

UJI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI SUDUT SEKAT PADA SUDU BERPENAMPANG SETENGAH LINGKARAN TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN REAKSI *CROSSFLOW* POROS HORIZONTAL

Fitri Fadila Rohmi

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email : fitri.17050754038@mhs.unesa.ac.id

Priyo Heru Adiwibowo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email : priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id

Abstrak

Salah satu sumber energi listrik berasal dari bahan bakar fosil, akan tetapi ketersediaan bahan bakar fosil semakin menipis setiap tahunnya. Hal tersebut tentunya berbanding terbalik dengan jumlah kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat. Turbin air merupakan salah satu alat yang dapat mengkonversi energi yang dimiliki air menjadi energi gerak yang akan membangkitkan listrik. Turbin *crossflow* merupakan salah satu contoh turbin air. Namun daya yang dihasilkan turbin *crossflow* cenderung rendah sehingga perlu adanya pengembangan pada turbin *crossflow*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sudut sudu turbin yang memiliki daya dan efisiensi paling optimal. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan memvariasikan besar sudut sekat pada sudu berpenampang setengah lingkaran pada turbin reaksi *crossflow* poros horizontal. Besar sudut sekat turbin yang digunakan yaitu 60°, 75°, dan 90° yang 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. Sedangkan variasi pembebanan sebesar 500 gram, 1000 gram, 1500 gram, dan seterusnya sampai turbin berhenti berputar. Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data didapatkan bahwa turbin dengan sudut sekat 75° memiliki daya tertinggi dibandingkan sudut sekat 60° dan sudut sekat 90°. Daya tertinggi dihasilkan pada kapasitas 18,113 L/s, dengan daya turbin sebesar 4,194 Watt pada pembebanan 12000 gram. Efisiensi tertinggi juga dihasilkan pada sudut sekat 75° pada kapasitas 11,024 L/s, dengan nilai efisiensi sebesar 88,29% pada pembebanan 4500 gram. Hal ini dikarenakan pada sudut sekat 75° mampu memanfaatkan aliran air dengan baik pada bagian dalam sudut sudu turbin sehingga menghasilkan gaya dorong yang besar dan mampu memutar turbin dengan rpm tinggi serta torsi yang besar.

Kata kunci : Turbin *Crossflow*, Daya, Efisiensi, Sudut Sekat.

Abstract

One source of electrical energy comes from fossil fuels, but the availability of fossil fuels is dwindling every year. This is of course inversely proportional to the increasing number of community needs. A water turbine is a device that can convert the energy of water into motion energy which will generate electricity. The crossflow turbine is an example of a water turbine. However, the power produced by the crossflow turbine tends to be low, so it is necessary to develop a crossflow turbine. The purpose of this study was to determine the turbine blade angle which has the most optimal power and efficiency. This research uses an experimental method by varying the bulkhead angle on the semicircular cross-sectional blade on the horizontal axis crossflow reaction turbine. The turbine bulkhead angles used are 60°, 75°, and 90° which were 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. While the variation of loading is 500 grams, 1000 grams, 1500 grams, and so on until the turbine stops rotating. The results of this study found that the turbine with a bulkhead angle of 75° has the highest power compared to a bulkhead angle of 60° and a bulkhead angle of 90°. The highest power is produced at a capacity of 18,113 L/s, with a turbine power of 4.194 Watts at a loading of 12000 grams. The highest efficiency is also produced at a bulkhead angle of 75° at a capacity of 11.024 L/s, with an efficiency value of 88.29% at a loading of 4500 grams. This is because the 75° bulkhead angle is able to utilize the water flow well on the inside of the turbine blade angle so that it produces a large thrust and is able to rotate the turbine with high rpm and large torque.

Keywords : *Crossflow Turbine, Power, Efficiency, Bulkhead Angle.*

PENDAHULUAN

Salah satu sumber energi listrik berasal dari bahan bakar fosil, akan tetapi jumlah bahan bakar fosil semakin berkurang setiap tahunnya. Hal tersebut tentunya berbanding terbalik dengan jumlah kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat. Konsumsi energi listrik per kapita nasional pada tahun 2018 sebesar 1,06 GWh per kapita. Tercatat jumlah penduduk Indonesia mencapai 265.015.300 jiwa pada tahun 2018 dan konsumsi tenaga listrik sebesar 281.976,21 GWh. Konsumsi listrik per kapita tahun 2018 mengalami kenaikan sebesar 4,31% dari tahun 2017 (Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2019).

Menurut BPPT (2019) pada tahun 2018 Indonesia memiliki cadangan minyak bumi sebesar 7,51 miliar barel atau berkurang sebesar 0,27% dari tahun 2017. Sama halnya dengan cadangan minyak bumi, cadangan gas bumi juga berkurang sebanyak 5,02% dari tahun 2017. Sementara itu pada tahun 2018, Indonesia memiliki sekitar 39,89 miliar ton batubara dan potensi sebesar 151,40 miliar ton. Cadangan batubara tersebut diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 71 tahun.

Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut diperlukan sumber energi renewable yang dapat menggantikan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui. Seperti yang kita ketahui, Indonesia memiliki potensi untuk mengembangkan energi baru dan terbarukan (EBT). Potensi yang dimiliki Indonesia untuk energi baru dan terbarukan tenaga air sebesar 94,3 GW, panas bumi sebesar 28,5 GW, surya sebesar 207,8 GWp, angin sebesar 60,6 GW, energi laut sebesar 17,9 GW (Dewan Energi Nasional, 2019).

Indonesia merupakan salah satu tempat yang sangat mudah sekali untuk kita temui anak sungai, parit, dan juga saluran irigasi yang memiliki potensi untuk bisa dijadikan sumber energi listrik berskala kecil. Teknologi pembangkit listrik tersebut disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Menurut Dwiyanto, dkk. (2016) penelitiannya yang berjudul "Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)". mengungkapkan bahwa PLTMH merupakan pembangkit listrik dengan skala mikro yang menggunakan tenaga air dari saluran irigasi, sungai, atau air terjun sebagai tenaga penggerak dengan memanfaatkan tinggi terjunan dan jumlah debit air.

