

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH SUDU BERPENAMPANG V TERPANCUNG TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN CROSSFLOW POROS HORIZONTAL

Muhammad Nuruddin

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: muhammad.17050754059@mhs.unesa.ac.id

Priyo Heru Adiwibowo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id

Abstrak

Energi merupakan suatu kebutuhan vital dalam semua aktifitas kehidupan yang ada di dunia ini. Pertumbuhan jumlah penduduk dunia yang semakin meningkat dapat mempercepat menipisnya cadangan energi fosil yang dimiliki dunia. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil, yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. Turbin *crossflow* termasuk dalam salah contoh (PLTMH). Tetapi, daya yang diperoleh turbin *crossflow* cenderung rendah maka perlunya pengembangan pada turbin *crossflow*. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi sudut sudu berpenampang segitiga terhadap daya dan efisiensi pada turbin *crossflow* poros horizontal. Metode eksperimen penelitian ini dengan memvariasikan sudu v terpancung yang dipancung 4 mm, 8 mm, 12 mm, dibandingkan dengan sudu v yang tidak terpancung, dan plat datar pada turbin *crossflow* poros horizontal. Jumlah sudu yang digunakan adalah 6 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 terhadap daya dan efisiensi. Hasil dari penelitian didapatkan daya maksimum diperoleh pada sudu v terpancung 8 mm pada kapasitas 18,113 L/s dengan pembebanan 8000 gram sebesar 4,204 Watt. Efisiensi optimal diperoleh pada sudu v terpancung 8 mm pada kapasitas 11,024 L/s dengan pembebanan 5000 gram sebesar 85,77 %. Hal ini disebabkan pada sudu terpancung 8 mm mampu memanfaatkan aliran dengan baik sehingga menghasilkan RPM tinggi serta torsi lebih besar meskipun diberi pembebanan yang semakin besar.

Kata Kunci : *Crossflow*, Daya, Efisiensi, Sudu Terpancung, Turbin v Terpancung.

Abstract

Energy is a vital need in all life activities in this world. The increasing growth of the world's population can accelerate the depletion of the world's fossil energy reserves. Micro-hydro Power Plant (PLTMH) is a small-scale power plant, which utilizes the power (flow) of water as a source of energy production. The crossflow turbine is one example (PLTMH). 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 effect of variations in the angle of the triangular cross-sectional blade on the power and efficiency of a horizontal axis crossflow turbine. This study used an experimental method by varying the truncated v blade with 4 mm, 8 mm, 12 mm cuts, compared to the uncut, flat plate v blade on a horizontal axis crossflow turbine. The number of blades used is 6 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 variations in loading on power and efficiency. The results of the study showed that the maximum power was obtained at the 8 mm truncated v blade at a capacity of 18,113 L/s with a loading of 8000 grams of 4,204 Watt. Optimal efficiency was obtained at 8 mm truncated v blade at a capacity of 11,024 L/s with a loading of 5000 grams of 85.77%. This is because the 8 mm truncated blade is able to utilize the flow properly so as to produce high RPM and greater torque even though it is given a greater load.

Keywords : *Crossflow*, Power, Efficiency, Trimmed Blade, Turbine v Trimmed

PENDAHULUAN

Energi merupakan suatu kebutuhan vital dalam semua aktifitas kehidupan yang ada di dunia ini. Menurut data (ESDM, 2020) Dengan adanya energi terbarukan dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Konsumsi listrik nasional terus mengalami peningkatan. Berdasarkan

data Kementerian ESDM, capaian konsumsi listrik pada 2019 baru sebesar 1.084 kWh per kapita, adapun targetnya sebesar 1.200 kWh per kapita. Sementara itu, target konsumsi listrik pada 2020 sebesar 1.142 kWh perkapita. Peningkatan ini sejalan dengan rasio elektrifikasi yang juga menunjukkan kenaikan. Rasionya dari 84,35% pada 2014 menjadi 98,89% pada 2019. Pertumbuhan jumlah

penduduk dunia yang semakin meningkat dapat mempercepat menipisnya cadangan energi fosil yang dimiliki dunia. Sudah berbagai energi alternatif yang bisa diperbaharui misalnya pembangkit listrik tenaga air yang menjadi sumber energi yang berpotensi besar untuk terus dikembangkan lagi saat ini. Terlebih di Indonesia 63% wilayahnya terdiri dari laut, maka usah dikembangkan suatu alat yang mampu mengubah potensi energi arus air menjadi energi listrik. Salah satunya dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik mikrohidro (PLTMH).

Dalam penelitian (Damastuti, 1997) dalam penelitiannya tentang Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil (kurang dari 200 kW), yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut clean energy karena ramah lingkungan. Dari segi teknologi, PLTMH dipilih karena konstruksinya sederhana, mudah dioperasikan, serta mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang. Secara ekonomi, biaya operasi dan perawatannya relatif murah, sedangkan biaya investasinya cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainnya. Secara sosial, PLTMH mudah diterima masyarakat luas (bandingkan misalnya dengan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir). PLTMH biasanya dibuat dalam skala desa di daerah-daerah terpencil yang belum mendapatkan listrik dari PLN. Tenaga air yang digunakan dapat berupa aliran air pada sistem irigasi, sungai yang dibendung atau air terjun.

Menurut penelitian (Yuniarti, 2012) Aliran air merupakan prime over akan menggerakkan turbin *Crossflow* sebagai sumber energi mekanik. Dari turbin dihasilkan putaran yang akan dikopel ke generator untuk memutar rotor yang pada akhirnya dapat membangkitkan energi listrik. Putaran turbin dan generator tidaklah sama, putaran turbin di ditentukan oleh jenis generator, jumlah kutub dan frekuensi kerja, untuk itu putaran turbin dan generator perlu disinkronkan sehingga membutuhkan transmisi mekanik yang sesuai dengan kebutuhan. Menurut (Jasa et al., 2014) Pada umumnya kincir air memiliki bentuk sudu lurus. Kincir air dengan bentuk sudu segitiga, yang dapat menghasilkan efisiensi 5,73% lebih besar dibandingkan dengan bentuk sudu lurus.

Dalam penelitian (Sutrino & Adiwibowo 2019, n.d.) yang berjudul “Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Berpenampang L Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin *Crossflow* Poros Horizontal”. Hasil dalam penelitian ini yakni variasi jumlah sudu memiliki pengaruh terhadap nilai daya dan efisiensi yang diperoleh oleh turbin *Crossflow*. Jumlah sudu 6 buah pada kapasitas aliran 13,408 L/s dan pembebanan 6000 gram mendapatkan daya tertinggi, yaitu sebesar 3,683 Watt. Efisiensi tertinggi juga didapatkan oleh turbin dengan

variasi jumlah sudu 6 pada kapasitas aliran 11,775 L/s dan pembebanan 5500 gram dengan nilai efisiensi sebesar 57,98%. Hal ini disebabkan jumlah sudu yang bertambah banyak mengakibatkan penyempitan dan turbin menyerupai lingkaran penuh sehingga daya air kurang maksimal untuk mendorong turbin, selain itu massa dari turbin juga mempengaruhi kerja dari turbin itu sendiri.

