

UJI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI RASIO PANJANG SUDU PENGGANGGU DENGAN SUDU UTAMA SETENGAH LINGKARAN TERHADAP KINERJA TURBIN CROSSFLOW POROS HORIZONTAL

Hindriani Nur Endarti

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email : hindriani.17050754047@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 pokok yang tidak dapat dipisahkan dari manusia. Sedangkan seiring berjalannya waktu, sumber energi konvensional semakin menipis. Turbin air adalah salah satu alat yang bisa mengonversi energi air menjadi energi gerak yang akan membangkitkan listrik. Namun, daya yang dihasilkan turbin *crossflow* cenderung rendah sehingga perlu adanya pengembangan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu yang memiliki daya dan efisiensi terbaik. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan memvariasikan rasio panjang sudu pengganggu dengan sudu utama setengah lingkaran terhadap turbin *crossflow* poros horizontal. Variasi rasio panjang sudu pengganggu yang akan digunakan pada penelitian ini memiliki nilai 1 : 4, 1,5 : 4, dan 2 : 4 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 sebesar 500 gram, 1000 gram, 1500 gram, dan seterusnya sampai turbin berhenti berputar. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 memiliki daya tertinggi dibandingkan turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4 dan 2 : 4. Daya tertinggi dihasilkan pada kapasitas 18,113 L/s, dengan daya turbin sebesar 4,461 Watt di pembebanan 9000 gram. Efisiensi paling tinggi juga dihasilkan oleh turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 pada kapasitas 11,024 L/s, dengan nilai efisiensi sebesar 96,20% di beban 5000 gram.

Kata kunci : Turbin Crossflow, Kinerja, Sudu Pengganggu.

Abstract

Energy is a basic requirement that cannot be separated from human-life. Meanwhile, conventional energy sources are dwindling because of conventional energy sources are non-renewable energy sources. A water turbine is a device that can convert water energy into motion energy which will generate electricity. However, the power produced by the crossflow turbine tends to be low, so it is necessary for development. The purpose of this study was to determine the turbine with the length-ratio of the interruption blades which has the most optimal power and efficiency. This research uses an experimental method by varying the length-ratio of the interruption blade with the half-circular main blade to the horizontal shaft crossflow turbine. The variation of the interruption blade length-ratio that will be used in this study has values: 1 : 4, 1.5 : 4, and 2 : 4 which will be tested by variations in water with 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 loading variation is 500 grams, 1000 grams, 1500 grams, and so on until the turbine stops rotating. The results of this study showed that a turbine with a interruption blade length ratio of 1.5 : 4 has the highest power compared to a turbine with a length ratio of 1 : 4 and 2 : 4. The highest power is produced at a capacity of 18,113 L/s, with a turbine power of 4,461 watts at a load of 9000 grams. The highest efficiency is also produced by turbine with a blade length ratio of 1.5 : 4 at a capacity of 11.024 L/s, with an efficiency value of 96.20% at a loading of 5000 grams.

Keywords : Crossflow Turbine, Performance, Interruption Blade.

Pendahuluan

Energi merupakan suatu kebutuhan pokok yang tak terpisahkan dari manusia. Hampir semua sektor dalam kehidupan ini membutuhkan energi untuk mencukupi kebutuhan-kebutuhan manusia. Sedangkan seiring berjalannya waktu, sumber energi konvensional seperti minyak bumi dan batu bara semakin menipis, hal tersebut dikarenakan sumber-sumber energi

konvensional tersebut merupakan sumber energi yang tidak dapat terbarukan. Artinya sumber energi seperti ini suatu saat akan habis. Hal tersebut mendorong kita untuk beralih dan mencari energi alternatif.

Listrik adalah sumber daya yang paling banyak digunakan karena memiliki banyak fungsi, di antaranya dalam menunjang kehidupan manusia, listrik digunakan pada alat-alat elektronik dan alat lainnya yang membutuhkan listrik. Listrik menopang kelangsungan

di berbagai bidang, seperti halnya bidang industri, bidang pendidikan, dan lain sebagainya. Dengan demikian listrik ditempatkan pada posisi pertama sebagai kebutuhan primer bangsa. Namun hal ini berbanding terbalik dengan terbatasnya bahan bakar yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik, karena pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil masih sangat diandalkan.

Berkurangnya produksi energi fosil terutama minyak bumi serta komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, mendorong Pemerintah untuk meningkatkan peran energi baru dan terbarukan secara terus menerus sebagai bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Sesuai PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% di 2050. Potensi energi terbarukan Indonesia cukup besar untuk mencapai target baruan energi primer (Dewan Energi Nasional 2019).

Menurut (Dewan Energi Nasional, 2019) tenaga air adalah energi yang bisa diperbarui tertinggi di urutan ke-2 yang memiliki potensi sampai 94,3 GW setelah energi Surya yang menduduki posisi pertama dengan potensi 207,8 GWp. Karena Indonesia mempunyai perairan yang luas sekitar 6,4 juta km² atau 77% dari total seluruh wilayah Indonesia. Karena itu, potensi Indonesia untuk membuat pembangkit listrik tenaga air adalah salah satu proyek yang sangat bermanfaat bagi masa depan negara.

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro merupakan pembangkit listrik yang bekerja dengan cara debit air menghantam turbin lalu turbin bergerak dan dari gerak turbin tersebut menghasilkan arus listrik. Arus listrik dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan listrik suatu wilayah. PLTMH merupakan salah satu sumber energi solutif yang dapat diperbarui untuk mengurangi penggunaan energi fosil seperti minyak bumi dan batu bara yang semakin hari semakin menipis. Salah satu komponen penting yang dibutuhkan untuk membangun PLTMH merupakan turbin.

Dalam penelitian (Rohermanto, 2007) yang membahas tentang Pembangkit Listrik Mikro Hidro (PLTMH), "PLTMH secara bahasa memiliki arti mikro adalah kecil dan hydro adalah air, maka dapat dikatakan bahwa mikro hydro adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). PLTMH merupakan pembangkit listrik skala kecil, hal ini disebabkan oleh pembangkit tenaga listrik ini memanfaatkan aliran air berskala kecil seperti sungai atau irigasi sebagai sumber tenaga untuk memutar turbin dan disalurkan di generator. Pada dasarnya di mana ada air mengalir dengan ketinggian minimal 2,5 meter dengan debit 250 liter/detik, maka di situ bisa dibangun PLTMH". Selain itu, PLTMH tidak

memerlukan sumber air besar seperti waduk yang digunakan oleh PLTA.