Penelitian yang dilakukan oleh Prasetyo & Adiwibowo (2016) yang berjudul "Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Banyak Sekat Pada Sudu Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Reaksi *Crossflow* Poros Vertikal Dengan Sudu Setengah Silinder". Eksperimen ini dilakukan dengan menguji variabel pengaruh banyaknya sekat pada turbin reaksi *crossflow* dengan

variasi dua sekat, satu sekat, dan tanpa sekat dalam keadaan pembebanan 0,5 Kg dan bertambah 0,5 Kg hingga turbin berhenti berputar dengan kapasitas 5,812 L/s, 6,202 L/s, 7,048 L/s dan 7,492 L/s yang diterapkan kesetiap variasi turbin sampai mendapatkan daya dan efisiensi yang paling optimum. Dengan memberikan jumlah sekat yang berbeda dibagian sudu turbin mempengaruhi daya serta efisiensi yang dihasilkan turbin. Variasi turbin dengan jumlah sekat satu menghasilkan daya serta efisiensi turbin menjadi lebih besar daripada turbin yang tidak memiliki sekat maupun dua sekat.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Daeroni & Adiwibowo (2018) dengan judul "Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang Setengah Silinder Dengan Variasi Sudut Sekat" Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen yaitu dengan memvariasikan besar sudut sekat pada sudu turbin vortex dengan penampang setengah silinder. Besar variasi sudut yang digunakan yaitu 90°, 75°, 60° dan 45°. Dari penelitian tersebut diperoleh dengan memvariasikan besar sudut sekat mempengaruhi daya maupun efisiensi turbin. Daya maksimum turbin yaitu pada sudut sekat 75° menghasilkan daya 43,2171 watt. Sedangkan efisiensi tertinggi sebesar 49,0706% dihasilkan turbin sudut sekat 60°.

Penelitian yang dilakukan oleh Anam & Adiwibowo (2020) dengan judul "Experimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Setengah Lingkaran Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin *Crossflow* Poros Horizontal". Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen yaitu dengan memvariasikan jumlah sudu turbin sebanyak 8, 6, dan 4. Dari penelitian ini diperoleh hasil turbin dengan sudu berjumlah 6 menghasilkan daya serta efisiensi yang paling besar. Daya tertinggi didapat pada kapasitas 11,010 L/s pada beban 6500 gram yaitu 2,650 watt. Efisiensi optimum terjadi dikapasitas 11,010 L/s dengan beban yang dikenakan sebesar 6500 gram dengan nilai efisiensi sebesar 48,14%.

METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Pada eksperimen ini peneliti memvariasikan sudut sekat sudu pada turbin berpenampang setengah lingkaran untuk memperoleh daya dan efisiensi terbaik. Penelitian ini dilaksanakan pada kondisi peralatan yang telah disesuaikan.

Tempat dan Waktu Penelitian

➤ Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Lab. Mekanika Fluida gedung A8.02.09 Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.

➤ Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan sesudah proposal skripsi disidangkan dan disetujui sampai segala data dan analisa yang diperlukan telah terpenuhi.

Variabel Penelitian

➤ Variabel Bebas (*Independent*)

Dalam penelitian ini variabel *independent* yang digunakan yaitu besar sudut sekat pada sudu berpenmpang setengah lingkaran yaitu 60° , 75° , dan 90° .



Gambar 1. Turbin *Crossflow* dengan sudut sekat pada sudu berpenampang setengah lingkaran

➤ Variabel Terikat (*dependent*)

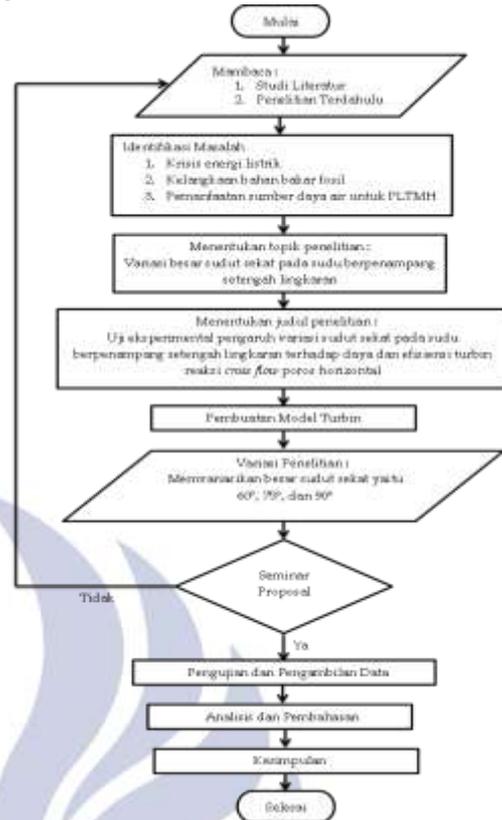
Pada penelitian ini variabel *dependent* yaitu daya serta efisiensi yang dihasilkan oleh turbin *crossflow* poros horizontal.

➤ Variabel Kontrol

Dalam penelitian ini variabel kontrol yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Fluida kerja yang digunakan adalah air.
- Kapasitas aliran air selama pengujian yaitu 9,572 L/s, 11,024 L/s, 14,322 L/s, 16,152 L/s, dan 18,113 L/s.
- Turbin yang digunakan adalah turbin *crossflow* dengan sudu berjumlah 6 dan diameter 16 cm serta tinggi 15 cm dengan poros horizontal.
- Bukaan katup diatur pada 130° , 140° , 150° , 160° , dan 170° .
- Pembebanan sebesar 500 g, 1000 g, 1500 g, dan seterusnya hingga turbin berhenti berputar.