Penelitian yang dilakukan oleh (Insanto & Adiwibowo 2020) pada penelitian yang berjudul “Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Sudu Berpenampang Datar Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Reaksi *Crossflow* Poros Horizontal” hasil penelitian diperoleh turbin dengan rasio 15/16 memiliki daya dan efisiensi yang paling optimal dibandingkan turbin dengan rasio 13/16 dan 14/16. Daya tertinggi dimiliki oleh turbin dengan rasio 15/16 yang terjadi pada kapasitas 12,58 L/s beban 8000 gram, dengan daya sebesar 3,136 Watt. Efisiensi tertinggi juga diperoleh oleh rasio 15/16 pada kapasitas 12,58 L/s dengan beban 8000 gram dengan nilai efisiensi sebesar 58,21%. Hal ini disebabkan pada rasio 15/16 turbin dapat mempergunakan aliran air dengan baik dan jarak antar lebar turbin dan lebar saluran yang semakin sempit maka luasan aliran air yang ditampung sudu semakin besar maka dapat menghasilkan rpm tinggi serta torsi yang besar.

Dalam penelitian (Fauzi & Adiwibowo 2020) Yang berjudul “Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Diameter Luar dan Dalam Sudu Plat Datar Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin *Crossflow* Poros Horizontal” Efisiensi paling optimal juga dihasilkan oleh rasio diameter 0.6 pada kapasitas 14,32 L/s dengan pembebanan 5500 gram dengan nilai efisiensi sebesar 74,18%. Hal ini dikarenakan pada rasio diameter 0.6 turbin mampu memanfaatkan aliran air dengan baik dan luas sudu dari rasio diameter 0.6 mampu mengurangi adanya gaya dorong aliran air yang dapat menghambat turbin untuk berputar sehingga mampu menghasilkan rpm tinggi serta torsi yang besar dibandingkan rasio diameter 0.5. Pada rasio diameter 0.65 dan rasio diameter 0.7 memiliki luas sudu yang lebih kecil dibandingkan rasio diameter 0.6 sehingga aliran air yang menabrak sudu turbin lebih sedikit dan menghasilkan rpm dan torsi yang rendah.

Dalam penelitian (Yoga & Adiwibowo 2020) yang berjudul Studi “Eksperimental Pengaruh Variasi Sudut Sudu Berpenampang Segitiga Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin *Crossflow* Poros Horizontal”. Hasil dalam penelitian ini yaitu variasi sudut sudu 80°, 90°, 100° dan 110° didapatkan daya optimum dari sudut sudu 110° pada kapasitas 14,320 L/s sebesar 2,839 Watt dengan pembebanan 6000 gram dan memiliki ketahanan pembebanan hingga 8000 gram. Sedangkan efisiensi turbin maksimum dihasilkan dari sudut sudu 110° pada kapasitas 11,804 L/s sebesar 77,14% dengan pembebanan

6500 gram dan memiliki ketahanan pembebanan hingga 9500 gram.

Banyak peneliti sebelum-sebelumnya yang sudah melakukan berbagai inovasi agar mendapatkan kerja turbin yang terbaik, sedangkan masih belum ada peneliti yang memvariasikan pancung pada sudu berpenampang v terhadap turbin *Crossflow* dengan poros horizontal sehingga menemukan daya dan efisiensi dengan hasil yang optimal. Untuk mengembangkan penelitian tersebut, sehingga peneliti tertarik untuk melakukan kajian dan meneliti optimasi daya dan efisiensi pada turbin *Crossflow* dengan memvariasikan pancung pada sudu berpenampang v terpancung menggunakan poros horizontal. Saya memilih judul ini karena adanya penelitian terdahulu yang memvariasikan sudut segitiga atau v. Didapatkan sudut yang terbaik 110° dan saya berfikir mencoba memberi pancung 4 mm, 8mm, 12mm karena jika air yang menabrak sudu memiliki permukaan yang datar seharusnya memiliki daya yang lebih besar dibandingkan dengan menabrak lekukan sudut.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Metode eksperimen adalah metode untuk mencari adanya hubungan sebab akibat antara beberapa faktor yang saling berkaitan. Pada eksperimen ini peneliti memvariasikan untuk mencari berapa sudu berpenampang v terpancung yang paling optimal yang memiliki efisiensi dan daya terbaik. Penelitian ini dilakukan dalam kondisi dan peralatan yang telah disesuaikan.

Tempat dan waktu penelitian

➤ **Tempat Penelitian**

Penelitian dengan judul “Studi Eksperimental Pengaruh Sudu Berpenampang V Terpancung Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin *Crossflow* poros horizontal” ini dilakukan di Lab. Mekanika Fluida gedung A8 lantai 2 Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.

➤ **Waktu Penelitian**

Peneliti akan melaksanakan penelitian setelah proposal skripsi diujikan dan disetujui hingga memenuhi semua data dan analisa yang dibutuhkan.

Variabel Penelitian

➤ **Variabel Bebas**

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu variasi sudu Terpancung 4mm, 8mm, dan 12mm.



Gambar 1. Turbin *Crossflow* berpenampang v terpancung 4 mm, 8 mm, dan 12

➤ **Variabel Terkait**

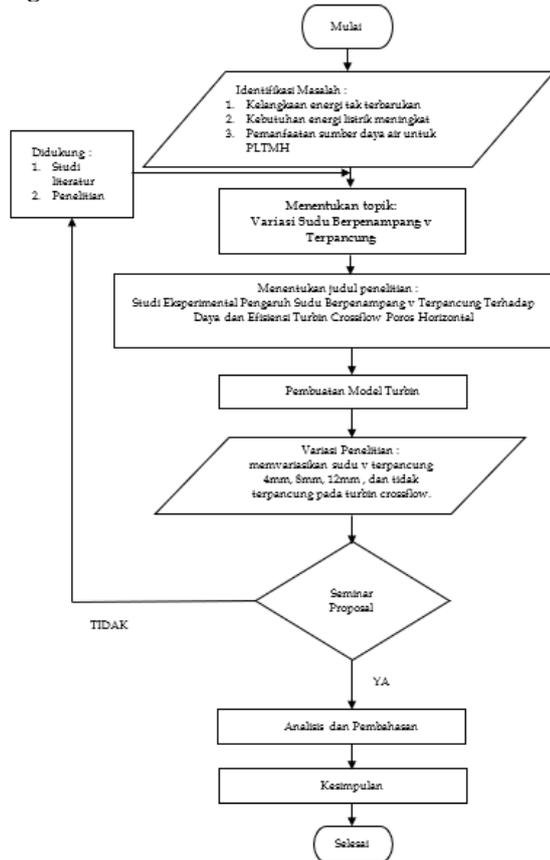
Variabel terikat yang ada di penelitian ini yakni daya dan efisiensi yang diperoleh oleh turbin *crossflow*.