Turbin *Crossflow* merupakan jenis turbin impuls yang juga dikenal juga dengan nama turbin Michell-Banki. Juga terkenal dengan nama turbin *Osberger* yang merupakan perusahaan yang memproduksi turbin *Crossflow*. Turbin *Crossflow* dapat dioperasikan pada debit 20 liter/s hingga 10 m³/s dengan ketinggian jatuh air antara 1 m sampai 200 m. (Laksmiana et al., 2018).

Pemakaian jenis Turbin *Crossflow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan jenis turbin mikro hidro lainnya. Pada kondisi daya yang sama turbin ini mempunyai beberapa kelebihan. Kelebihan pertama adalah hemat biaya pembuatan. Dikarenakan ukuran Turbin *Crossflow* lebih kecil dan praktis dibanding turbin lainnya. Dengan ukuran yang kecil, bisa disimpulkan dalam pembuatannya tidak memerlukan bahan-bahan yang terlalu banyak dan biaya yang besar. Sedangkan kelebihan yang kedua adalah efisiensi. Efisiensi rata-rata turbin ini tergolong tinggi hal ini dikarenakan pemanfaatan aliran air pada turbin ini dilakukan dua kali. Pertama adalah ketika air masuk pertama kali menumbuk sudu, yang kedua adalah daya dorong air pada sudu ketika air akan meninggalkan *runner*. Adanya kerja turbin air seperti ini ternyata menguntungkan dari segi efektifitas.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Pramesti, 2018) dengan judul "Analisa Pengaruh Sudut Sudu Terhadap Kerja Turbin Kinetik Poros Horizontal dan Vertikal". Turbin kinetik pada penelitian ini menggunakan variasi poros vertikal dan horizontal. Penelitian ini memiliki kesimpulan jika turbin bertipe poros horizontal memiliki kinerja yang sedikit lebih baik dibandingkan turbin poros vertikal.

Dalam penelitian yang telah dilaksanakan oleh (Ruing et al., 2019) yang berjudul "Analisis dan Perbandingan Segitiga Kerja: Turbin Sudu Setengah Lingkaran, Sudu Segitiga Dan Sudu Sirip Untuk Menghasilkan rpm yang Tinggi". Dari hasil penelitian ini pada sudu turbin setengah lingkaran, luas segitiga kerja menghasilkan rpm yang makin besar, pada sudu turbin segitiga, luas segitiga kerja pada model sudu segitiga tidak berpengaruh, dan pada sudu turbin sirip, luas segitiga kerja pada model sudu segitiga tidak berpengaruh.

Dalam penelitian (Insanto & Adiwibowo, 2017) yang berjudul "Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Diameter Luar dan Dalam Sudu Setengah Lingkaran Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Cross Flow Poros Horizontal" memiliki hasil bahwa turbin rasio diameter 0.6 menghasilkan daya paling maksimum dan efisiensi paling optimum dari pada turbin lainnya, yaitu turbin dengan rasio diameter 0.5, 0.65, dan 0.7.

Daya maksimum yang didapatkan turbin dengan rasio diameter 0.6 terdapat di kapasitas 14.32 L/s dan beban 5500 gram, mempunyai daya senilai 2,86 Watt. Efisiensi optimum juga didapatkan oleh rasio diameter turbin 0.6 di kapasitas 14.32 L/s di beban 5500 gram mendapatkan efisiensi 74,18%.

Di penelitian yang dilakukan oleh (Fauzy & Adiwibowo, 2020) yang memiliki judul “Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Diameter Luar dan Dalam Sudu Plat Datar Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Cross Flow Poros Horizontal” dilakukan menggunakan metode eksperimen dengan variasi rasio diameter sudu berpenampang plat datar pada turbin *crossflow* poros horizontal. Jumlah sudu yang digunakan adalah 12 dan rasio diameter (D_2/D_1) yang digunakan adalah 0.5, 0.6, 0.65, 0.7 yang akan diuji dengan variasi kapasitas air sebesar 14.32 L/s, 11.80 L/s, dan 9.85 L/s dan variasi pembebanan sebesar 500 gram, 1000 gram, 1500 gram, dan seterusnya sampai turbin berhenti berputar. Hasil dari penelitian didapatkan turbin dengan rasio diameter 0.6 memiliki daya tertinggi dan efisiensi yang paling optimal daripada turbin dengan rasio diameter 0.5, 0.65 dan 0.7.

Dalam penelitian oleh (Anam & Adiwibowo, 2020) yang berjudul “Experimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Setengah Lingkaran Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Crossflow Poros Horizontal” penelitian ini menggunakan 3 buah turbin *crossflow* bersudu 4, 6, dan 8. Daya dan efisiensi yang paling optimal didapatkan oleh turbin dengan sudu 6. Daya tertinggi didapatkan oleh kapasitas aliran 11,010 L/s di beban 6500 gram, turbin mendapatkan daya 2,650 Watt. Efisiensi paling optimum didapatkan di kapasitas 11,010 L/s di beban 6500 gram menghasilkan hasil efisiensi senilai 48,14%.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Pribadi & Siregar, 2019) yang berjudul “Pengaruh Rasio Luas Blade Utama Dengan Blade Pengganggu Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius” menyatakan bahwa turbin angin yang digunakan dalam penelitian ini memiliki diameter 30 cm dan ketinggian 30 cm. Sedangkan variasi rasio luas blade utama dengan blade pengganggu adalah 1 : 6, 2 : 6, 3 : 6, 4 : 6. Hasil penelitian tentang variasi rasio luas antara blade utama dengan blade pengganggu pada turbin angin savonius menunjukkan daya maksimal yang diperoleh pada kecepatan 6 m/s dengan beban 4750 gram sebesar 2,88 watt dan efisiensi maksimal turbin angin sebesar 26,4 % dengan menggunakan variasi rasio luas blade pengganggu dengan blade utama 2 : 6.

METODE

• Jenis Penelitian

Metode eksperimen adalah metode yang dipakai di studi penelitian ini. Metode eksperimen digunakan untuk mencari hubungan sebab akibat (aksi-reaksi) antar beberapa faktor yang saling berkaitan. Turbin yang memiliki variasi rasio panjang sudu pengganggu dengan sudu utama setengah lingkaran menjadi pertimbangan utama bagi peneliti untuk mencari hasil daya dan efisiensi terbaik turbin.