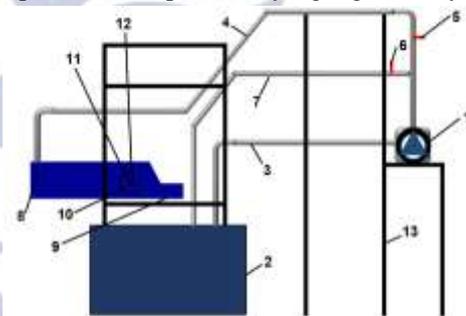
Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Flowchart Penelitian

Peralatan dan Instrumen Penelitian

Dalam penelitian ini peralatan yang digunakan yaitu :



Gambar 3. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Keterangan :

- Pompa
- Bak Penampung Air
- Pipa Penyalur *Saction*
- Saluran *Discharge*
- Katup Utama
- Katup *Bypass*
- Saluran *Bypass*
- Saluran *Inlet*
- Area *Outlet*
- Penempatan Turbin
- Posisi Rangka Poros

- 12. Posisi *Prony Brake*
- 13. Rangka Utama

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengukuran dan pengujian objek yang diteliti kemudian mencatat hasilnya.

Teknik Analisa Data

Dalam penelitian ini proses pengambilan data menggunakan alat ukur, kemudian data dari hasil pengukuran tersebut dihitung secara teoritis dan disajikan dalam bentuk gambar grafik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pada saat melakukan analisis, data yang digunakan merupakan rata-rata dari tiga kali pengambilan data, agar data yang didapat valid. Data hasil pengukuran tersebut kemudian dihitung untuk mendapatkan nilai kapasitas aliran air, daya air yang mengalir, gaya, torsi, kecepatan anguler, daya turbin, dan efisiensi turbin. Untuk mendapatkan data tersebut perhitungan yang digunakan yaitu :

➤ Kapasitas Aliran Air (Q)

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

Keterangan :

- Q = Debit aliran (m³/s)
- Cd = *Coefficient of Discharge*
- g = Gravitasi (9,81 m/s²)
- θ = Sudut pada *V-Notch Weir* (60°)
- H = Tinggi ambang air (m)

➤ Luas Penampang Aliran (A)

$$A = t \cdot l$$

Keterangan :

- A = Luas penampang saluran (m²)
- t = Tinggi ambang air pada ujung keluaran pengarah (m)
- l = Lebar keluaran pengarah (m)

➤ Kecepatan Aliran (V)

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

Keterangan :

- V = Kecepatan aliran pada saluran pengarah (m/s)
- Q = Kapasitas aliran (m³/s)
- A = luas penampang aliran (m²)

➤ Daya air (Pa)

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

Keterangan :

- Pa = Daya air (watt)
- ρ = Massa jenis (kg/m³)

A = Luas penampang aliran (m²)
 V = Kecepatan air yang mengalir (m/s)
 ➤ Gaya (F)

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

Keterangan :

- F = Gaya (N)
- m = Beban (Kg)
- g = Gravitasi (9,81 m/s²)

➤ Torsi (T)

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

Keterangan :

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

➤ Kecepatan Anguler (ω)

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

Keterangan :

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

➤ Daya Turbin (Pt)

$$Pt = T \cdot \omega \dots$$
 (Pritchard, 2011:504)

Keterangan :

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

➤ Efisiensi Turbin (η)

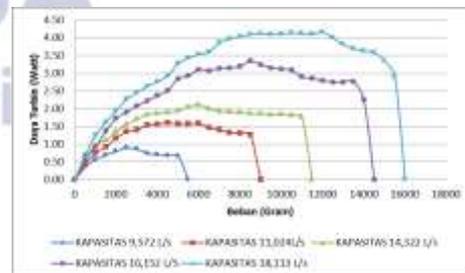
$$\eta = \frac{Pt}{Pa} \cdot 100\% \dots$$
 (Pritchard, 2011:505)

Keterangan :

- η = Efisiensi Turbin
- Pt = Daya Turbin (Watt)
- Pa = Daya air (Watt)

Pembahasan

➤ Pengaruh Variasi Kapasitas Terhadap Daya Turbin Pada Variasi Sudut Sekat 75°.



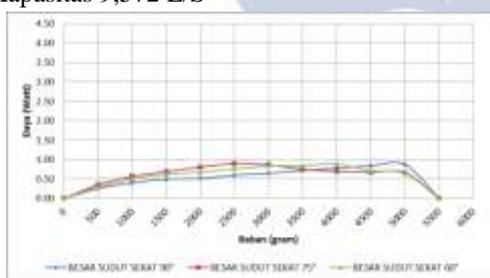
Gambar 4. Grafik Pengaruh Variasi Terhadap Daya Turbin Pada Sudut Sekat 75°

Berdasarkan gambar grafik 4 turbin dengan variasi sudut sekat 75° daya yang dihasilkan meningkat sebanding dengan bertambah besarnya kapasitas. Seperti pada gambar grafik 3 dapat dilihat bahwa

kapasitas 9,572 L/s meningkat pada beban 2500 gram dengan daya turbin 0,896 Watt, kemudian daya menurun sampai turbin tidak berputar pada beban 5500 gram. Pada kapasitas 11,024 L/s daya meningkat pada beban 4500 gram dengan daya mencapai 1,604 Watt. Kemudian daya menurun hingga turbin tidak berputar pada beban 9000 gram. Daya turbin pada kapasitas 14,322 L/s meningkat hingga beban 6000 gram dengan daya mencapai 2,116 Watt. Kemudian daya yang dihasilkan perlahan menurun hingga turbin berhenti berputar pada beban 11500 gram. Daya turbin dengan kapasitas 16,152 L/s meningkat hingga beban 8500 gram dengan menghasilkan daya 3,351 Watt. Kemudian daya menurun dan turbin tidak berputar pada pemberian beban 14500 gram. Pada kapasitas 18,113 L/s daya turbin meningkat pada pemberian beban 12000 gram dengan menghasilkan daya sebesar 4,194 Watt. Kemudian daya menurun dan turbin berhenti berputar pada pemberian beban 16000 gram.

Dari grafik 3 bisa diambil kesimpulan jika kapasitas 18,113 L/s pada pemberian beban 12000 gram memiliki daya maksimum yaitu 4,194 Watt. Hal tersebut dikarenakan meningkatnya kapasitas membuat gaya tekan yang diberikan pada turbin juga besar. Hal tersebut membuat turbin tetap berputar walaupun pemberian beban terus meningkat. Akan tetapi pada titik tertentu daya menurun dikarenakan semakin besarnya pembebanan yang diberikan.