➤ **Variabel Kontrol**

Pada penelitian ini menggunakan variabel kontrol :

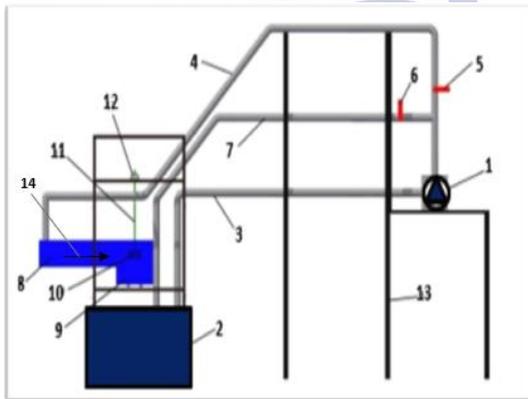
- Menggunakan air sebagai fluida kerja.
- Kapasitas aliran air semasa proses pengujian.
- Menggunakan kapasitas aliran air 7.598 L/s, 9.560 L/s, 11.775 L/s, 13.408 L/s, dan 17.084 L/s.
- Menggunakan bukaan katup 130° , 140° , 150° , 160° , dan 170°
- Diberi beban sebesar 500 g, 1000 g, 1500 g, dan 2000 g dan seterusnya sampai turbin terhenti berputar.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Flowchart Penelitian

Peralatan dan Instrumen Penelitian



Gambar 3. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Keterangan :

1. Pompa
2. Bak Penampungan Air
3. Pipa Saluran Section
4. Saluran Discharge
5. Katup Utama
6. Katup Bypass
7. Saluran Bypass
8. Inlet
9. Outlet

10. Posisi Turbin
11. Rangka Poros
12. Prony Brake
13. Rangka PLTMH
14. Arah Aliran

Teknik Pengumpulan Data

Dilakukannya pengumpulan data dengan tujuan mendapatkan informasi yang diperlukan dan memperoleh tujuan penelitian. Tujuan yang ditulis dalam wujud hipotesis adalah bentuk sementara terhadap rumusan masalah penelitian. Data yang dihimpun ditentukan oleh adanya variabel-variabel yang terdapat pada hipotesis. Penelitian ini teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan cara menghitung atau menguji data yang telah diteliti dan menulis hasilnya.

Teknik Analisa Data

Pengambilan data penelitian ini menggunakan alat ukur, sehingga perolehan dari pengukuran dicatat ke dalam tabel, dihitung menurut teoritis dan hasil yang disajikan akan dalam bentuk grafik supaya mudah untuk dipahami. Kegiatan ini dilakukan guna memberi informasi mengenai kinerja alat yang optimum, ikatan dengan berbagai variabel dan fenomena yang ada saat pengujian dilaksanakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pada berjalannya analisis, menggunakan data rata-rata dari pengambilan data tiga kali, agar didapat data yang valid. Data hasil tersebut lalu dihitung agar mendapatkan nilai kapasitas aliran air, daya air, gaya, torsi, kecepatan angular, daya turbin, dan efisiensi turbin. Untuk memperoleh data tersebut rumus yang digunakan yaitu :

- Kapasitas Aliran Air (Q)

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

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 pengarah (m)
- l = Lebar keluaran pengarah (m)

- Kecepatan Aliran (V)

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

Keterangan :

V = Kecepatan aliran saluran pengarah (m/s)

Q = Kapasitas aliran (m^3/s)

A = luas penampang aliran (m^2)

➤ Daya air (Pa)

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

Keterangan :

P_a = Daya air (watt)

ρ = Massa jenis (kg/m^3)

A = Luas penampang aliran (m^2)

V = Kecepatan air yang mengalir (m/s)

➤ Gaya (F)

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

Keterangan :

F = Gaya (N)

m = Beban (Kg)

g = Gravitasi ($9,81 m/s^2$)

➤ Torsi (T)

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

Keterangan :

T = Torsi (N.m)

F = Gaya (N)

r = Lengan (m)

➤ Kecepatan Anguler (ω)

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

Keterangan :

ω = Kecepatan (rad/s)

$\pi = 3,14$

n = Putaran (rpm)

➤ Daya Turbin (Pt)

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

Keterangan :

P_t = Daya Turbin (Watt)

T = Torsi (N.m)

ω = Kecepatan angular (rad/s)

➤ Efisiensi Turbin (η)

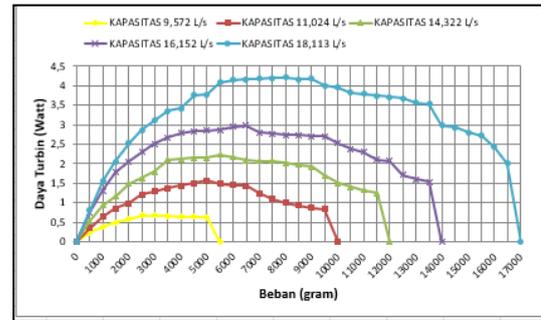
$$\eta = \frac{P_t}{P_a} \cdot 100\% \dots (\text{Pritchard, 2011:505})$$

Keterangan :

η = Efisiensi Turbin

P_t = Daya Turbin (Watt)

P_a = Daya air (Watt)



Gambar 4. Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Daya Turbin Berpenampang V Terpancung 8 mm.

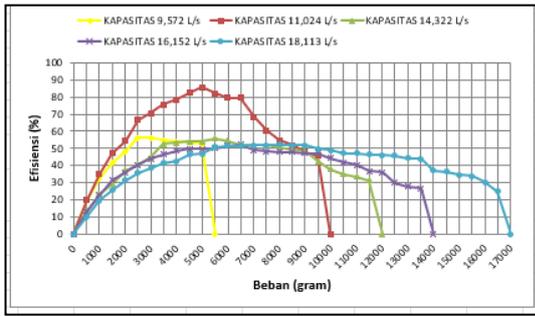
Berdasarkan gambar grafik 4 turbin berpenampang v dengan variasi pancung 8 mm menghasilkan daya yang meningkat berbanding dengan bertambahnya kapasitas. Seperti yang terlihat pada gambar grafik 4, pada kapasitas 9,572 L/s mengalami peningkatan sampai pembebanan 2500 gram menghasilkan daya 0,669 Watt, lalu daya turun sehingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 5500 gram. Pada kapasitas 11,024 L/s mengalami peningkatan sampai pembebanan 5000 gram menghasilkan daya 1,559 Watt, lalu daya turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 10000 gram. Daya turbin dengan kapasitas 14,322 L/s mengalami peningkatan sampai pembebanan 5500 gram menghasilkan daya 2,229 Watt, lalu daya turun sehingga berhenti pada pembebanan 12000 gram. Daya turbin dengan kapasitas 16,152 L/s mengalami peningkatan sampai pembebanan 6500 gram menghasilkan daya 2,984 Watt, lalu daya turun sehingga berhenti pada pembebanan 14000 gram. Daya turbin dengan kapasitas 18,113 L/s mengalami peningkatan sampai pembebanan 8000 gram menghasilkan daya 4,204 Watt, lalu daya turun sehingga berhenti pada pembebanan 17000 gram.

