan juga massa turbin yang lebih ringan dibandingkan turbin lainnya. Tetapi untuk variasi panjang ujung sudu 25 mm, turbin ini mempunyai nilai daya turbin lebih rendah jika dibandingkan menggunakan turbin bervariasi panjang



ujung sudu, karena turbin panjang ujung sudu 25 mm memiliki massa yang terberat dan jarak antar ujung sudu sangat berdekatan sehingga aliran air tidak bisa diterima sudu dengan optimal.

▪ **Pengaruh Variasi Panjang Ujung Sudu Terhadap Efisiensi Turbin Tiap Kapasitas**



Gambar 10. Grafik Efisiensi Turbin pada Kapasitas 9,572 L/s

Berdasarkan gambar 10 dapat dilihat jika efisiensi turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm meningkat sampai beban 2000 gram nilai efisiensi yang diperoleh 49,63 %, kemudian terjadi penurunan efisiensi sampai turbin tidak berputar beban 4500 gram. Efisiensi turbin dengan panjang ujung sudu 15 mm meningkat sampai beban 2000 gram nilai efisiensi yang diperoleh 47,79 %, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 4000 gram. Efisiensi turbin dengan panjang ujung sudu 20 mm meningkat sampai beban 2000 gram nilai efisiensi yang diperoleh 46,62 %, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 4500 gram. Efisiensi turbin dengan panjang ujung sudu 25 mm meningkat sampai beban 1500 gram nilai efisiensi yang diperoleh 44,38 %, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 4000 gram.

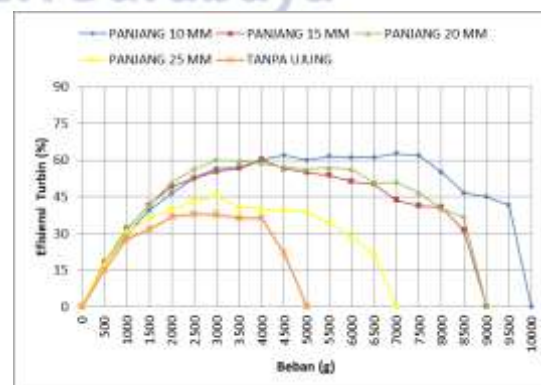
Dari grafik bisa disimpulkan jika turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm pada kapasitas 9,572 L/s pada beban 2000 gram mempunyai nilai efisiensi turbin tertinggi yaitu 49,63%. Turbin tanpa ujung memiliki nilai efisiensi terendah dibandingkan turbin lainnya, sebesar 44,05 % pada pembebanan 2000 gram. Nilai efisiensi sejajar dengan nilai daya yang didapatkan turbin, dikarenakan efisiensi diperoleh dengan cara  $P_t$  dibagi dengan  $P_a$  kemudian dikalikan 100 %.



Gambar 11. Grafik Efisiensi Turbin pada Kapasitas 11,024 L/s

Berdasarkan gambar 11 dapat dilihat jika efisiensi turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm meningkat sampai beban 4000 gram nilai efisiensi yang diperoleh 82,94 %, kemudian terjadi penurunan efisiensi sampai turbin tidak berputar pada beban 7500 gram. Efisiensi turbin dengan panjang ujung sudu 15 mm meningkat sampai beban 3500 gram nilai efisiensi yang diperoleh 79,52 %, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 6500 gram. Efisiensi turbin dengan panjang ujung sudu 20 mm meningkat sampai beban 2500 gram nilai efisiensi yang diperoleh 76,08 %, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 6500 gram. Efisiensi turbin dengan panjang ujung sudu 25 mm meningkat sampai beban 3000 gram nilai efisiensi yang diperoleh 64,46 %, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 5500 gram.

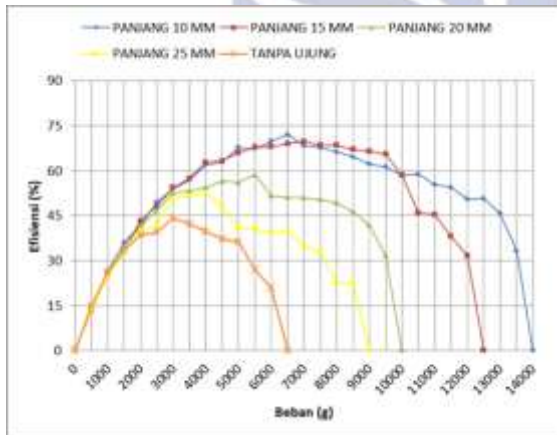
Dari grafik bisa disimpulkan jika turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm pada kapasitas 9,572 L/s pada beban 4000 gram mempunyai nilai efisiensi turbin tertinggi yaitu 82,94 %. Jika turbin dengan variasi panjang ujung sudu dibandingkan dengan turbin tanpa ujung, efisiensi terendah berada pada turbin tanpa ujung dengan perolehan efisiensi sebesar 62,03 % pada beban 2500 gram.