➤ Pengaruh Variasi Sudut Sekat Pada Daya Turbin Kapasitas 9,572 L/S



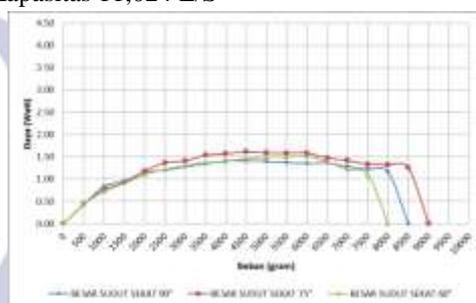
Gambar 5. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 9,572 L/s

Pada gambar 5 dapat diketahui grafik yang dihasilkan turbin dengan variasi sudut sekat. Daya turbin pada sudut sekat 60° meningkat sampai pemberian beban 4000 gram dengan daya mencapai 0,887 Watt. Kemudian daya menurun hingga turbin tidak berputar pada pemberian beban 5500 gram. Daya turbin pada sudut sekat 75° mengalami peningkatan pada pemberian beban 2500 gram dengan menghasilkan daya sebesar 0,896 Watt. Kemudian daya secara perlahan menurun sampai turbin tidak berputar pada pemberian beban 5500 gram. Pada

sudut sekat 90° daya meningkat sampai pemberian beban 5000 gram dengan menghasilkan daya sebesar 0,872 Watt. Selanjutnya daya mengalami penurunan lalu tidak berputar pada beban 5500 gram.

Dapat diambil kesimpulan jika turbin dengan sudut sekat 75° dan kapasitas 9,572 L/s pada pemberian beban 2500 gram mempunyai nilai daya maksimum yaitu 0,896 Watt. Hal tersebut terjadi lantaran pada kapasitas 9,572 L/s air mampu menekan turbin untuk berputar. Akan tetapi dengan penambahan beban yang semakin besar membuat daya menurun pada titik tertentu.

➤ Pengaruh Variasi Sudut Sekat Pada Daya Turbin Kapasitas 11,024 L/S

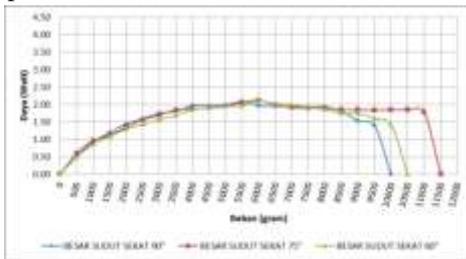


Gambar 6. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 11,024 L/s

Dari gambar grafik 6 tersebut dapat diketahui, daya turbin pada sudut sekat 60° meningkat sampai pemberian beban 6000 gram dengan daya mencapai 1,513 Watt. Kemudian daya menurun dan turbin tidak berputar pada pemberian beban 8000 gram. Pada sudut sekat 75° daya turbin meningkat sampai pemberian beban 4500 gram dengan daya mencapai 1,604 Watt. Kemudian daya menurun dan turbin tidak berputar pada beban 9000 gram. Sudut sekat 90° daya turbin mengalami peningkatan sampai beban 4500 gram dengan menghasilkan daya sebesar 1,405 Watt. Kemudian daya secara perlahan menurun dan turbin tidak berputar pada beban 8500 gram.

Maka, dapat diambil kesimpulan jika variasi sudut sekat 75° pada kapasitas 11,024 L/s pada pemberian beban 4500 gram memiliki daya maksimum sebesar 1,604 Watt. Hal tersebut terjadi lantaran kapasitas yang meningkat sehingga gaya tekan air mampu memutar turbin walau beban semakin besar. Namun, pada titik tertentu daya menurun lantaran pemberian beban yang semakin besar.

➤ Pengaruh Variasi Sudut Sekat Pada Turbin Kapasitas 14,322 L/S

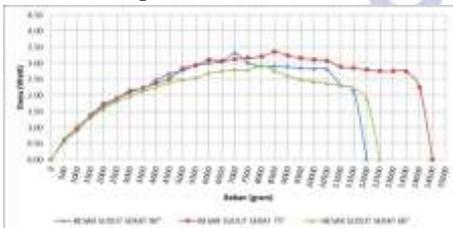


Gambar 7. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 14,322 L/s

Pada gambar grafik 7 bisa dilihat daya yang dihasilkan setiap sudut sekat sudu turbin, turbin dengan sudut sekat 60° daya meningkat sampai pemberian beban 6000 gram dengan daya mencapai 2,095 Watt. Kemudian daya turbin menurun dan turbin tidak berputar pada pemberian beban 10500 gram. Pada turbin sudut sekat 75° daya meningkat pada beban 6000 gram dengan hasil daya sebesar 2,116 Watt. Kemudian turbin secara perlahan mengalami penurunan sampai tidak berputar pada pemberian beban 11500 gram. Turbin dengan variasi sudut sekat 90°, daya mengalami peningkatan sampai beban 5500 gram dan menghasilkan daya sebesar 2,076 Watt. Kemudian daya terus menurun secara bertahap dan berhenti pada beban 10000 gram.

Dari gambar grafik 7 dapat diambil kesimpulan jika variasi turbin 75° pada kapasitas 14,322 L/s dengan pemberian beban 6000 gram mempunyai daya yang maksimum, yaitu 2,116 Watt. Hal tersebut dikarenakan kapasitas yang meningkat sehingga gaya tekan air mampu memutar turbin walau beban semakin besar. Namun, pada titik tertentu daya menurun karena semakin besarnya beban yang diberikan.

