

PENGARUH VARIASI RASIO SUDU PENGGANGGU DENGAN SUDU UTAMA BERPENAMPANG PLAT DATAR TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN *CROSSFLOW* POROS HORIZONTAL

Usman

S1 Teknik Mesin Konversi Energi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail : usmanusman@mhs.unesa.ac.id

Priyo Heru Adiwibowo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id

Abstrak

Pertumbuhan jumlah penduduk yang semakin meningkat berbanding lurus dengan kebutuhan energi. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) ialah pembangkit listrik berskala kecil yang mempergunakan energi potensial air. Turbin *crossflow* menjadi alternatif dalam pembuatan PLTMH karena tergolong turbin *low head*. Kajian ini bertujuan guna untuk mengetahui pengaruh variasi rasio sudu pengganggu dengan sudu utama berpenampang plat datar terhadap daya dan efisiensi turbin *crossflow* poros horizontal. Kajian ini mempergunakan prosedur eksperimen dengan memvariasikan rasio sudu pengganggu dengan sudu utama sebesar 0, 0,25, 0,5, dan 0,75 dengan model penampang plat datar pada turbin *crossflow* poros horizontal. Jumlah sudu yang dipergunakan ialah 6 sudu utama dan 6 sudu pengganggu yang akan diuji dengan variasi kapasitas air sebesar 11,0231 L/s, 14,3205 L/s, 16,1506 L/s, 18,1116 L/s. dan variasi pembebanan untuk mendapatkan daya dan efisiensi. Didapatkan hasil penelitian turbin dengan rasio sudu pengganggu 0.75 memiliki kinerja yang paling optimal dibandingkan dengan rasio 0, 0.25, dan 0.5. Daya tertinggi diperoleh turbin dengan rasio sudu 0.75 pada kapasitas 18,1116 L/s dengan pembebanan 6500 gram sebesar 4,040 Watt. Efisiensi tertinggi diperoleh pada rasio sudu 0.75 pada kapasitas 11,0231 L/s dengan pembebanan 2000 gram sebesar 72,65%.

Kata Kunci: *Crossflow*, Daya, Efisiensi, Sudu Pengganggu, Turbin.

Abstract

The increasing population growth is directly proportional to the energy demand. Micro Hydro Power Plant (PLTMH) is a small-scale power plant that utilizes the potential energy of water. Crossflow turbine is an alternative in the manufacture of PLTMH because it is classified as a low head turbine. The purpose of this study was to determine the effect of variations in the ratio of the interfering blade with the main blade with a flat plate section on the power and efficiency of a horizontal axis crossflow turbine. This study uses an experimental method by varying the ratio of the interfering blade with the main blade of 0, 0.25, 0.5, and 0.75 with a flat plate cross-section model on a horizontal axis crossflow turbine. The number of blades used are 6 main blades and 6 interfering blades which will be tested with variations in water capacity of 11.0231 L/s, 14.3205 L/s, 16.1506 L/s, 18.1116 L/s. and load variations for power and efficiency. The results of this research show that turbines with an interfering blade ratio of 0.75 have the most optimal performance compared to ratios of 0, 0.25, and 0.5. The highest power is obtained by a turbine with a blade ratio of 0.75 at a capacity of 18.1116 L/s with a loading of 6500 grams of 4.040 Watt. The highest efficiency was obtained at a blade ratio of 0.75 at a capacity of 11.0231 L/s with a loading of 2000 grams of 72.65%.

Keywords: *Crossflow*, Power, Efficiency, Interfering Blade, Turbine.

PENDAHULUAN

Kehidupan manusia tidak bisa dipisahkan dengan energi. Energi sudah menjadi kebutuhan pokok bagi kehidupan umat manusia. Seiring dengan peradaban manusia yang semakin maju, kemampuan manusia untuk mengendalikan energi juga semakin berkembang. Namun

demikian, manusia selalu bergantung kepada energi fosil untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Energi fosil sendiri merupakan sumber energi yang sifatnya tak terbarukan (*non renewable energy sources*). Karena sifatnya yang terbatas dan dampak polutan yang ditimbulkan, maka hal ini mendorong manusia untuk mengembangkan energi alternatif lain yang lebih ramah

lingkungan dan bersifat terbarukan (*renewable*) supaya kebutuhan hidupnya tetap dapat tercukupi.