• Variabel Penelitian

➤ Variabel Bebas

Variabel bebas (*independent*) penelitian ini adalah variasi rasio panjang sudu pengganggu pada sudu utama yaitu 1 : 4, 1,5 : 4, dan 2 : 4.



Gambar 1. Turbin *Crossflow* dengan sudu pengganggu pada sudu utama berpenampang setengah lingkaran

➤ Variabel Terikat

Dalam penelitian ini variabel terikat atau variabel yang dipengaruhi merupakan daya dan efisiensi dari turbin *crossflow* poros horizontal.

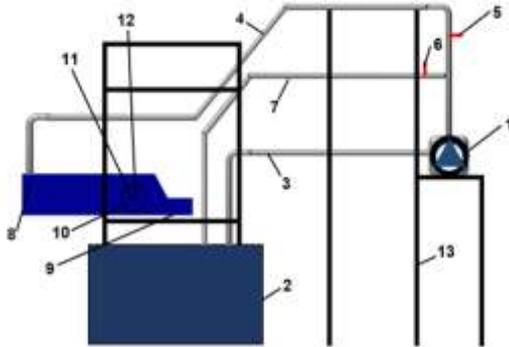
➤ Variabel Kontrol

Variabel yang dikendalikan di penelitian ini yaitu:

- Fluida yang dipakai adalah air.
- Kapasitas atau debit aliran air yang digunakan selama pengujian yaitu sebesar 9,572 L/s, 11,024 L/s, 14,322 L/s, 16,152 L/s, dan 18,113 L/s.
- Turbin yang dipakai adalah turbin *crossflow* dengan jumlah 6 sudu utama dengan diameter 16 cm dan tinggi 15 cm dengan poros horizontal.
- Bukaan katup 130°, 140°, 150°, 160°, dan 170°.
- Besaran beban 500 g, 1000 g, 1500 g, dan 2000 g dan seterusnya sampai turbin berhenti berotasi.

• Peralatan dan Instrumen Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :



Gambar 2. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Keterangan :

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

• Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data penelitian ini dilaksanakan dengan melakukan pengujian dan pengukuran objek penelitian, lalu dilanjutkan dengan pencatatan hasil pengujian.

• Teknik Analisa Data

Dalam penelitian ini analisa data dilakukan dengan cara mengambil data dengan memakai alat ukur. Lalu dari hasil pengukuran tersebut, data dihitung secara teoritis dan ditampilkan berupa gambar grafik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

• Hasil Penelitian

Pengambilan data dilakukan dengan pengambilan data rata-rata dari 3 kali proses percobaan, Pengambilan data bertujuan supaya data yang didapatkan valid atau sesuai keadaan sebenarnya. Data ini diperoleh dari hasil eksperimen turbin *crossflow* poros horizontal dengan sudu utama setengah lingkaran dengan variasi rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4, 1,5 : 4, dan 2 : 4.

Nilai yang didapatkan dari proses perhitungan yaitu kapasitas air, daya air yang mengalir, gaya, torsi, kecepatan anguler, daya turbin, dan efisiensi turbin. Untuk memperoleh hasil di atas diperlukan beberapa perhitungan yaitu:

➤ Kapasitas 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 (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)

$$Q = \text{Kapasitas aliran (m}^3/\text{s)}$$

$$A = \text{luas penampang aliran (m}^2\text{)}$$

➤ 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 aliran (m/s)

➤ Gaya (F)

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

Keterangan :

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

➤ Torsi (T)

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

Keterangan :

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

➤ Kecepatan Anguler (ω)

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

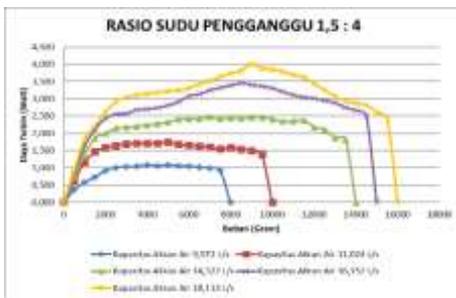
Keterangan :

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

- Daya Turbin (P_t)
 $P_t = T \cdot \omega$ (Pritchard, 2011:504)
 Keterangan :
 P_t = Daya turbin (Watt)
 T = Torsi (N.m)
 ω = Kecepatan angular (rad/s)
- Efisiensi Turbin (η)
 $\eta = \frac{P_t}{P_a} \cdot 100\%$ (Pritchard, 2011:505)
 η = Efisiensi turbin
 P_t = Daya turbin (Watt)
 P_a = Daya air (Watt)

• **Pembahasan**

- Pengaruh variasi kapasitas aliran air terhadap daya turbin pada variasi rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4



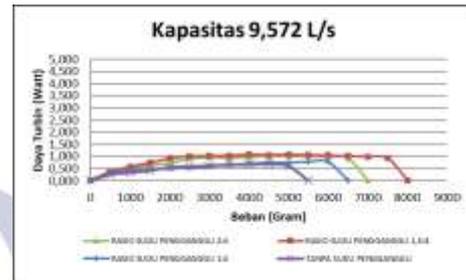
Gambar 3. Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Daya Turbin Pada Rasio Panjang Sudu Pengganggu 1,5 : 4

Berdasarkan gambar grafik 3, turbin dengan variasi rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 memiliki daya yang paling tinggi dibandingkan turbin yang lain, kenaikan nilai daya disebabkan juga oleh bertambahnya kapasitas air. Seperti yang terlihat pada gambar grafik 4, kapasitas aliran air 9,572 L/s meningkat pada pembebanan 4000 gram mendapatkan daya 1,081 Watt, lalu angka daya berkurang sampai di beban 8000 gram. Pada kapasitas 11,024 L/s pembebanan naik 5000 gram dan mendapatkan daya turbin sebesar 1,751 Watt, lalu daya berkurang hingga turbin terhenti di nilai beban 10000 gram. Daya turbin di kapasitas 14,322 L/s meningkat pada beban 7000 gram dengan daya senilai 2,470 Watt, lalu daya semakin berkurang sampai turbin terhenti pada beban 14000 gram. Kapasitas aliran air 16,152 L/s mengalami kenaikan daya pada beban 8500 gram sebesar 3,457 Watt, lalu mengalami penurunan dan berhenti pada pembebanan 15000 gram. Daya turbin dengan kapasitas aliran air 18,113 L/s mengalami peningkatan hingga beban 9000 gram dengan daya sebesar 4,002 Watt, lalu mengalami penurunan dan terhenti pada pembebanan 16000 gram.