➤ Pengaruh Variasi Sudut Sekat Terhadap Daya Turbin Pada Kapasitas 16,152 L/S



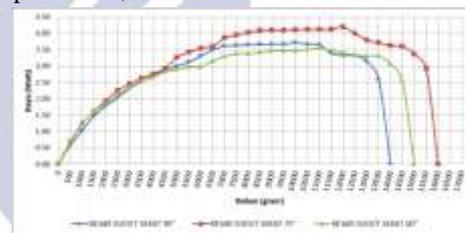
Gambar 8. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 16,152 L/s

Dari gambar grafik 8 dapat dibandingkan daya turbin yang diperoleh setiap sekat sudu turbin, turbin dengan sudut sekat 60°, daya meningkat sampai beban 8000 gram dengan menghasilkan daya 2,912 Watt. Kemudian daya turbin menurun sampai turbin tidak

berputar pada pemberian beban 12500 gram. Pada variasi sudut sekat 75° daya menurun pada beban 8500 gram dengan daya yang dihasilkan bernilai 3,351 Watt. Kemudian turbin secara perlahan putaran turbin semakin pelan sampai tidak berputar pada beban 14500 gram. Sedangkan pada variasi sudut sekat 90°, daya yang dihasilkan turbin meningkat sampai 3,306 Watt pada pemberian beban 7000. Kemudian secara bertahap menurun lalu tidak berputar pada beban 12000 gram.

Maka, dari gambar grafik 8 tersebut bisa diambil kesimpulan jika variasi sudut sekat 75° dikapasitas 16,152 L/s dan pada pemberian beban 8500 gram mempunyai besar daya yang maksimal yaitu 3,351 Watt. Hal tersebut dikarenakan kapasitas pada yang diberikan membuat air mampu menekan turbin berputar walaupun pemberian beban terus meningkat. Akan tetapi, pada titik tertentu terjadi penurunan dikarenakan beban yang bertambah besar, maka gaya tekan yang dibutuhkan juga semakin besar.

➤ Pengaruh Variasi Sudut Sekat Pada Daya Turbin Kapasitas 18,113 L/S



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

Pada gambar grafik 9 bisa dibandingkan daya yang dihasilkan setiap sudut sekat sudu turbin. Pada variasi sudut sekat 60°, daya meningkat sampai pemberian beban 11000 gram dengan menghasilkan daya 3,554 Watt. Kemudian daya turbin terus menerus menurun dan turbin tidak berputar pada beban 15000 gram. Sedangkan variasi sudut sekat 75°, daya meningkat pada beban 12000 gram dengan menghasilkan daya sebesar 4,194 Watt. Kemudian secara perlahan daya turbin menurun sampai turbin tidak berputar pada beban 16000 gram. Pada variasi sudut sekat 90°, daya turbin meningkat pada pemberian beban 1000 gram dan menghasilkan daya mencapai 3,712 Watt. Kemudian secara bertahap daya menurun sampai turbin berhenti berputar pada beban 14000 gram.

Maka, dari gambar grafik 9 tersebut bisa diambil kesimpulan jika variasi sudut sekat 75° pada kapasitas 18,113 L/s dan pemberian beban 12000 gram mempunyai daya paling maksimum yaitu 4,194 Watt. Hal tersebut dikarenakan semakin besar kapasitas yang

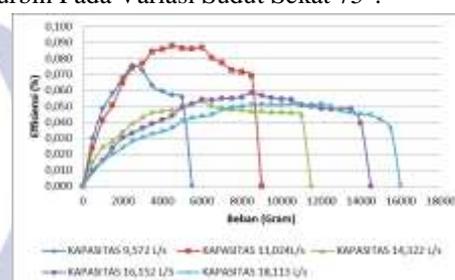
diberikan membuat gaya tekan semakin besar sehingga mampu membuat turbin berputar walau pemberian beban bertambah besar. Akan tetapi, pada titik tertentu daya menurun dikarenakan semakin besarnya beban yang diberikan.

Berdasarkan gambar 5, 6, 7, 8, dan 9 bisa diketahui jika dengan memvariasikan sudut sekat pada turbin menghasilkan karakteristik yang tidak sama. Pada gambar (5) kapasitas 9,572 L/s, variasi sudut sekat sudu menghasilkan daya yang tidak terlalu tinggi. Hal itu lantaran pada kapasitas tersebut daya air yang dihasilkan kecil, sehingga gaya tekan air tidak bisa menekan turbin secara keseluruhan untuk membuat turbin bisa berputar dengan kencang. Dengan memperbesar kapasitas air dengan membuka katup *bypass* pada kerangka peralatan pengujian terlihat pada gambar (6) kapasitas 11,024 L/s, turbin menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan kapasitas sebelumnya. Pemberian variasi yang berbeda pada sudut sekat sudu juga cenderung meningkat terhadap besarnya daya yang dihasilkan. Daya semakin meningkat pada penambahan kapasitas, hal itu terlihat pada gambar (7) kapasitas 14,322 L/s. Penambahan kapasitas menyebabkan kecepatan air semakin besar dan daya turbin semakin besar sehingga gaya tekan yang dihasilkan untuk menekan turbin semakin kuat. Daya yang dihasilkan turbin semakin meningkat pada gambar (8) kapasitas 16,152 L/s, penambahan kapasitas menyebabkan daya air semakin besar sehingga gaya tekan yang dihasilkan untuk menekan turbin semakin kuat. Dengan adanya penambahan kapasitas yang diatur pada katup saluran *bypass* pada skema peralatan yang terlihat pada gambar grafik (9) pada kapasitas 18,113 L/s turbin menghasilkan daya yang lebih tinggi daripada kapasitas sebelumnya. Hal itu karena daya air juga semakin meningkat sehingga membuat daya turbin meningkat. Pemberian variasi pada sudut sekat sudu juga membuat daya turbin meningkat, bahkan beban yang diberikan supaya turbin tidak berputar mencapai 16000 gram. Hal tersebut karena pada kapasitas 18,113 L/s kecepatan aliran air yang besar dan daya air yang besar sehingga gaya tekan yang dimiliki aliran bisa diubah secara optimal menjadi daya turbin.