Ditarik kesimpulan dapat bahwa kapasitas 18,113 L/s pada pembebanan 8000 gram memiliki daya tertinggi yaitu 4,204 Watt. Hal ini dikarenakan kapasitas yang meningkat, sehingga gaya yang diberikan menyebabkan turbin bergerak meskipun beban semakin besar, akan tetapi pada bagian tertentu terjadi menurunnya nilai yang dihasilkan disebabkan semakin besarnya pembebanan yang diberikan.

Pembahasan

➤ Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Daya Turbin Berpenampang V Terpancung 8 mm.

➤ Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Efisiensi Turbin Berpenampang V Terpancung 8 mm

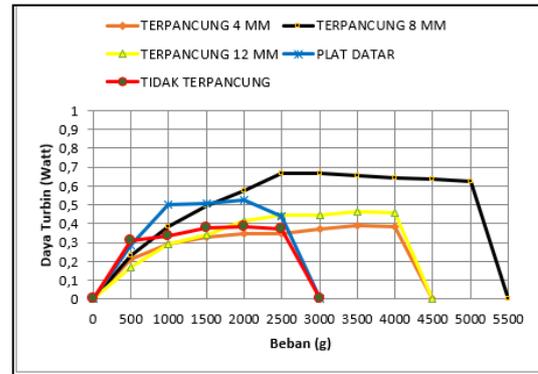


Gambar 5 Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Efisiensi Turbin Berpenampang V Terpancung 8 mm.

Berdasarkan gambar grafik 5 turbin berpenampang v dengan variasi pancungan 8 mm menghasilkan efisiensi yang paling tinggi kapasitas 11,024 L/s. Hal itu karena menghasilkan daya air yang kecil sementara daya turbin yang dihasilkan cukup besar. Seperti yang terdapat pada gambar grafik 5 bahwa kapasitas 9,572 L/s terjadi peningkatan sampai pembebanan 2500 gram menghasilkan efisiensi 56.27%, lalu efisiensi turun pada pembebanan 5500 gram sehingga turbin berhenti. Efisiensi turbin dengan kapasitas 11,024 L/s terjadi peningkatan sampai pembebanan 5000 gram menghasilkan efisiensi 85.77%, lalu efisiensi turun pada pembebanan 10000 gram sehingga turbin berhenti. Efisiensi turbin dengan kapasitas 14,322 L/s meningkat sampai pembebanan 5500 gram menghasilkan efisiensi 55,95%, lalu efisiensi turun pada pembebanan 12000 gram sehingga berhenti. Efisiensi turbin dengan kapasitas 16,152 L/s meningkat sampai pembebanan 6500 gram menghasilkan efisiensi 52,21%, lalu efisiensi turun sehingga berhenti. Efisiensi kapasitas 18,113 L/s meningkat sampai pembebanan 8000 gram menghasilkan efisiensi 52.16%, lalu efisiensi turun pada pembebanan 17000 gram sehingga berhenti.

Ditarik kesimpulan bahwa kapasitas 11,024 L/s pada beban 5000 gram memiliki nilai efisiensi tertinggi yaitu 85.77%. Hal ini timbul karena kecepatan air yang besar, maka gaya yang diberikan memacu turbin berputar meskipun pembebanan meningkat, tetapi pada bagian tertentu mengakibatkan efisiensi turun yang dihasilkan disebabkan semakin tingginya nilai beban yang diberi sehingga perlu ada gaya yang lebih besar untuk menggerakkan turbin.

➤ Pengaruh Variasi Sudut Sudu Berpenampang V Terpancung 8 mm Terhadap Daya Turbin pada Kapasitas Aliran Air 9,572 L/s

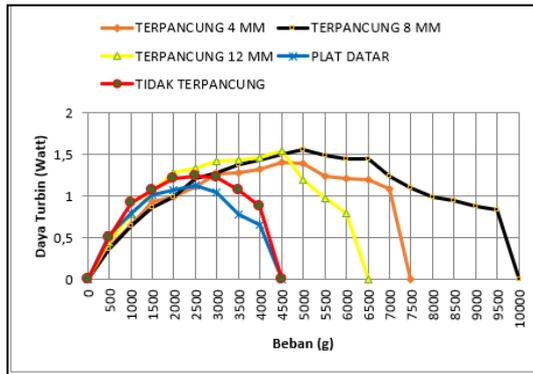


Gambar 6 Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air 9,572 L/s Terhadap Daya Turbin Berpenampang V

Seperti yang terlihat pada gambar grafik 6 daya turbin pada turbin terpancung 4 mm terus meningkat sampai pembebanan 3500 gram menghasilkan daya 0,388 Watt, lalu daya turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 4000 gram. Berikutnya daya turbin pada turbin terpancung 8 mm meningkat sampai pembebanan 2500 gram menghasilkan daya 0,669 Watt lalu daya turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 5500 gram. Kemudian daya turbin pada turbin terpancung 12 mm juga meningkat sampai pembebanan 3000 gram menghasilkan daya 0,464 Watt dan daya turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 4000 gram. Berikutnya pada turbin tidak terpancung meningkat sampai pembebanan 2000 gram menghasilkan daya 0,384 Watt dan daya turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 3000 gram. Dan pada turbin plat datar meningkat sampai pembebanan 2000 gram menghasilkan daya 0,524 Watt dan daya turun sehingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 3000 gram.

Ditarik kesimpulan dengan kapasitas 9,5715 L/s turbin dengan pancungan 8 mm menghasilkan daya tertinggi yaitu sebesar 0,669 Watt. Hal ini dikarenakan turbin dengan pancungan 8 mm memiliki lebar sudu yang seimbang antara lebar pancungan dengan sudu yang tidak terpancung dibandingkan turbin yang terpancung 4 mm, 12 mm, tidak terpancung, dan plat datar menjadikan turbin lebih efektif untuk memanfaatkan energi kinetik dari air. Sedangkan pada titik tertentu mengalami penurunan nilai daya yang dihasilkan disebabkan karena pembebanan yang semakin besar sehingga perlu adanya gaya lebih besar untuk memutar turbin.