Dari gambar 3 bisa disimpulkan jika kapasitas aliran air 18,113 L/s pada pembebanan 9000 gram memiliki daya maksimum yaitu 4,002 Watt. Hal ini dikarenakan

meningkatnya kapasitas membuat gaya tekan yang diberikan pada turbin juga bertambah besar. Hal ini membuat turbin tetap berputar meskipun pembebanan terus bertambah, namun di poin tertentu daya akan turun disebabkan karena semakin meningkatnya beban yang ditambahkan .

- Pengaruh Variasi Rasio Panjang Sudu Pengganggu Turbin Terhadap Daya Turbin pada Kapasitas Aliran Air 9,572 L/s

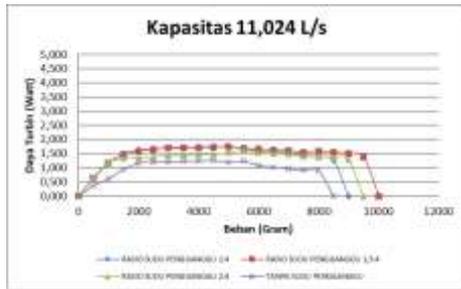


Gambar 4. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 9,572 L/s

Di gambar 4 bisa dilihat grafik yang didapatkan oleh turbin dengan variasi rasio panjang sudu pengganggu. Daya turbin pada rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4 meningkat sampai pembebanan 5500 gram dengan hasil daya sebesar 0,779 Watt. Setelah itu, daya berkurang hingga turbin berhenti berotasi pada pembebanan 6500 gram. Daya turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 mengalami penambahan daya pada 4000 gram senilai 1,081 Watt. Di penambahan beban selanjutnya senilai 8000 gram daya terus mengalami penurunan dan menyebabkan turbin berhenti. Daya turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 2 : 4 mengalami kenaikan daya sampai 4500 gram dengan daya sebesar 1,012 Watt. Selanjutnya nilai daya mulai berkurang dan mengakibatkan turbin berhenti di beban 7000 gram. Daya turbin tanpa sudu pengganggu mengalami kenaikan sampai beban 4500 gram dengan hasil sebesar 0,688 Watt, lalu mengalami penurunan dan terhenti pada beban 5500 gram.

Bisa disimpulkan jika turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 dan kapasitas 9,572 L/s pada beban 4000 gram mendapatkan nilai daya paling optimal senilai 1,081 Watt. Ini terjadi dikarenakan di kapasitas 9,572 L/s air dapat memutar turbin, dengan adanya penambahan beban yang meningkat menyebabkan daya berkurang pada saat tertentu.

- Pengaruh Variasi Rasio Panjang Sudu Pengganggu Turbin Terhadap Daya Turbin pada Kapasitas Aliran Air 11,024 L/s

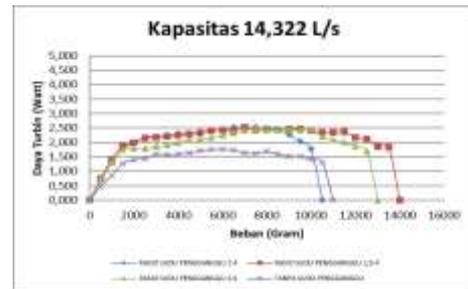


Gambar 5. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 11,024 L/s

Dari grafik di atas bisa dilihat daya turbin pada rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4 daya meningkat pada pembebanan 4500 gram sebesar 1,747 Watt. Setelah itu, daya turbin perlahan-lahan berkurang dan terhenti di 9000 gram. Daya turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 juga mengalami peningkatan nilai daya sampai pembebanan 5000 gram sebesar 1,751 Watt. Lalu, daya turbin semakin menurun dan turbin berhenti pada beban 10000 gram. Kemudian, pada rasio panjang sudu pengganggu 2 : 4 daya turbin naik hingga beban 5500 gram dengan besar daya 1,625 Watt. Lalu daya menurun secara berlanjut dan terhenti pada beban 9500 gram. Pada turbin tanpa sudu pengganggu daya turbin penambahan daya hingga pembebanan 4500 gram sebesar 1,255 Watt. Lalu, daya menurun secara bertahap dan berhenti di beban 8500 gram.

Maka, dapat diambil kesimpulan bahwa turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 pada kapasitas air 11,024 L/s dan penambahan beban 4500 mendapatkan hasil daya maksimum senilai 1,751 Watt. Hal ini terjadi karena kapasitas aliran air yang naik menyebabkan gaya tekan air mampu membuat turbin berotasi walaupun beban semakin meningkat. Meskipun begitu, di saat tertentu daya akan berkurang karena meningkatnya beban.

- Pengaruh Variasi Rasio Panjang Sudu Pengganggu Turbin Terhadap Daya Turbin pada Kapasitas Aliran Air 14,322 L/s

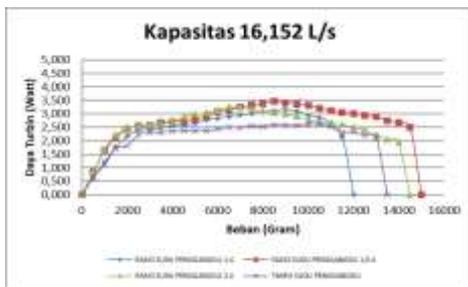


Gambar 6. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 14,322 L/s

Dari gambar grafik 6 menjelaskan jika daya yang didapatkan setiap sudu pengganggu turbin, turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4 mengalami kenaikan daya hingga beban 7000 gram dengan daya sebesar 2,522 Watt. Kemudian turbin mengalami pengurangan daya hingga terhenti pada pembebanan 10500 gram. Daya turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 mengalami kenaikan pada beban 7000 gram sebesar 2,528 Watt. Setelah itu putaran turbin perlahan-lahan mengalami pengurangan kecepatan hingga tidak berputar pada pembebanan 14000 gram. Daya turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 2 : 4 mengalami peningkatan hingga pembebanan 7500 gram sebesar 2,465 Watt, lalu menurun secara bertahap dan tidak berputar di pembebanan 13000 gram. Pada turbin tanpa sudu pengganggu, daya naik sampai pembebanan 6000 dan senilai 1,758 Watt, lalu menurun dan berhenti pada beban 11000 gram.