Berdasarkan analisis diatas dapat diambil kesimpulan bahwa variasi sudut sekat 75° pada turbin reaksi *crossflow* mempunyai daya yang paling optimum, dilanjutkan dengan variasi sudut sekat 90°, dan daya yang paling rendah dimiliki oleh variasi sudut sekat 60°. Pada kapasitas 18,113 L/s turbin mampu menghasilkan daya maksimum adalah turbin dengan sudut sekat 75°, terbukti seperti yang dapat dilihat pada grafik jika pada kapasitas 18,113 L/s turbin dapat

menggunakan aliran air dengan baik sehingga menghasilkan daya yang paling besar, yaitu 4,194 Watt pada pemberian beban 12000 gram, lantaran aliran air yang menabrak sudu mampu diubah dengan baik dan gaya tekan penghambat turbin yang dihasilkan lebih kecil dikarenakan sudut sekat yang semakin besar membuat air berpusat di dalam sudut lebih banyak dan membuat gaya tekan air bertambah besar. Turbin dengan sudut sekat 60° dan 90° memiliki daya turbin yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan variasi sudut sekat 75°, karena air berpusat pada sudu sehingga gaya tekan airpun tidak optimal.

➤ Pengaruh Variasi Kapasitas Terhadap Efisiensi Turbin Pada Variasi Sudut Sekat 75°.



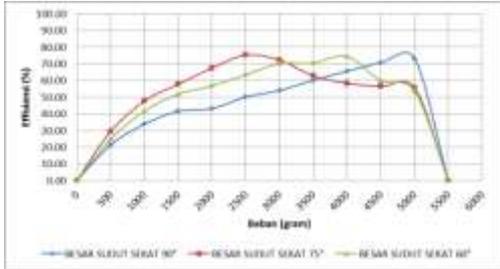
Gambar 10. Gambar Pengaruh Variasi Kapasitas Terhadap Efisiensi Turbin Pada Sudut Sekat 75°

Berdasarkan gambar grafik 10 dapat dilihat kapasitas 9,572 L/s daya meningkat pada beban 2500 gram dan efisiensi yang dihasilkan turbin mencapai 75,26%. Kemudian efisiensi menurun sampai turbin tidak berputar pada beban 5500 gram. Efisiensi pada kapasitas 11,024 L/s meningkat pada pemberian beban 4500 gram dengan menghasilkan efisiensi sebesar 88,29%. Kemudian efisiensi yang dihasilkan secara perlahan menurun sampai turbin tidak berputar pada beban 9000 gram. Pada kapasitas 14,322 L/s efisiensi turbin meningkat pada beban 6000 gram dengan efisiensi 53,10%. Kemudian efisiensi menurun dan turbin tidak berputar pada beban 11500 gram. Efisiensi turbin pada kapasitas 16,152 L/s meningkat sampai beban 8500 gram dan menghasilkan efisiensi sebesar 58,64%. Kemudian efisiensi menurun secara perlahan sampai turbin tidak berputar pada beban 14500 gram. Pada kapasitas 18,113 L/s efisiensi turbin meningkat pada beban 12000 gram dengan menghasilkan efisiensi mencapai 52,04%. Kemudian efisiensi menurun dan turbin tidak berputar pada beban 16000 gram.

Maka dapat diambil kesimpulan jika kapasitas 11,024 L/s pada pemberian beban 4500 gram mempunyai efisiensi yang paling optimum yaitu 88,29%. Hal tersebut dikarenakan kecepatan air yang besar, sehingga gaya tekan yang diberikan mampu memutar turbin meski beban yang diberikan semakin

besar. Akan tetapi lantaran semakin besar beban yang diberikan membuat efisiensi menurun pada titik tertentu.

➤ Pengaruh Variasi Sudut Sekat Terhadap Efisiensi Turbin Kapasitas 9,572 L/s

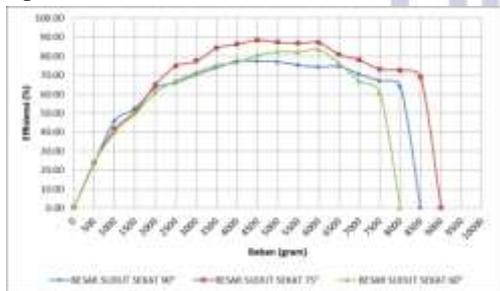


Gambar 11. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 9,572 L/s

Pada gambar grafik 11 bisa dilihat efisiensi yang dihasilkan oleh turbin dengan sudut sekat 60°, 75°, dan 90°. Efisiensi turbin dengan sudut sekat 60° meningkat sampai beban 4000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan mencapai 74,51%. Kemudian efisiensi menurun sampai turbin tidak berputar pada beban 5500 gram. Efisiensi pada turbin sudut sekat 75° meningkat pada beban 2500 gram dengan menghasilkan efisiensi sebesar 75,26%. Kemudian efisiensi secara perlahan menurun sampai turbin tidak berputar pada beban 5500 gram, efisiensi turbin dengan sudut sekat 90° meningkat pada beban 5000 dengan efisiensi sebesar 73,30%. Setelah itu efisiensi yang menurun dan turbin berhenti berputar pada beban 5500 gram.

Dari gambar grafik 11 dapat diambil kesimpulan jika variasi sudut sekat 75° dan kapasitas 9,572 L/s pada pemberian beban 2500 gram mempunyai efisiensi maksimum yaitu 75,26%.

➤ Pengaruh Variasi Sudut Sekat Terhadap Efisiensi Kapasitas 11,024 L/s



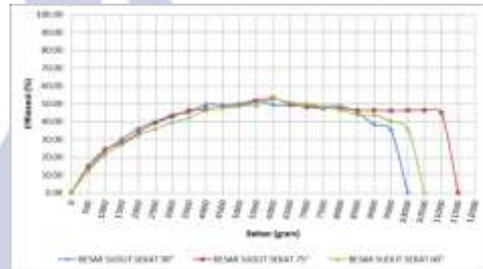
Gambar 12. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 11,024 L/s

Pada gambar grafik 12 bisa diketahui efisiensi yang dihasilkan oleh turbin dengan sudut sekat 60°, 75°, dan 90°. Efisiensi turbin dengan sudut sekat 60° meningkat

pada beban 6000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan mencapai 83,30%. Kemudian efisiensi menurun hingga turbin tidak berputar pada beban 8000 gram. Efisiensi turbin dengan sudut sekat 75° meningkat pada pemberian beban 4500 gram dengan efisiensi mencapai 88,29%. Kemudian efisiensi yang secara bertahap menurun sampai turbin tidak berputar pada beban 9000 gram. Pada variasi sudut sekat 90°, efisiensi meningkat sampai pemberian beban 4500 gram dengan menghasilkan efisiensi mencapai 77,35%. Kemudian efisiensi menurun hingga turbin tidak berputar pada beban 8500 gram.