➤ Pengaruh Variasi Sudut Sudu Berpenampang V Terhadap Daya Turbin pada Kapasitas Aliran Air 11,024 L/s.

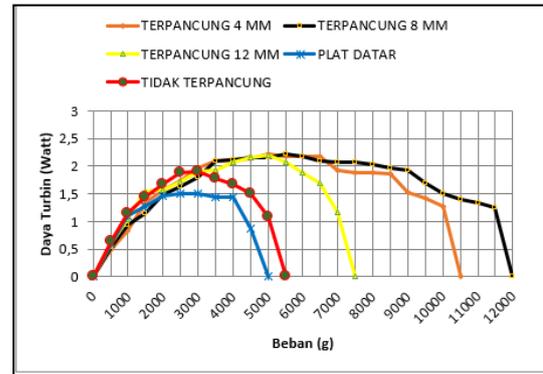


Gambar 7 Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air 11,024 L/s Terhadap Daya Turbin Berpenampang V

Berdasarkan gambar grafik 7 daya turbin pada pada turbin terpancung 4 mm terus meningkat sampai pembebanan 4500 gram menghasilkan daya 1,406 Watt, lalu daya turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 7500 gram. Berikutnya daya turbin pada turbin terpancung 8 mm meningkat sampai pembebanan 5000 gram menghasilkan daya 1,599 Watt dan daya turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 10000 gram. Kemudian daya turbin pada turbin terpancung 12 mm juga meningkat sampai pembebanan 4500 gram menghasilkan daya 1,536 Watt dan daya turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 6500 gram. Berikutnya pada turbin tidak terpancung meningkat sampai pembebanan 2500 gram dengan daya yang dihasilkan 1.233 Watt dan mengalami daya turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 4500 gram. Dan pada turbin plat datar meningkat sampai pembebanan 2500 gram menghasilkan daya 1,129 Watt dan daya turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 4500 gram.

Ditarik kesimpulan dengan kapasitas 11,0231 L/s turbin dengan pancungan 8 mm menghasilkan daya tertinggi yaitu sebesar 1,599 Watt. Pada kapasitas 11,0231 L/s mengalami peningkatan daya dari kapasitas sebelumnya hal ini dikarenakan gaya dorong yang diberikan membuat turbin berputar meski pembebanan semakin meningkat. Selain itu turbin dengan pancungan 8 mm memiliki lebar sudu yang seimbang antara lebar pancungan dengan sudu yang tidak terpancung dibandingkan turbin yang terpancung 4 mm, 12 mm, tidak terpancung dan plat datar menjadikan turbin lebih efektif untuk memanfaatkan energi kinetik dari air. Sedangkan pada titik tertentu mengalami penurunan nilai daya yang dihasilkan disebabkan karena pembebanan yang semakin besar sehingga perlu adanya gaya lebih besar untuk memutar turbin.

- Pengaruh Variasi Sudut Sudu Berpenampang V Terhadap Daya Turbin pada Kapasitas Aliran Air 14,322 L/s.

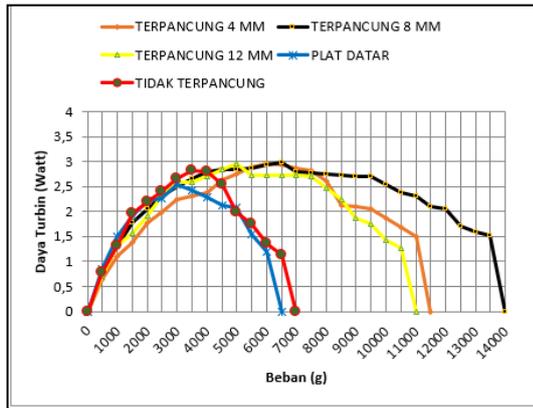


Gambar 8 Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air 14,322 L/s Terhadap Daya Turbin Berpenampang V

Berdasarkan gambar grafik 8 daya turbin pada turbin terpancung 4 mm terus meningkat sampai pembebanan 5000 gram menghasilkan daya 2,211 Watt, lalu daya turun sehingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 10500 gram. Berikutnya daya turbin pada turbin terpancung 8 mm meningkat sampai pembebanan 5500 gram menghasilkan daya 2,229 Watt dan daya turun sehingga turbin berhenti berputar sampai pembebanan 12000 gram. Kemudian daya turbin pada turbin terpancung 12 mm juga meningkat sampai pembebanan 5000 gram menghasilkan daya 2,206 Watt dan daya turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 7500 gram. Berikutnya pada turbin tidak terpancung mengalami peningkatan sampai pembebanan 3000 gram menghasilkan daya 1.902 Watt dan daya turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 5500 gram. Dan pada turbin plat datar mengalami peningkatan sampai pembebanan 2500 gram menghasilkan daya 1,512 Watt dan daya turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 5000 gram.

Ditarik kesimpulan bahwa dengan kapasitas 14,322 L/s turbin dengan pancungan 8 mm menghasilkan daya tertinggi yaitu sebesar 2,229 Watt. Hal ini terjadi karena peningkatan kapasitas menjadikan gaya dorong air terhadap turbin menjadi lebih besar, sehingga daya turbin juga mengalami peningkatan dari kapasitas sebelumnya. Selain itu pancungan 8 mm memiliki lebar sudu yang seimbang antara lebar pancungan dengan sudu yang tidak terpancung dibandingkan turbin yang terpancung 4 mm, 12 mm, tidak terpancung dan plat datar. Sehingga dengan kapasitas aliran 14,322 L/s menjadikan turbin lebih efektif untuk memanfaatkan energi kinetik dari air. Sedangkan pada titik tertentu mengalami penurunan nilai daya yang dihasilkan disebabkan karena pembebanan yang semakin besar sehingga perlu adanya gaya lebih besar untuk memutar turbin.

- Pengaruh Variasi Sudut Sudu Berpenampang V Terhadap Daya Turbin pada Kapasitas Aliran Air 16,152 L/s.