Pada grafik di atas dapat disimpulkan jika turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 di kapasitas aliran 14,322 L/s dan di beban 7000 gram mendapatkan daya tertinggi senilai 2,528 Watt. Hal ini disebabkan oleh kapasitas air yang naik sehingga tekanan air bisa membuat turbin berotasi walaupun beban semakin ditambah. Jika beban yang diberikan semakin besar maka pada saat tertentu daya akan turun.

- Pengaruh Variasi Rasio Panjang Sudu Pengganggu Turbin Terhadap Daya Turbin pada Kapasitas Aliran Air 16,152 L/s

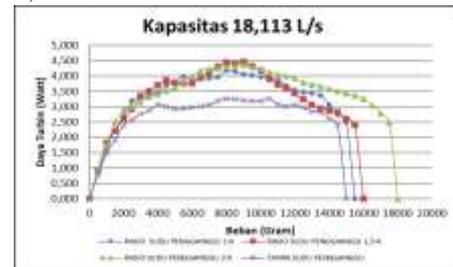


Gambar 7. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 16,152 L/s

Di grafik 7 juga menunjukkan bahwa daya turbin yang didapatkan turbin dengan sudu pengganggu. Turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4, daya meningkat sampai beban 9000 gram sebesar 3,148 Watt. Lalu, daya turbin turun hingga terhenti pada 12000 gram. Daya turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 naik pada pembebanan 8500 gram mendapatkan daya senilai 3,457 Watt. Kemudian rotasi turbin melambat sampai turbin terhenti di berat beban 15000 gram. Turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 2 : 4, daya turbin meningkat sampai pembebanan 6500 dan menghasilkan nilai 3,259 Watt, lalu daya kian turun dan turbin berhenti pada beban 14500 gram. Pada turbin tanpa sudu pengganggu daya pada 10500 gram daya naik mampu mendapatkan daya 2,628 Watt, lalu daya turun dan berhenti di pembebanan 13500 gram.

Di gambar grafik di atas bisa diambil konklusi bahwa turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 pada kapasitas aliran air 16,152 L/s dan beban 8500 gram mendapatkan daya terbaik yaitu 3,457 Watt. Hal ini karena air mendorong sudu turbin untuk berputar meskipun beban semakin ditambah. Semakin besar beban yang diberikan maka daya akan semakin menurun.

- Pengaruh Variasi Rasio Panjang Sudu Pengganggu Turbin Terhadap Daya Turbin pada Kapasitas Aliran Air 18,113 L/s



Gambar 8. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 18,113 L/s

Di gambar 8 juga bisa dilihat grafik yang dihasilkan setiap sudu pengganggu turbin, daya turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4 mengalami peningkatan sampai pembebanan 8000 gram senilai 4,189 Watt. Lalu, daya turbin turun hingga berhenti berputar di beban 15500 gram. Turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 pada beban 9000 gram daya yang dihasilkan senilai 4,461 Watt. Lalu semakin lama putaran turbin perlahan turun dan terhenti di beban 16000 gram. Di turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 2 : 4 daya naik hingga pembebanan 9000 menghasilkan daya sebesar 4,362 Watt, yang kemudian dengan penambahan beban berkala menyebabkan turbin berhenti di beban 18000 gram. Pada turbin tanpa sudu pengganggu daya naik sampai pembebanan 8000 menghasilkan 3,269 Watt, lalu menurun bertahap dan berhenti di pembebanan 15000 gram.

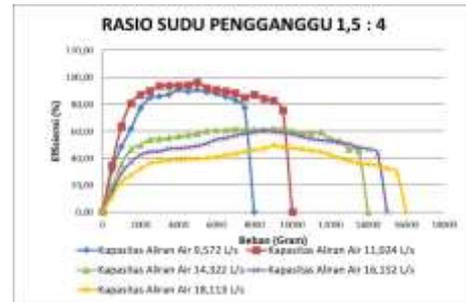
Berdasarkan gambar 8, kesimpulan yang bisa diambil adalah turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 di kapasitas aliran 18,113 L/s dan beban 9000 gram mendapat daya tertinggi yaitu 4,461 Watt. Hal ini dipengaruhi oleh semakin besarnya gaya dorong yang dihasilkan kapasitas air dan membuat gaya tekan makin besar sehingga menyebabkan turbin berputar. Tetapi, daya akan menurun pada titik tertentu akibat semakin bertambahnya beban yang diberikan.

Berdasarkan gambar 4, 5, 6, 7, dan 8 dapat diketahui jika dengan memvariasikan rasio panjang sudu pengganggu pada sudu turbin *crossflow* poros horizontal memperoleh hasil kinerja turbin yang berbeda. Pada gambar (4) kapasitas 9,572 L/s, variasi rasio panjang sudu pengganggu memperoleh hasil daya yang cenderung tidak tinggi. Hal ini disebabkan karena di kapasitas tersebut memiliki aliran air yang kurang deras, sehingga gaya dorong yang dihasilkan cenderung kecil untuk mendorong turbin agar berputar. Dengan pengaturan kapasitas aliran yang dilakukan dengan cara memutar katup *bypass* di kerangka peralatan seperti

pada gambar (5) kapasitas aliran 11,024 L/s menunjukkan bahwa daya mengalami peningkatan dari pada kapasitas aliran sebelumnya, variasi yang dilakukan pada rasio panjang sudu pengganggu juga meningkatkan nilai daya yang dihasilkan turbin. Meningkatnya nilai daya turbin juga terjadi pada gambar (6) kapasitas aliran 14,322 L/s. Di kapasitas ini kecepatan air lebih kencang dan menyebabkan daya air semakin tinggi sehingga gaya dorong semakin besar untuk mendorong turbin. Daya turbin juga kian bertambah naik pada gambar (7) di kapasitas aliran air 16,152 L/s kenaikan kapasitas mengakibatkan aliran air semakin deras dan tinggi menyebabkan setengah dari diameter turbin terendam. Seiring pengaturan katup kapasitas aliran pada skema pompa terlihat pada gambar nomor (8). Kapasitas 18,113 L/s daya yang dihasilkan turbin mengalami peningkatan dari pada kapasitas aliran sebelumnya. Hal itu disebabkan daya air yang semakin besar sehingga gaya dorong terhadap turbin juga semakin besar sehingga membuat daya turbin meningkat. Variasi pada rasio panjang sudu pengganggu juga mengalami peningkatan daya di kapasitas aliran ini, pada 18000 gram turbin berhenti. Hal ini terjadi karena pada kapasitas 18,113 L/s memiliki gaya dorong aliran yang tinggi sehingga daya yang dihasilkan juga tinggi.