Maka dari gambar grafik diatas dapat diambil kesimpulan bahwa sudut sekat 75° dan kapsitas 14,024 L/s pada beban 4500 gram mempunyai efisiensi tertinggi yaitu 88,29%.

➤ Pengaruh Variasi Sudut Sekat Terhadap Efisiensi Turbin Kapsitas 14,322 L/S

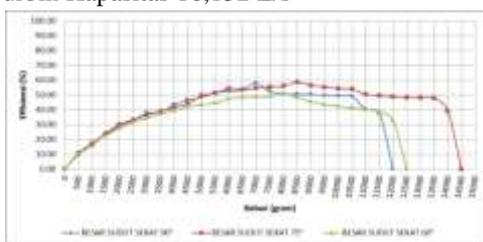


Gambar 13. Grafik Efisiensi Turbin pada Kapasitas 14,322 L/s

Dari gambar grafik 13 bisa diketahui efisiensi yang dihasilkan oleh turbin dengan sudut sekat 60°, 75°, dan 90°. Efisiensi turbin dengan sudut sekat 60° mengalami peningkatan pada beban 6000 gram dengan efisiensi mencapai 52,58%. Kemudian efisiensi menurun hingga turbin tidak berputar pada beban 10500 gram. Efisiensi turbin dengan sudut sekat 75° meningkat pada beban 6000 gram dengan efisiensi mencapai 53,10%. Kemudian efisiensi yang dihasilkan secara perlahan menurun sampai turbin tidak berputar pada beban 11500 gram. Efisiensi turbin pada variasi sudut sekat 90° mengalami peningkatan sampai pemberian beban 5500 gram. Kemudian efisiensi menurun dan turbin tidak berputar pada beban 10000 gram.

Maka dapat disimpulkan jika turbin dengan sudut sekat 75° dan kapsitas 14,322 L/s pada beban 6000 gram mempunyai efisiensi paling besar yaitu 53,10%.

➤ Pengaruh Variasi Sudut Sekat Terhadap Efisiensi Turbin Kapasitas 16,152 L/s

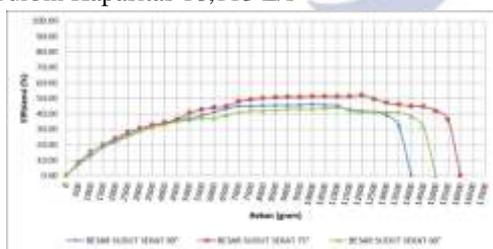


Gambar 14. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 16,152 L/s

Pada gambar grafik 14 bisa diketahui efisiensi yang dihasilkan oleh turbin dengan sudut sekat 60°, 75°, dan 90°. Efisiensi turbin dengan sudut sekat 60° mengalami peningkatan pada pemberian beban hingga 8000 gram dengan efisiensi mencapai 50,95%. Kemudian efisiensi menurun sampai turbin tidak berputar pada beban 12500 gram. Efisiensi turbin dengan sudut sekat 75° meningkat pada pemberian beban 8500 gram dengan efisiensi yang dihasilkan mencapai 58,64%. Kemudian efisiensi secara perlahan menurun sampai turbin tidak berputar pada beban 14500 gram. Pada turbin dengan sudut sekat 90° efisiensi meningkat pada pemberian beban 7000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 58,64%. Kemudian efisiensi secara perlahan menurun hingga turbin tidak berputar pada beban 12000 gram.

Dari gambar grafik 14 dapat diambil kesimpulan jika turbin dengan sudut sekat 75° dan kapasitas 16,152 L/s pada pemberian beban 8500 gram mempunyai efisiensi terbesar yaitu 58,64%.

➤ Pengaruh Variasi Sudut Sekat Terhadap Efisiensi Turbin Kapasitas 18,113 L/s



Gambar 15. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 18,113 L/s

Pada gambar grafik 15 bisa diketahui efisiensi yang dihasilkan oleh turbin dengan sudut sekat 60°, 75°, dan 90°. Efisiensi turbin dengan sudut sekat 60° mengalami peningkatan pada beban 1100 gram dengan menghasilkan efisiensi sebesar 44,09%. Setelah itu efisiensi mengalami penurunan sampai turbin tidak berputar pada beban 15000 gram. Efisiensi turbin dengan sudut sekat 75° meningkat pada pemberian beban 12000 gram dengan menghasilkan efisiensi

sebesar 52,04%. Kemudian efisiensi yang dihasilkan secara perlahan menurun sampai beban 16000 gram. Efisiensi turbin dengan sudut sekat 90° mengalami peningkatan sampai beban 10000 gram dengan menghasilkan efisiensi sebesar 46,06%. Kemudian efisiensi mengalami penurunan dan turbin tidak berputar pada beban 14000 gram.

Maka dapat diambil kesimpulan jika sudut sekat 75° dan kapasitas 18,113 L/s pada pemberian beban 12000 gram mempunyai efisiensi tertinggi yaitu 52,04%.