Gambar 12. Grafik Efisiensi Turbin pada Kapasitas 14,322 L/s

Berdasarkan gambar 12 dapat dilihat jika efisiensi turbin panjang ujung sudu 10 mm meningkat sampai beban 7000 gram nilai efisiensi yang diperoleh 62,69 %, kemudian terjadi penurunan efisiensi sampai turbin tidak berputar pada beban 10000 gram. Efisiensi turbin dengan panjang ujung sudu 15 mm meningkat sampai beban 4000 gram nilai efisiensi yang diperoleh 60,12 %, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 9000 gram. Efisiensi turbin dengan panjang ujung sudu 20 mm meningkat sampai beban 3000 gram nilai efisiensi yang diperoleh 60,07 %, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 9000 gram. Efisiensi turbin dengan panjang ujung sudu 25 mm meningkat sampai beban 3000 gram nilai efisiensi yang diperoleh 45,61 %, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 7000 gram.

Dari grafik bisa disimpulkan jika turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm pada kapasitas 14,332 L/s pada beban 7000 gram mempunyai nilai efisiensi turbin tertinggi sebesar 62,69 %. Turbin tanpa ujung memiliki nilai efisiensi terendah diantara turbin dengan variasi panjang ujung sudu sebesar 37,95 % pada beban 2500 gram.

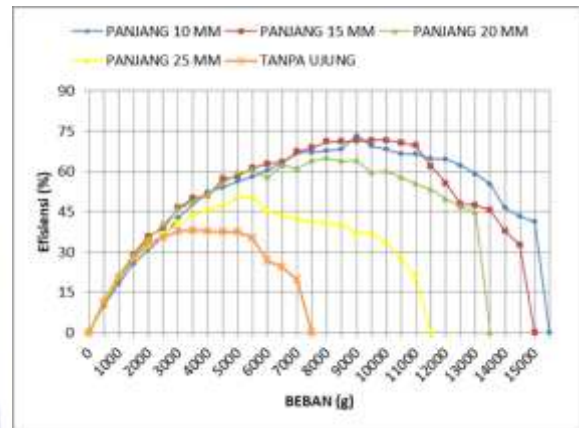


Gambar 13. Grafik Efisiensi Turbin pada Kapasitas 16,152 L/s

Berdasarkan gambar 13 dapat dilihat jika turbin panjang ujung sudu 10 mm efisiensi meningkat dari kapasitas sebelumnya hingga beban 6500 gram dengan efisiensi yang diperoleh sebesar 72,09 %, kemudian terjadi penurunan efisiensi sampai turbin tidak berputar pada beban 14000 gram. Efisiensi turbin dengan panjang ujung sudu 15 mm meningkat sampai beban 7000 gram nilai efisiensi yang diperoleh 69,75 %, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 12500 gram. Efisiensi turbin dengan panjang ujung sudu 20 mm meningkat sampai beban 5500 gram nilai efisiensi yang diperoleh 58,56

%, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 10000 gram. Efisiensi turbin dengan panjang ujung sudu 25 mm meningkat sampai beban 4000 gram nilai efisiensi yang diperoleh 52,71 %, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 9000 gram.

Dari grafik bisa disimpulkan jika turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm pada kapasitas 16,152 L/s pada beban 6500 gram mempunyai nilai efisiensi turbin tertinggi sebesar 72,09 %. Turbin tanpa ujung mempunyai nilai efisiensi terendah sebesar 44,27 % pada pembebanan 3000 gram.



Gambar 14. Grafik Efisiensi Turbin pada Kapasitas 18,113 L/s

Berdasarkan gambar 14 dapat dilihat jika turbin dengan variasi panjang ujung sudu 10 mm efisiensi meningkat sampai beban 9000 gram nilai efisiensi yang diperoleh sebesar 73,35 %, kemudian terjadi penurunan efisiensi sampai turbin tidak berputar pada beban 15000 gram. Efisiensi turbin dengan panjang ujung sudu 15 mm meningkat sampai beban 9000 gram nilai efisiensi yang diperoleh 71,49 %, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 13500 gram. Efisiensi turbin dengan panjang ujung sudu 20 mm meningkat sampai beban 8000 gram nilai efisiensi yang diperoleh 64,98 %, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 11500 gram. Efisiensi turbin dengan panjang ujung sudu 25 mm meningkat sampai beban 5500 gram nilai efisiensi yang diperoleh 50,39 %, kemudian terjadi penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 11500 gram.