Berdasarkan analisis di atas bisa diambil kesimpulan bahwa variasi rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 pada turbin *crossflow* memiliki daya yang paling optimum, selanjutnya ditempati oleh variasi rasio panjang sudu pengganggu 2 : 4, dan daya terendah didapatkan oleh turbin variasi rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4. Pada kapasitas 18,113 L/s turbin yang bisa mendapatkan daya maksimum yaitu turbin rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4, terbukti seperti yang bisa dilihat di grafik jika pada kapasitas 18,113 L/s turbin mendapatkan daya paling tinggi senilai 4,461 Watt di beban 9000 gram, hal ini dikarenakan aliran air yang menghantam sudu bisa diubah secara benar dan gaya dorong yang menghambat putaran turbin menjadi lebih kecil dikarenakan sudu pengganggu 1,5 : 4 menyebabkan air menerpa bagian luar sudu lebih baik sehingga gaya dorong air bertambah besar. Turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4 dan 2 : 4 mempunyai daya turbin yang lebih rendah jika dari pada variasi rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 karena air kurang berpusat pada sudu sehingga daya dorong air pun tidak optimal.

- Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Efisiensi Turbin pada Rasio Panjang Sudu Pengganggu 1,5 : 4

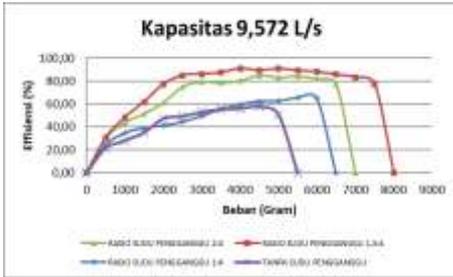


Gambar 9. Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Efisiensi Turbin dengan Rasio Panjang Sudu Pengganggu 1,5 : 4

Gambar 9 menunjukkan jika di kapasitas 9,572 L/s efisiensi meningkat di berat beban 4000 gram, efisiensi turbin mencapai nilai 90,86%. Semakin meningkatnya pembebanan menyebabkan menurunnya efisiensi pada titik tertentu dan berhentinya turbin di beban 8000 gram. Efisiensi turbin dengan kapasitas aliran air 11,024 L/s meningkat pada pemberian beban 5000 gram dengan nilai efisiensi 96,20%, lalu nilai efisiensi perlahan menurun sampai turbin berhenti di 10000 gram. Efisiensi turbin di kapasitas aliran air 14,322 L/s meningkat di 7000 gram dan mendapatkan nilai 63,44%, lalu menurun dan terhenti pada pembebanan 14000 gram. Pada kapasitas aliran air 16,152 L/s efisiensi naik sampai pembebanan 8500 gram dengan nilai sebesar 60,48%, kemudian mengalami penurunan dan berhenti di pembebanan 15000 gram. Di turbin pada kapasitas aliran air 18,113 L/s efisiensi naik sampai beban 9000 gram sebesar 55,35%, lalu kenaikan beban selanjutnya menyebabkan turunnya efisiensi dan berhentinya turbin pada pembebanan 16000 gram.

Bisa disimpulkan jika kapasitas aliran air 11,024 L/s pada beban 5000 gram memiliki efisiensi tinggi yaitu 96,20%. Hal tersebut diakibatkan oleh besarnya kecepatan air, sehingga meskipun beban yang ditambahkan semakin besar tetapi gaya yang diberikan tetap mampu memutar turbin. Walaupun begitu karena semakin besar pembebanan yang diberikan membuat efisiensi turun.

- Variasi Rasio Panjang Sudu Pengganggu Sudu Turbin Terhadap Efisiensi Turbin pada Kapasitas Aliran 9,572 L/s

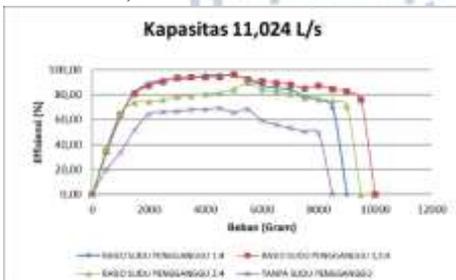


Gambar 10. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 9,572 L/s

Grafik 10 menunjukkan efisiensi yang diperoleh turbin rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4, 1,5 : 4, dan 2 : 4. Efisiensi turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4 meningkat sampai berat beban 5500 gram presentase efisiensi sebesar 65,47%. Setelah pembebanan bertambah, efisiensi menjadi turun dan turbin terhenti di beban 6500 gram. Efisiensi turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 naik pada beban 4000 gram dengan angka efisiensi 90,86% lalu efisiensi bertahap turun dan mengakibatkan turbin diam di 8000 gram. Pada turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 2 : 4 efisiensi meningkat di beban 4500 gram mencapai 85,08%, setelah itu nilai efisiensi turun dan berhenti di beban 7000 gram. Efisiensi turbin tanpa sudu pengganggu meningkat di pembebanan 4500 gram sebesar 57,84%, di beban 5500 gram efisiensi turun dan membuat turbin berhenti berputar.

Maka dapat disimpulkan jika turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 dan kapasitas 9,572 L/s pada pembebanan 4000 gram mendapatkan nilai efisiensi tertinggi yaitu 90,86%.

- Pengaruh Variasi Rasio Panjang Sudu Pengganggu Turbin Terhadap Efisiensi Turbin pada Kapasitas Aliran Air 11,024 L/s



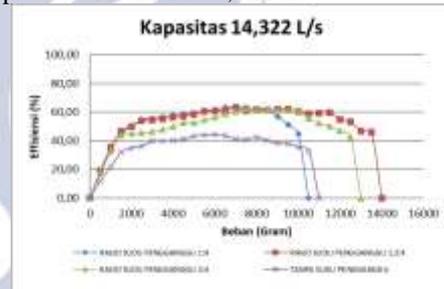
Gambar 11. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 11,024 L/s

Di gambar 11 bisa diketahui efisiensi yang didapatkan oleh turbin rasio panjang sudu pengganggu

1 : 4 meningkat hingga pembebanan 4500 gram senilai 95,98%, kemudian efisiensi menurun hingga turbin terhenti di berat beban 9000 gram. Efisiensi turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 naik di pembebanan 5000 gram sebesar 96,20%, lalu efisiensi terus menurun sampai terhenti di pembebanan 10000 gram. Efisiensi turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 2 : 4 mengalami peningkatan pada pembebanan 5500 gram senilai 89,30%, kemudian di pembebanan 9500 gram efisiensi turun dan turbin berhenti. Peningkatan efisiensi turbin tanpa sudu pengganggu dialami pada beban 4500 gram dengan efisiensi 69,05%, lalu efisiensi menurun dan berhenti pada pembebanan 8500 gram.