Indonesia sendiri merupakan negara kepulauan yang jumlah penduduknya sangat besar. Menurut data dari BPS, penduduk Indonesia pada 2020 jumlahnya menyentuh angka 269,6 juta jiwa. Pertumbuhan penduduk ini berbanding lurus dengan kebutuhan energi di Indonesia. Dalam *Outlook Energi Indonesia* (2019) menjelaskan bila jumlah keseluruhan konsumsi energi final (tanpa biomasa tradisional) di sektor transportasi 40%, selanjutnya di sektor industri 36%, rumah tangga 16%, komersial 6% maupun sektor lainnya 2%. Sedangkan permintaan energi listrik mencapai 254,6 TWh dan diperkirakan meningkat hampir 9 kali lipat di tahun 2050 (Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019).

Permintaan akan energi listrik yang semakin meningkat dari tahun ketahun ini harus segera diantisipasi dengan mulai memanfaatkan energi alternatif yang bersifat terbarukan supaya di masa mendatang tidak akan terjadi krisis energi. Sebagai negara yang dialiri oleh banyak sungai dan danau, maka Indonesia berpotensi guna melakukan pengembangan terhadap pembangkit listrik tenaga air (mikro hidro).

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) bisa menjadi alternatif penduduk di wilayah pegunungan yang memiliki sungai dan mengalirkan air sepanjang tahun. Teknologi mikro hidro ini memanfaatkan air sungai yang mengalir sehingga turbin dapat digerakkan untuk menghasilkan listrik. Menurut Fritz dalam Purwanto 2017, teknologi mikro hidro secara teknis terdiri dari 3 komponen utama, yaitu air, generator, dan turbin. Sumber air untuk menggerakkan turbin bisa berupa arus sungai, aliran irigasi, ataupun air terjun alam melalui pemanfaatan tinggi terjunan air dan debit airnya.

Turbin *Crossflow* sendiri merupakan turbin air berjenis turbin aksi (*impulse turbine*). Dengan bantuan generator, turbin ini adalah salah satu komponen utama guna memperoleh energi listrik dengan mengonversi energi air. Turbin *crossflow* terdiri atas beberapa sudu yang terpasang pada sebuah nosel dan piringan paralel, dengan kapasitas air antara 0,01 m³/s sampai 7 m³/s dan tinggi air jatuh antara 1 m sampai 200 m (Prihartarto, 2008). Sehingga dapat diartikan bahwa turbin *crossflow* ini cocok guna dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di daerah yang sumber airnya kecil seperti aliran sungai kecil dan saluran irigasi. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Pramesti, 2018) dengan judul “Analisis Pengaruh Sudut Sudu terhadap Kerja Turbin Kinetik Poros Horizontal dan Vertikal”. Berdasarkan hasil penelitian tersebut bisa disimpulkan bahwa diperoleh efisiensi maupun nilai daya yang lebih

besar dibanding turbin bertipe poros horizontal dibanding turbin poros vertikal.

Dalam penelitian (Insanto & Adiwibowo, 2020) yang berjudul “Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Sudu Berpenampang Datar Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Reaksi *Crossflow* Poros Horizontal” dengan variasi rasio yang dipergunakan ialah 13/16, 14/16 dan 15/16 yang pengujiannya dilakukan melalui variasi debit air sejumlah 12.58 L/s, 11.01 L/s, dan 8.84 L/s. Penelitian tersebut memperoleh hasil bahwa daya dan efisiensi tertinggi didapat oleh turbin berasio 15/16. Turbin dengan rasio 15/16 memperoleh daya paling optimal yang terjadi pada pembebanan sebesar 8000 gram dan debit 12.58 L/s dan menghasilkan daya sebesar 3,136 Watt. Rasio 15/16 pada debit 12.58 L/s dan pembebanan 8000 gram juga menghasilkan efisiensi paling optimal sejumlah 58,21%. Perihal tersebut disebabkan aliran air yang dapat dimanfaatkan dengan baik pada rasio 15/16 turbin dikarenakan jarak antara lebar saluran air dan turbin kecil sehingga turbin menerima aliran air secara optimal.

Kajian milik (Fauzy & Adiwibowo, 2020) berjudul “ Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Diameter Luar dan Dalam Sudu Plat Datar Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin *Cross Flow* Poros Horizontal” kajian ini menggunakan variasi rasio diameter (D2/D1) yang dipergunakan ialah 0.5, 0.6, 0.65, 0.7 diameter sudu dengan penampang plat datar di turbin *crossflow* poros horizontal. Sudu yang dipergunakan berjumlah 12 yang pengujiannya dilakukan dengan air berkapasitas 14.32 L/s, 11.80 L/s, maupun 9.85 L/s. Hasil dari penelitian didapatkan bahwa turbin yang berdiameter 0.6 pada pembebanan 5500 gram dan kapasitas 14.32 L/s memperoleh daya paling optimal sebesar 2,86 Watt. Turbin berdiameter 0.6 pada pembebanan 5500 gram dan kapasitas 14.32 L/s juga menghasilkan efisiensi paling optimal sebesar 74,18%.