Kesimpulan gambar diatas jika turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm pada kapasitas 18,113 L/s pada beban 9000 gram mempunyai nilai efisiensi turbin tertinggi sebesar 73,35 %. Jika dibandingkan dengan turbin tanpa ujung nilai efisiensi terendah terdapat pada

turbin tanpa ujung pada beban 3500 gram dengan efisiensi sebesar 38,15 %.

Berdasarkan gambar 10 hingga 14 bisa dilihat jika dengan memvariasikan panjang ujung sudu berpenampang L pada turbin reaksi crossflow poros horizontal mempunyai ciri yang berbeda. Pada gambar (10) dengan diberikannya kapasitas aliran sebesar 9,572 L/s variasi panjang ujung sudu tidak memperoleh nilai efisiensi yang cukup besar tetapi perolehan efisiensi setiap variasi mengalami kenaikan. Penyebabnya pada kapasitas ini turbin tidak sampai terendam dan luasan sudu turbin tidak seluruhnya terkena luasan penampang aliran, maka gaya dorong aliran tidak sanggup menekan turbin supaya berputar dan memperoleh daya yang tinggi. Dengan mengatur katup *bypass* untuk menambah kapasitas aliran seperti pada gambar (11) bahwa efisiensi yang diperoleh turbin pada kapasitas 11,024 L/s mengalami kenaikan dibandingkan kapasitas aliran sebelumnya, nilai daya yang dihasilkan turbin juga meningkat akibat variasi pada panjang ujung sudu. Tetapi pada kapasitas selanjutnya nilai efisiensi mengalami penurunan pada gambar (12) pada kapasitas 14,322 L/s hal ini dikarenakan luas penampang yang tetap maka daya air yang dihasilkan jauh lebih besar dari daya turbin yang didapatkan. Karena pada dasarnya efisiensi diperoleh dari perbandingan daya turbin dengan daya air, dan pada kapasitas ini perbandingan nilai daya turbin dengan daya air cukup besar sehingga efisiensi yang diperoleh mengalami penurunan dari kapasitas sebelumnya. Pada gambar (13) dengan kapasitas 16,152 L/s daya yang dihasilkan turbin mengalami peningkatan dari kapasitas sebelumnya, dikarenakan nilai daya turbin juga meningkat alhasil nilai efisiensi juga meningkat. Perolehan efisiensi turbin terus mengalami kenaikan pada gambar (14) pada kapasitas 18,113 L/s menyebabkan gaya dorong semakin tinggi sehingga mampu memutar turbin lebih optimal. Variasi yang dilakukan pada panjang ujung sudu juga terjadi peningkatan kapasitas yang pesat, bahkan beban mencapai turbin berhenti mencapai 15500 gram. Sehingga pada kapasitas ini nilai daya turbin tidak jauh rendah dibandingkan dengan daya air yang akan berpengaruh pada efisiensi.

Diatas telah diberikan analisis yang bisa disimpulkan jika variasi panjang ujung sudu 10 mm pada turbin berpenampang L aliran crossflow memiliki efisiensi yang paling tinggi. Setelahnya variasi panjang ujung sudu 15 mm kemudian variasi panjang ujung sudu 20 mm, dan terendah dihasilkan oleh variasi panjang ujung sudu 25 mm. Efisiensi tertinggi berada pada kapasitas 11,024 L/s dengan panjang ujung sudu 10 mm dengan nilai efisiensi 82,94 % pada beban 4000

gram, karena setiap kapasitas luas penampang aliran tetap sehingga pada kapasitas ini daya air yang dihasilkan tidak begitu besar dari nilai daya turbin yang didapatkan. Hal ini mempengaruhi nilai efisiensi karena efisiensi diperoleh dengan cara nilai daya turbin dibagi dengan daya air kemudian dikalikan 100 % Lalu nilai efisiensi selanjutnya sebesar 79,52 % dengan panjang ujung sudu 15 mm pada kapasitas yang sama. Tetapi untuk variasi panjang ujung sudu 25 mm, turbin ini memiliki efisiensi lebih rendah dari turbin lainnya, karena daya yang dihasilkan turbin ini juga memiliki nilai yang paling rendah, dan juga turbin ini memiliki massa yang paling berat dan jarak antar ujung sudu sangat berdekatan sehingga aliran air tidak bisa diterima sudu dengan optimal.