Dapat diambil kesimpulan bahwa turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 dan kapasitas aliran air 11,024 L/s di berat 5000 gram mempunyai efisiensi paling baik senilai 96,20%.

- Pengaruh Variasi Rasio Panjang Sudu Pengganggu Sudu Turbin Terhadap Efisiensi Turbin pada Kapasitas Aliran Air 14,322 L/s

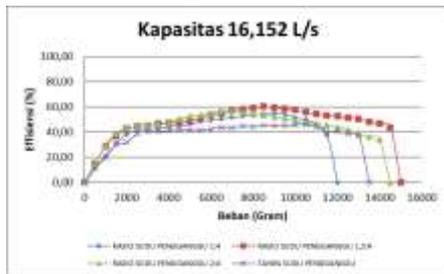


Gambar 12. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 14,322 L/s

Berdasarkan gambar 12 bisa dilihat pula grafik yang didapatkan oleh turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4, 1,5 : 4, dan 2 : 4. Efisiensi turbin rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4 mengalami kenaikan yang signifikan sampai di beban 7000 gram dengan hasil efisiensi 63,28%, namun pada pembebanan 10500 gram turbin berhenti berputar dan efisiensi ikut turun. Pada turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 efisiensi naik pada pembebanan 7000 gram senilai 63,44%, lalu nilai efisiensi semakin turun dan berhenti berotasi di berat pembebanan 14000 gram. Efisiensi turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 2 : 4 meningkat hingga pembebanan 7500 gram dan mencapai efisiensi 61,86%, lalu efisiensi menurun dan membuat turbin berhenti di berat beban 13000 gram. Efisiensi turbin tanpa sudu pengganggu nilainya naik sampai penambahan beban 6000 gram dengan efisiensi 44,11%, efisiensi lalu turun dan berhenti pada beban 11000 gram.

Bisa disimpulkan dari penjelasan di atas bahwa turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 dan kapasitas aliran air 14,322 L/s di penambahan beban sampai 7000 gram memperoleh efisiensi dengan hasil 63,44%.

- Pengaruh Variasi Rasio Panjang Sudu Pengganggu Turbin Terhadap Efisiensi Turbin pada Kapasitas Aliran Air 16,152 L/s

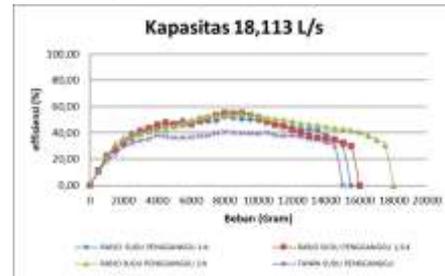


Gambar 13. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 16,152 L/s

Di gambar 13 ditunjukkan grafik yang dihasilkan oleh turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4, 1,5 : 4, dan 2 : 4. Efisiensi turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4 mengalami kenaikan di pembebanan 9000 gram dengan efisiensi 54,28%, selanjutnya efisiensi turun sampai turbin berhenti berotasi di beban 12000 gram. Di turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 efisiensi naik pada beban 8500 gram senilai 60,48%, lalu efisiensi perlahan turun sampai turbin perlahan terhenti di penambahan beban 15000 gram. Pada turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 2 : 4 dan pembebanan 6500 gram mendapatkan efisiensi senilai 57,02%, lalu efisiensi turun dan tidak berputar lagi di pembebanan 14500 gram. Efisiensi turbin tanpa sudu pengganggu meningkat di pembebanan 10500 gram sebesar 45,98%, lalu efisiensi akan turun dan berhenti pada pembebanan 13500 gram.

Berdasarkan penjabaran di atas bisa diambil kesimpulan kalau turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 dan kapasitas aliran air 16,152 L/s di penambahan beban 8500 gram, efisiensi mencapai titik paling baik yaitu 60,48%.

- Pengaruh Variasi Rasio Panjang Sudu Pengganggu Turbin Terhadap Efisiensi Turbin pada Kapasitas Aliran Air 18,113 L/s



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

Gambar 14 menggambarkan hasil bahwa efisiensi yang diperoleh turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4, 1,5 : 4, dan 2 : 4. Efisiensi turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4 mengalami peningkatan pada beban 8000 gram menghasilkan efisiensi senilai 51,98%, lalu menurun sampai turbin berhenti berotasi pada penambahan berat beban 15500 gram. Efisiensi turbin pada rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 meningkat di pemberian beban 9000 gram senilai 55,35%, lalu efisiensi perlahan menurun dan menyebabkan turbin terhenti di pembebanan 16000 gram. Pada turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 2 : 4 efisiensi naik di beban 9000 gram senilai 54,12%, lalu efisiensi perlahan turun dan turbin berhenti di pemberian beban 18000 gram. Efisiensi turbin tanpa sudu pengganggu naik sampai pembebanan 8000 gram dengan efisiensi senilai 40,56%, di penambahan beban selanjutnya efisiensi perlahan turun dan membuat turbin tidak berotasi pada 15000 gram.

Dapat diambil konklusi bahwa turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 dan kapasitas aliran air 18,113 L/s di pemberian beban 9000 gram mendapatkan efisiensi yang terbaik yaitu 55,35%.