Berdasarkan gambar grafik 11,12, 13, 14, dan 15 dapat dilihat bahwa dengan memberikan variasi sudut sekat pada sudu turbin reaksi *crossflow* poros horizontal mempunyai karakteristik yang tidak sama. Nilai efisiensi meningkat sebanding dengan meningkatnya daya turbin pada setiap kapasitas yang digunakan. Pada gambar grafi (10) dengan mengatur kapasitas pada 9,572 L/s sudut sekat menghasilkan nilai efisiensi cukup besar dan efisiensi yang dihasilkan turbin cenderung meningkat. Hal tersebut terjadi lantaran daya air yang dihasilkan cukup kecil. Bersamaan dengan bertambahnya kapasitas yang diatur dengan membuka katup saluran *bypass* pada kerangka peralatan penelitian, terlihat grafik (11) jika efisiensi yang dihasilkan turbin meningkat dari kapasitas sebelumnya. Variasi yang diberikan pada sudut sekat juga cenderung meningkat terhadap nilai efisiensi yang dihasilkan turbin. Nilai efisiensi yang dihasilkan turbin terjadi penurunan dari kapasitas sebelumnya pada gambar grafik (12) penambahan *inlet notch* membuat luas penampang aliran konstan. Hal tersebut menyebabkan daya air semakin besar, namun karena daya air yang semakin besar maka nilai efisiensi menurun walaupun nilai menurun walaupun nilai daya turbin meningkat. Nilai efisiensi mengalami peningkatan dari kapasitas sebelumnya pada gambar grafik (13) hal itu karena daya yang dihasilkan turbin meningkat. Peningkatan daya turbin karena kapasitas yang digunakan semakin besar, maka air mampu memutar turbin lebih kuat sehingga efisiensi juga meningkat. Nilai efisiensi kembali sedikit menurun dari kapasitas sebelumnya pada gambar grafik (14) hal itu karena daya air yang dihasilkan jauh lebih besar dari daya turbin yang dihasilkan. Sesuai rumus efisiensi didapatkan dari perumusan daya turbin yang dibagi dengan daya air kemudian dikalikan dengan 100 persen.

Dari analisis diatas bisa diambil kesimpulan jika sudut sekat 75° pada sudu turbin reaksi *crossflow* memiliki nilai efisiensi yang paling besar, dilanjutkan dengan sudut sekat 90° dan efisiensi terendah dihasilkan oleh sudut sekat 60°. Pada saat kapasitas

aliran 11,024 L/s turbin mampu menghasilkan efisiensi yang tinggi. Seperti yang ditunjukkan oleh gambar bahwa pada kapasitas 11,024 L/s turbin bisa mampu menghasilkan efisiensi yang besar yaitu mencapai 88,29% pada pemberian beban 4500 gram karena bisa mengoptimalkan aliran air. Hal tersebut dikarenakan kapasitas dan besar sudut sekat mempengaruhi nilai daya dan efisiensi. Sedangkan lantaran penambahan beban yang semakin besar membuat efisiensi semakin menurun karena turbin memerlukan gaya tekan yang lebih besar untuk memutar turbin.

Dari ketiga variasi turbin tersebut, turbin dengan sudut sekat 75° memiliki efisiensi dan juga daya yang paling tinggi. Hal itu karena pada sudut sekat 75° air akan berpusat pada bagian dalam sudut sehingga akan menghasilkan daya tekan yang optimal. Sedangkan pada sudut sekat 60° air yang masuk pada bagian dalam sudut hanya sedikit karena celah yang cukup kecil. Sehingga gaya tekan yang diberikan air tidak terlalu besar dan kurang optimal. Pada sudut sekat 90° air tidak bisa memusat pada bagian dalam sudut. Hal itu dikarenakan jarak yang cukup besar, sehingga air tidak bisa berpusat pada bagian dalam sudut dan membuat gaya tekan yang diberikan rendah dan kurang optimal.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian mengenai variasi sudut sekat pada sudu berpenampang setengah lingkaran pada turbin *crossflow* poros horizontal, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

- Daya maksimum yang dihasilkan yaitu turbin dengan sudut sekat 75° , lebih besar dibandingkan sudut sekat 60° , dan sudut sekat 90° . Sudut sekat 75° menghasilkan daya sebesar 4,194 Watt dengan pemberian beban 12000 gram pada kapasitas 18,113 L/s.
- Efisiensi yang paling optimum dihasilkan pada turbin dengan sudut sekat 75° lebih besar sudut sekat 60° , dan sudut sekat 90° . Sudut sekat 75° menghasilkan efisiensi sebesar 88,29% dengan pemberian beban 4500 gram pada kapasitas 11,024 L/s.

Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh sudut sekat turbin berpenampang setengah lingkaran terhadap daya serap efisiensi turbin reaksi *crossflow* poros horizontal, maka dapat diberikan saran yaitu :

- Perlu adanya penelitian lebih lanjut dari sudut sekat pada turbin dengan variasi panjang sekat yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Anam, D. K., & Adiwibowo, P. H. (2020). Experimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Setengah Lingkaran Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Crossflow Poros Horizontal. *Jurnal Teknik Mesiin, 08 No 01*, 129–138.
- BPPT, O. E. I. (2019). *Indonesia Energy Outlook 2019: The Impact of Increased Utilization of New and Renewable Energy on the National Economy*.
- Daeroni, L. H., & Adiwibowo, P. H. (2018). Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang Setengah Silinder Dengan Variasi Sudut Sekat. *Jurnal Teknik Mesin, 6 Nomor 01*, 129–138.
- Dewan Energi Nasional, S. J. (2019). *Outlook Energi Indonesia* (S. Abdurrahman, M. Pertiwi, & Walujanto (ed.)). Outlook Energi Indonesia 2019.
- Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, K. E. (2019). Statistik Ketenaga Listrik Tahun 2018. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Nomor 9). Sekretariat Jenderal Ketenagalistrikan.
- Dwiyanto, V., K, D. I., & Tugiono, S. (2016). Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Studi Kasus : Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain, 4 No. 3*, 407–422.
- Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (2005). *Machine Design*. New Delhi : Eurasia Publishing House
- Prasetyo, A. D. N. B., & Adiwibowo, P. H. (2016). Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Banyak Sekat Pada Sudu Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Reaksi Crossflow Poros Vertikal dengan Sudu Setengah Silinder. *Jurnal Teknik Mesin, 04 Nomor 0*, 461–468.
- Pritchard, P. J. (2011). *Introduction to Fluid Mechanics Eighth edition*. Danver: John Wiley & Sons, Inc.