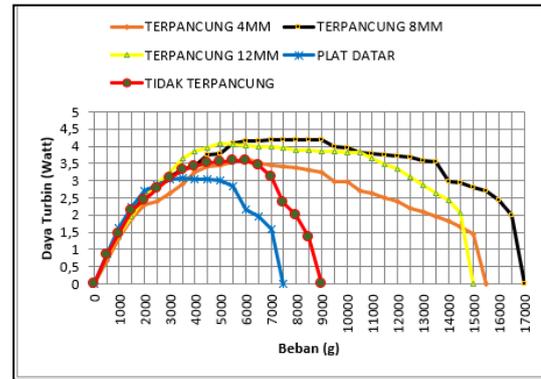


Gambar 9 Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air 16,152 L/s Terhadap Daya Turbin Berpenampang V

Berdasarkan gambar grafik 9 daya turbin pada turbin terpancung 4 mm terus meningkat sampai pembebanan 6000 gram menghasilkan daya 2,950 Watt, lalu daya turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 11500 gram. Berikutnya daya turbin pada turbin terpancung 8 mm mengalami peningkatan sampai pembebanan 6500 gram menghasilkan daya 2,984 Watt dan daya turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 14000 gram. Kemudian daya turbin pada turbin terpancung 12 mm juga meningkat sampai pembebanan 5000 gram dengan daya yang dihasilkan 2,953 Watt dan daya turun sehingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 11000 gram. Berikutnya pada turbin tidak terpancung mengalami peningkatan sampai pembebanan 3500 gram menghasilkan daya 2.816 Watt dan daya turun sehingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 7000 gram. Dan pada turbin plat datar mengalami peningkatan sampai pembebanan 3000 gram menghasilkan daya 2,530 Watt dan daya turun sehingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 6500 gram.

Ditarik kesimpulan bahwa kapasitas 16,152 L/s turbin dengan pancungan 8 mm menghasilkan daya tertinggi yaitu sebesar 2,984 Watt. Kapasitas 16,152 L/s mengalami peningkatan daya dari kapasitas sebelumnya hal ini dikarenakan gaya dorong yang diberikan sanggup membuat turbin berputar meski pembebanan semakin meningkat. Selain itu pancungan 8 mm memiliki lebar sudu yang seimbang antara lebar pancungan dengan sudu yang tidak terpancung dibandingkan turbin yang terpancung 4 mm, 12 mm, tidak terpancung dan plat datar. Sedangkan pada titik tertentu mengalami penurunan nilai daya yang dihasilkan disebabkan karena pembebanan yang semakin besar sehingga perlu adanya gaya lebih besar untuk memutar turbin.

- Pengaruh Variasi Sudut Sudu Berpenampang V Terhadap Daya Turbin pada Kapasitas Aliran Air 18,113 L/s.

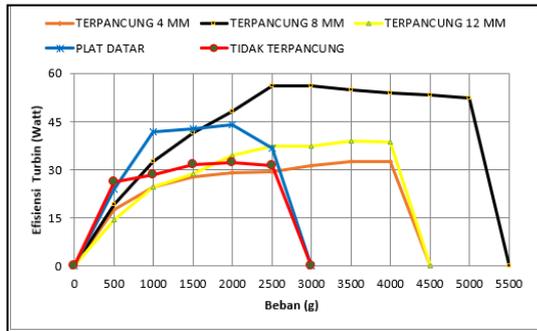


Gambar 10 Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air 18,113 L/s Terhadap Daya Turbin Berpenampang V

Berdasarkan gambar grafik 10 daya turbin pada turbin terpancung 4 mm terus meningkat sampai pembebanan 6000 gram menghasilkan daya 3,645 Watt, lalu daya turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 15000 gram. Berikutnya daya turbin pada turbin terpancung 8 mm meningkat sampai pembebanan 8000 gram menghasilkan daya 4,204 Watt dan daya turun sehingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 17000 gram. Kemudian daya turbin pada turbin terpancung 12 mm juga meningkat sampai pembebanan 5000 gram menghasilkan daya 4,073 Watt dan daya turun sehingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 14500 gram. Berikutnya pada turbin tidak terpancung mengalami peningkatan sampai pembebanan 5500 gram menghasilkan daya 3.596 Watt dan daya turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 9000 gram. Dan pada turbin plat datar mengalami peningkatan sampai pembebanan 3500 gram menghasilkan daya 3.075 Watt dan daya turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 7500 gram.

Ditarik kesimpulan bahwa kapasitas 18,113 L/s turbin dengan pancungan 8 mm menghasilkan daya tertinggi yaitu sebesar 4,204 Watt. Pada kapasitas 18,113 L/s mengalami peningkatan daya dari kapasitas sebelumnya dikarenakan gaya dorong air terhadap turbin menjadi lebih besar, sehingga daya turbin juga mengalami peningkatan. Selain itu pancungan 8 mm memiliki tebal sudu yang tidak terlalu tebal dan tidak terlalu tipis sehingga aliran tidak menerpa punggung sudu dibandingkan turbin yang terpancung 4 mm, 12 mm, tidak terpancung dan plat datar menjadikan turbin lebih efektif untuk memanfaatkan energi kinetik dari air. Sedangkan penurunan daya turbin disebabkan karena adanya peningkatan pembebanan.

- Pengaruh Variasi Sudu Berpenampang V Terhadap Efisiensi Turbin pada Kapasitas Aliran Air 9,572 L/s

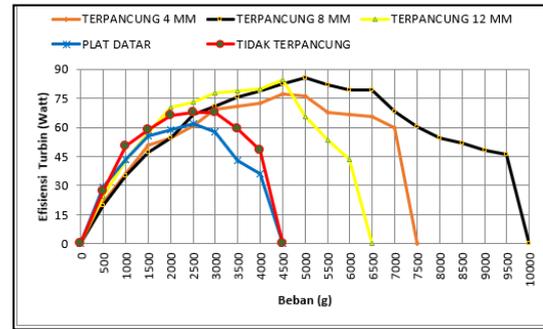


Gambar 11 Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air 9,572 L/s Terhadap Efisiensi Turbin Berpenampang V

Berdasarkan gambar grafik 11 efisiensi turbin pada sudu terpancung 4 mm meningkat sampai pembebanan 3500 gram menghasilkan daya 32,62%, lalu efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 4500 gram. Berikutnya efisiensi turbin pada sudu terpancung 8 mm mengalami peningkatan sampai pembebanan 2500 gram menghasilkan efisiensi 56,27% dan efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 5500 gram. Kemudian efisiensi turbin pada sudu terpancung 12 mm juga mengalami peningkatan sampai pembebanan 3500 gram menghasilkan efisiensi 39,03% dan efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 4500 gram. Sudu tidak terpancung meningkat sampai pembebanan 2000 gram menghasilkan efisiensi 32,31%, lalu efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 3000 gram. Berikutnya efisiensi turbin pada sudu plat datar mengalami peningkatan sampai pembebanan 2000 gram menghasilkan 44,05% lalu efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 3000 gram.

Ditarik kesimpulan bahwa turbin sudu terpancung 8 mm memiliki nilai efisiensi tertinggi dari variasi sudut sudu lain mencapai efisiensi turbin 56,27% pada kapasitas 9,572 L/s. Hal ini sesuai dengan perumusan dalam mencari efisiensi yaitu daya turbin dibagi dengan daya air lalu dikali 100 persen. Sehingga dapat dilihat bahwa nilai kapasitas aliran mempengaruhi besarnya daya turbin karena putaran dan torsi yang berbeda dalam tiap pembebanan.