Dari gambar 10, 11, 12, 13, dan 14 dapat diketahui jika dengan melakukan variasi rasio panjang sudu pengganggu pada sudu utama turbin reaksi *crossflow* poros horizontal memiliki hasil yang berbeda – beda. Nilai efisiensi bertambah bersamaan dengan naiknya daya turbin di setiap kapasitas yang telah diatur. Pada grafik (10) pada bukaan katup di kapasitas aliran 9,572 L/s, rasio panjang sudu pengganggu mendapatkan hasil efisiensi cukup besar dan efisiensi dimiliki turbin cenderung naik. Ini terjadi disebabkan karena daya air yang didapatkan cukup kecil, karena rumus efisiensi adalah daya turbin dibagi dengan daya air dan dikalikan dengan 100% maka didapatkan hasil efisiensi yang cukup besar sebab nilai perbandingan antara daya turbin dan daya air yang diperoleh kecil. Efisiensi yang

diperoleh turbin mengalami peningkatan dengan bertambahnya kapasitas aliran yang dilakukan dengan mengatur katup saluran pipa balik pada pompa, hal ini bisa dilihat pada grafik (11). Adanya variasi panjang sudu pengganggu juga berpengaruh pada meningkatnya efisiensi. Nilai efisiensi yang diperoleh turbin turun dari kapasitas sebelumnya di grafik (12), pemanfaatan *inlet notch* menjadikan luas penampang aliran menjadi lebih konstan. Dengan adanya *inlet notch* ini mengakibatkan nilai daya air meningkat, tetapi karena semakin bertambahnya daya air sebaliknya, efisiensi semakin turun. Nilai efisiensi menjadi sedikit menurun dari kapasitas aliran air sebelumnya di grafik (13), hal ini disebabkan oleh naiknya daya air karena semakin bertambahnya kapasitas air. Nilai efisiensi kembali menurun sedikit di dalam gambar (14) dikarenakan oleh daya turbin yang lebih kecil dari daya air. Sesuai dengan rumus efisiensi yang dihasilkan dari daya turbin dibagi daya air dan dikalikan 100%. Maka jika daya air yang digunakan semakin besar sementara daya turbin yang dihasilkan tidak terlalu besar, efisiensi yang dihasilkan akan menurun.

Dari hasil yang telah dijabarkan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 pada turbin *crossflow* memiliki angka efisiensi yang paling tinggi, diteruskan oleh rasio panjang sudu pengganggu 2 : 4 dan efisiensi terendah dihasilkan oleh rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4. Pada saat kapasitas aliran 11,024 L/s turbin yang mendapatkan efisiensi paling optimum adalah turbin yang mempunyai rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4. Dapat dilihat di gambar jika pada kapasitas ini turbin dapat menggunakan aliran air dengan sangat baik dan menghasilkan efisiensi tertinggi yaitu sebesar 96,20% pada pembebanan 5000 gram. Hal ini dikarenakan kapasitas aliran air dan besar rasio panjang sudu pengganggu berpengaruh pada nilai daya dan efisiensi turbin, di sisi lain turunnya daya pada turbin disebabkan oleh semakin bertambahnya beban sehingga untuk menggerakkan turbin membutuhkan gaya yang lebih besar.

PENUTUP

Simpulan

Dari hasil penelitian, pengujian, dan analisa yang telah dilaksanakan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Daya maksimum dihasilkan dari pengujian turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4, lebih besar dibandingkan turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4 dan 2 : 4. Rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4 menghasilkan nilai daya 4,461

Watt dengan pembebanan 9000 gram pada kapasitas 18,113 L/s. Sedangkan, turbin dengan panjang sudu pengganggu 1 : 4 memiliki daya sebesar 4,189 Watt pada pembebanan 8000 gram dan turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 2 : 4 memiliki daya sebesar 4,362 Watt pada pembebanan 9000.

- Efisiensi optimum yang didapatkan oleh turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1,5 : 4, lebih besar dari turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 1 : 4 dan 2 : 4. Rasio panjang sudu pengganggu menghasilkan efisiensi sebesar 96,20% dengan pembebanan 5000 gram pada kapasitas 11,024 L/s. Sedangkan, turbin dengan panjang sudu pengganggu 1 : 4 memiliki hasil efisiensi senilai 95,98% di nilai beban 4500 gram dan turbin dengan rasio panjang sudu pengganggu 2 : 4 memiliki efisiensi sebesar 89,30% pada pembebanan 5500 gram.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh variasi rasio panjang sudu pengganggu dengan sudu utama setengah lingkaran terhadap kinerja turbin *crossflow* poros horizontal, maka saran yang dapat diberikan yaitu:

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk sudu pengganggu pada turbin dengan sudu utama setengah lingkaran dengan variasi sudu pengganggu yang berbeda.
- Pada penelitian selanjutnya diharapkan peralatan dan komponen yang menunjang proses penelitian lebih diperbaharui, hal ini dimaksudkan agar mempermudah dan memperlancar proses pengambilan data selama masa penelitian.

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 Mesin*, 08 No 01, 129–138.
- Dewan Energi Nasional, S. J. (2019). *Outlook Energi Indonesia* (S. Abdurrahman, M. Pertiwi, & Walujanto (eds.)). Outlook Energi Indonesia 2019.
- Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, K. E. (2019). *Statistik Ketenaga Listrikan Tahun 2018*. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Nomor 9). Sekretariat Jenderal Ketenagalistrikan.
- Fauzy, R. I., & Adiwibowo, P. H. (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, M. W., & Adiwibowo, P. H. (2017). Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Sudu Berpenampang Datar Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Reaksi Crossflow Poros Horizontal. *Jurnal Teknik Mesin*, 08(01), 93–102.
- Tim. (2013). *Pedoman Penulisan Skripsi*. Surabaya: Unesa
- Nasir, B. A. (2014). Design considerations of micro-hydro-electric power plant. *Energy Procedia*, 50, 19–29.
- Munson, B. R., Young, D. F., Okiishi, T. H., & Huebsch, W. W. (2009). *Fundamentals of Fluid Mechanics* 6th edititon. United State of America: John Wiley & Sonc Inc
- Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (2005). *Machine design*. In *Handbook of Machinery Dynamics (Issue I)*.
- Pramesti, Y. S. (2018). Analisa pengaruh sudut sudu terhadap kinerja turbin kinetik poros horisontal dan vertikal. *Jurnal Mesin Nusantara*, 1(1), 51.
- Pribadi, M. A., & Siregar, I. H. (2019). Muti Anggon Pribadi Indra Herlamba Siregar Abstrak. Pengaruh Rasio Luas Blade Utama Dengan Blade Pengganggu Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius, 07(02), 77–82.
- Pritchard, P. J. (2011). *Introduction to Fluid Mechanics* Eighth edition. Danver: John Wiley & Sons, Inc.
- Rohermanto, A. (2007). Pemantauan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). *Jurnal Pembangkit Listrik*, 4(4), 28–36.
- Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Pendidikan Kualitatif Kuantitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