Pada penelitian ini daya dan efisiensi terbaik diperoleh pada turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm dengan daya sebesar 5,912 watt dan efisiensi 82,94 %. Hal tersebut dikarenakan pada turbin crossflow aliran air akan menerpa sudu turbin sebanyak dua kali. Aliran air akan menerpa sudu turbin pertama yang akan memberikan gaya dorong ke sudu untuk memutar turbin secara berlawanan arah jarum jam. Selanjutnya aliran air akan melewati diameter dalam dan menerpa sudu kedua, dimana aliran air tersebut juga memberikan gaya dorong tetapi lebih rendah dari gaya dorong yang pertama dengan arah yang sama. Pada turbin dengan panjang ujung sudu 10 mm mampu menampung air lebih banyak sehingga menghasilkan rpm yang tinggi, hal ini dikarenakan antar ujung sudu yang jauh dan massa turbin yang lebih ringan daripada turbin lainnya.

### Simpulan

Menurut hasil pengujian dan analisa yang sudah dilakukan mengenai pengaruh variasi panjang ujung sudu berpenampang L pada turbin crossflow poros horizontal terhadap kinerja yang didapatkan, maka diperoleh beberapa hasil kesimpulan yaitu :

- Daya turbin tertinggi dihasilkan pada turbin crossflow poros horizontal dengan panjang ujung sudu 10 mm pada kapasitas 18,114 L/s pada pembebanan 9000 gram sebesar 5,912 Watt. Daya optimum selanjutnya dihasilkan pada turbin dengan panjang 15 mm, 20 mm, dan 25 mm. Turbin tanpa ujung memperoleh nilai daya turbin dibawah panjang ujung sudu 10 mm, dapat dikatakan daya turbin yang dihasilkan turbin tanpa ujung paling rendah diantara turbin dengan variasi panjang ujung sudu.
- Efisiensi tertinggi juga dihasilkan dari turbin dengan panjang ujung 10 mm pada kapasitas 11,024 L/s pada pembebanan 4000 gram sebesar

82,94 %. Efisiensi optimum selanjutnya dihasilkan pada turbin dengan panjang 15 mm, 20 mm, dan 25 mm. Dan efisiensi turbin tanpa ujung yang diperoleh merupakan efisiensi terendah dibandingkan efisiensi turbin dengan variasi panjang ujung sudu.

#### Saran

Sesudah dilakukan penelitian, pengujian, pembahasan dan analisa mengenai pengaruh pertambahan panjang pada ujung sudu berpenampang L terhadap kinerja yang didapatkan, maka beberapa saran yang bisa diberikan yaitu :

- Diharapkan ada penelitian lebih lanjut yang membahas panjang ujung sudu dengan variasi di antara tanpa ujung hingga 10 mm.

#### DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik. (2016). *Proporsi Pasokan Energi Primer 2014-2016*. 6–7.

Badan Pusat Statistik. (2017). *Kapasitas Terpasang PLN menurut Jenis Pembangkit Listrik 1995-2014*. 6–7.

Fauzy, R. I., & Adiwibowo, P. H. (2020). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Diameter Luar Dan Dalam Sudu Plat Datar Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Crossflow Poros Horizontal. *Jurnal Teknik Mesin, Vol 08(02)*, 77–89.

Insanto, M. W., & Adiwibowo, P. H. (2020). Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Sudu Berpenampang Datar Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Reaksi Crossflow Poros Horizontal. *Jurnal Teknik Mesin, Vol 08(01)*, 93–102.

Kementerian ESDM RI. (2012). Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) Indonesia. *Kementerian ESDM RI*, 1–2.

Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H., & Huebsch, W. W. (2009). *Fundamentals of Fluid Mechanics* 6th edititon. In *United States of America*. John Wiley & Sons, Inc.

Prabowo, B. I., & Adiwibowo, P. H. (2018). Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang L Dengan Variasi Panjang Sisi Lurus Pada Ujung Sudu. *Jurnal Teknik Mesin, Vol 06(01)*, 115–123.

Pritchard, P. J., & Leylegian, J. C. (2011). *Introduction To Fluid Mechanics* Eighth Edition. In *United States of America*. John Wiley & Sons, Inc.

Sutrimo, D., & Adiwibowo, P. H. (2019). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu

Berpenampang L Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Crosflow Poros Horizontal. *Jurnal Teknik Mesin, Vol 07(01)*, 95–102.

Wibawanto, H. H., & Adiwibowo, P. H. (2018). Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang Lurus Dengan Variasi Lebar Sudu. *Jurnal Teknik Mesin, Vol 06(01)*, 153–161.