- Pengaruh Variasi Sudu Berpenampang V Terpancung Terhadap Efisiensi Turbin pada Kapasitas Aliran Air 11,0231 L/s

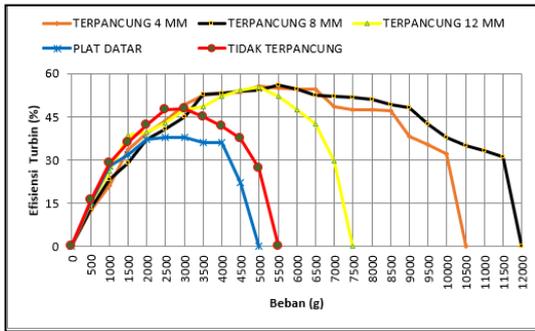


Gambar 12 Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air 11,024 L/s Terhadap Efisiensi Turbin Berpenampang V

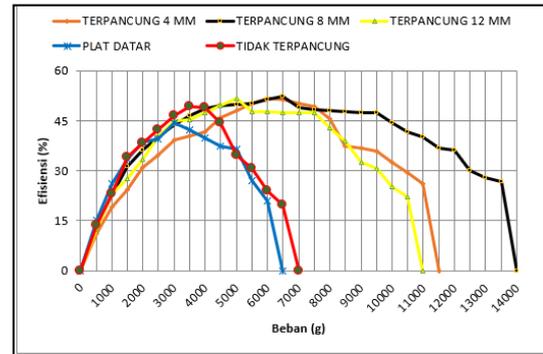
Berdasarkan gambar grafik 12 efisiensi turbin pada sudu terpancung 4 mm meningkat sampai pembebanan 4500 gram menghasilkan efisiensi 77,39 %, lalu efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 7500 gram. Berikutnya efisiensi turbin pada sudu terpancung 8 mm mengalami peningkatan sampai pembebanan 5000 gram menghasilkan efisiensi 85,77% dan efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 10000 gram. Kemudian efisiensi turbin pada sudu terpancung 12 mm juga mengalami peningkatan sampai pembebanan 4500 gram menghasilkan efisiensi 84,40% dan efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 6500 gram. Sudu tidak terpancung meningkat sampai pembebanan 2500 gram menghasilkan efisiensi 67,75%, lalu efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 4500 gram. Berikutnya efisiensi turbin pada sudu plat datar mengalami peningkatan sampai pembebanan 2500 gram menghasilkan efisiensi 62,03% dan efisiensi turun sehingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 4500 gram.

Ditarik kesimpulan bahwa turbin sudu terpancung 8 mm memiliki nilai efisiensi tertinggi dari variasi sudut sudu lain mencapai efisiensi turbin 85,77% pada kapasitas 11,024 L/s. Hal ini sesuai dengan perumusan dalam mencari efisiensi yaitu daya turbin dibagi dengan daya air lalu dikali 100 persen. Sehingga dapat dilihat bahwa nilai kapasitas aliran mempengaruhi besarnya daya turbin karena putaran dan torsi yang berbeda dalam tiap pembebanan.

- Pengaruh Variasi Sudu Berpenampang V Terpancung Terhadap Efisiensi Turbin pada Kapasitas Aliran Air 14,322 L/s



Gambar 13 Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air 14,322 L/s Terhadap Efisiensi Turbin Berpenampang V



Gambar 14 Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air 16,152 L/s Terhadap Efisiensi Turbin Berpenampang V

Berdasarkan gambar grafik 13 efisiensi turbin pada sudu terpancung 4 mm terus meningkat sampai pembebanan 5500 gram menghasilkan efisiensi 56,48%, lalu efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 10500 gram. Berikutnya efisiensi turbin pada sudu terpancung 8 mm mengalami peningkatan sampai pembebanan 5500 gram menghasilkan efisiensi 55,95% dan efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 12000 gram. Kemudian efisiensi turbin pada sudu terpancung 12 mm juga meningkat sampai pembebanan 5000 gram menghasilkan efisiensi 55,37% dan efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 7500 gram. Sudu tidak terpancung meningkat sampai pembebanan 2500 gram menghasilkan efisiensi 37,95%, lalu efisiensi turun sehingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 5000 gram. Berikutnya efisiensi turbin pada sudu plat datar mengalami peningkatan sampai pembebanan 3000 gram menghasilkan efisiensi 47,73% dan efisiensi turun sehingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 5500 gram.

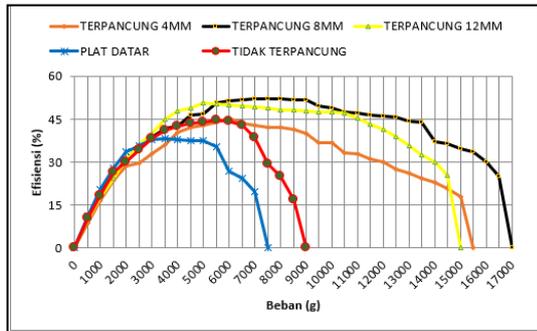
Ditarik kesimpulan bahwa turbin dengan sudu terpancung 8 mm memiliki nilai efisiensi tertinggi dari variasi sudut sudu lain mencapai efisiensi turbin 55,95% pada kapasitas 14,322 L/s. Hal ini sesuai dengan perumusan dalam mencari efisiensi yaitu daya turbin dibagi dengan daya air lalu dikali 100 persen. Sehingga dapat dilihat bahwa nilai kapasitas aliran mempengaruhi besarnya daya turbin karena putaran dan torsi yang berbeda dalam tiap pembebanan.

- Pengaruh Variasi Sudu Berpenampang V Terpancung Terhadap Efisiensi Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 16,152 L/s

Berdasarkan gambar grafik 14 efisiensi turbin pada sudu terpancung 4 mm terus meningkat sampai pembebanan 6000 gram menghasilkan efisiensi 51,61%, lalu efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 11500 gram. Berikutnya efisiensi turbin pada sudu terpancung 8 mm mengalami peningkatan sampai pembebanan 6500 gram menghasilkan efisiensi 52,21% dan efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 14000 gram. Kemudian efisiensi turbin pada sudu terpancung 12 mm juga mengalami peningkatan sampai pembebanan 5000 gram menghasilkan efisiensi 51,66% dan efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 11000 gram. Sudu tidak terpancung meningkat sampai pembebanan 3500 gram menghasilkan efisiensi 49,27%, lalu efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 7000 gram. Berikutnya efisiensi turbin pada sudu plat datar mengalami peningkatan sampai pembebanan 3000 gram menghasilkan efisiensi 44,27% dan efisiensi turun sehingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 6500 gram.

Ditarik kesimpulan bahwa turbin dengan sudu terpancung 8 mm memiliki nilai efisiensi tertinggi dari variasi lain mencapai efisiensi turbin 52.21% pada kapasitas 16,152 L/s. Hal ini sesuai perumusan dalam mencari efisiensi yaitu daya turbin dibagi dengan daya air lalu dikali 100 persen. Sehingga dapat dilihat bahwa nilai kapasitas aliran mempengaruhi besarnya daya turbin karena putaran dan torsi yang berbeda dalam tiap pembebanan.

- Pengaruh Variasi Sudu Berpenampang V Terpancung Terhadap Efisiensi Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 18,113 L/s



Gambar 15 Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air 18,113 L/s Terhadap Efisiensi Turbin Berpenampang V

Berdasarkan gambar grafik 15 efisiensi turbin pada sudu terpancing 4 mm terus meningkat sampai pembebanan 6000 gram menghasilkan efisiensi 45,23%, lalu efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 15500 gram. Berikutnya efisiensi turbin pada sudu terpancing 8 mm meningkat sampai pembebanan 8000 gram menghasilkan efisiensi 52,16% dan efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 17000 gram. Kemudian efisiensi turbin pada sudu terpancing 12 mm juga mengalami peningkatan sampai pembebanan 5000 gram menghasilkan efisiensi 50,54% dan efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 15000 gram. Sudu tidak terpancing meningkat sampai pembebanan 5500 gram menghasilkan efisiensi 44,61%, lalu efisiensi turun sehingga turbin berhenti pada pembebanan 9000 gram. Berikutnya efisiensi turbin pada sudu plat datar mengalami peningkatan sampai pembebanan 3500 gram menghasilkan efisiensi 38,15% dan efisiensi turun sehingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 7500 gram.

Ditarik kesimpulan bahwa turbin dengan sudu terpancing 8 mm memiliki nilai efisiensi tertinggi dari variasi lain mencapai efisiensi turbin 52,16% pada kapasitas 18,113 L/s. Hal ini sesuai dengan perumusan dalam menentukan efisiensi yaitu daya turbin dibagi dengan daya air dikalikan 100 persen. Sehingga dapat ditentukan bahwa nilai kapasitas aliran mempengaruhi besarnya daya turbin karena putaran dan torsi yang berbeda dalam tiap pembebanan.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Daya maksimum dihasilkan dari pengujian turbin dengan dengan variasi sudu terpancing 8 mm, yaitu sebesar 4,204 Watt dengan pembebanan 8000 gram pada kapasitas 18,113L/s. Daya maksimum

berikutnya dihasilkan turbin sudu terpancing 4mm, terpancing 12 mm, tidak terpancing, dan plat datar.

- Efisiensi optimum dihasilkan dari pengujian turbin sudu terpancing 8 mm sebesar 85,77% dengan pembebanan 5000 gram kapasitas 11,024 L/s. Efisiensi optimum berikutnya dihasilkan turbin dengan sudu terpancing 4 mm, terpancing 12 mm, tidak terpancing, dan plat datar.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang pengembangan variasi sudu penampang v terpancing terhadap kinerja turbin reaksi *crossflow* poros horizontal, maka dapat diberikan saran yaitu :

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai visualisasi proses aliran fluida yang terjadi pada tiap variasi sudu terpancing dan bukaan katup tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- Damastuti, A. P. (1997). Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. *Wacana*, 7(8), 11–12.
- ESDM, K. (2020). Capaian Kinerja 2019 dan Program 2020. *Kementrian ESDM*, 16. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-capaian-kinerja-2019-dan-program-2020.pdf>
- Experiment, T. (2011, Maret 19). *DESAIN TURBIN VORTEX*. Dipetik Desember 12, 2020, dari draftermania.blogspot.com: <http://draftermania.blogspot.com/2011/03/contoh-hasil-gambar-desain-turbin.html>
- Fauzi & Adiwibowo 2020. (2020). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Diameter Luar Dan Dalam Sudu Plat Datar Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Cross Flow Poros Horizontal. *Jurnal Teknik Mesin, Vol 08 No*, 77–89.
- Insanto & Adiwibowo 2020. (2017). Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Sudu Berpenampang Datar Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Reaksi Crossflow Poros Horizontal. *Jurnal Teknik Mesin, 08(01)*, 93–102.
- Jasa, L., Priyadi, A., & Purnomo, M. H. (2014). An alternative model of overshot waterwheel based on a tracking nozzle angle technique for hydropower converter. *International Journal of Renewable Energy Research*, 4(4), 1013–1019. <https://doi.org/10.20508/ijrer.36821>
- Muluk, n. (2015, Agustus 28). *macam turbin*. Dipetik Desember 12, 2020, dari <http://nizammuluk.blogspot.com/>: <http://nizammuluk.blogspot.com/2015/08/macam-turbin.html>

- Munson, B. R., Young, D. F., & Okiishi, T. H. (2009). *Fundamentals Of Fluid Mechanics*. United States of America : John Wiley & Sons, Inc.
- Prambanan, M. M. (2017, November 10). *makalah bab turbin*. Dipetik Desember 10, 2020, dari mcpprambanan.wordpress.com:
<https://mcpprambanan.wordpress.com/2017/05/20/makalah-bab-turbin/>
- Riadi, M. (2016, Oktober 17). *Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)*. Dipetik Desember 15, 2020, dari www.kajianpustaka.com:
<https://www.kajianpustaka.com/2016/10/pembangkit-listrik-tenaga-mikro-hidro.html>
- STT-PLN. (2012, Februari 15). *Pendahuluan Turbin Kaplan, Pelton, Fransis*. Dipetik Desember 12, 2020, dari hydropowerplantstpln.blogspot.com:
<http://hydropowerplantstpln.blogspot.com/2012/02/pelatihan-di-bandung.html>
- Sudrajat. (2017, April 17). *Jenis Turbin Air*. Dipetik Desember 10, 2020, dari tulisanazat.blogspot.com:
<https://tulisanazat.blogspot.com/2017/04/jenis-jenis-turbin-air.html>
- Sutrimo & Adiwibowo 2019. (n.d.). *Studi eksperimental pengaruh variasi jumlah sudu berpenampang l horizontal dian sutrimo priyo heru adiwibowo abstrak*.
- Yoga & adiwibowo. (2020). *Eksperimental Pengaruh Variasi Sudut Sudu Berpenampang Segitiga Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Crossflow Poros Horizontal*. 9500.
<http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>
- Yuniarti, E. (2012). Rancangan Parameter Turbin Crossflow Generator Sikron Pada Pltmh. *Berkala Teknik*, 2(4), 1–8