Dalam penelitian (Sutrimo & Adiwibowo, 2019) yang berjudul “Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Berpenampang L Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin *Crossflow* Poros Horizontal”. Metode eksperimen dipergunakan dalam penelitian ini dan variasi sudu berpenampang L yang dipergunakan berjumlah 6, 8, 10 buah serta variasi aliran air yang dipergunakan berkapasitas 7,598 L/s, 9,560 L/s, 11,775 L/s, 13,408 L/s, dan 17,084 L/s. Hasil dari penelitian ialah sudut 6 buah pada kapasitas aliran 13,408 L/s dan pembebanan 6000 gram memperoleh daya yang paling optimal sejumlah 3,683 Watt. Turbin dengan jumlah sudu 6 pada pembebanan 5500 gram dan berkapasitas aliran 11,775 L/s juga menghasilkan efisiensi paling optimal sebesar 57,98%. Hal tersebut disebabkan karena jumlah sudu yang semakin banyak membuat turbin menyempit hingga

menyerupai lingkaran penuh sehingga dorongan dari daya air pada turbin tidak optimal, selain itu kerja turbin juga terpengaruh oleh massa dari turbin tersebut.

Kajian milik (Hidayat & Adiwibowo, 2020) berjudul “Pengaruh *Inlet Notch* Kedua Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Air *Crossflow* Poros Horizontal” kajian ini dilaksanakan untuk memperoleh daya dan efisiensi menggunakan variasi besar sudut pengarah aliran yang memiliki besar sudut 0° , $52,5^\circ$, $57,5^\circ$, dan $62,5^\circ$, yang pengujiannya hendak dilakukan melalui pembebanan 5kg, 25kg, 15kg, 20kg, dan 25kg, dan variasi air yang berkapasitas 9.885 L/s, 11.804 L/s, 14.32 L/s, 16.15 L/s, dan 18.11 L/s. Penelitian tersebut memperoleh hasil bahwa daya yang paling optimal sebesar 4,673 Watt dihasilkan oleh turbin dengan *Inlet Notch* $62,5^\circ$ pada kapasitas 18,11 L/s, dan pembebanan 6500 gram. Perihal tersebut disebabkan pada *Inlet Notch* $62,5^\circ$ aliran air di bagian depan turbin dapat dimanfaatkan dengan baik sehingga daya dorong yang dihasilkan mampu membuat turbin berputar dengan rpm yang tinggi dan torsi yang besar. Variasi *Inlet Notch* $52,5^\circ$ menghasilkan efisiensi paling tinggi dan lebih baik dibanding *Inlet Notch* $57,5^\circ$, 0° , dan $62,5^\circ$. Kapasitas 14,32 L/s dan pembebanan 4000 gram menghasilkan efisiensi sebesar 79,99%.

Kajian milik (Pribadi & Siregar, 2019) yang berjudul “Pengaruh Rasio Luas *Blade* Utama Dengan *Blade* Pengganggu Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius” menyatakan bahwa kajian tersebut mempergunakan turbin angin yang berdiameter 30 cm dan tinggi 30 cm, Sementara variasi rasio luas *blade* utama dengan *blade* pengganggu ialah 1 : 6, 2 : 6, 3 : 6, 4 : 6. Hasil kajian mengenai variasi rasio luas antara *blade* utama dengan *blade* pengganggu di turbin angin savonius memperlihatkan bahwa kecepatan 6 m/s dan beban 4750 gram menghasilkan daya paling optimal sejumlah 2,88 watt dan variasi rasio luas *blade* pengganggu dengan *blade* utama 2 : 6 menghasilkan efisiensi tertinggi turbin angin sebesar 26,4 %.

Pada penelitian sebelumnya sudah banyak dilakukan inovasi, namun masih sedikit yang membahas tentang pengaruh penambahan sudu pengganggu pada turbin air *crossflow* berporos horizontal. Guna mengembangkan penelitian ini, peneliti meneliti dan mengkaji bagaimana optimalisasi daya dan efisiensi dengan berbagai variasi rasio sudu pengganggu terhadap sudu utama pada turbin *crossflow* poros horizontal. Diharapkan kajian ini mampu menciptakan turbin *crossflow* poros horizontal dengan daya dan efisiensi yang optimal.

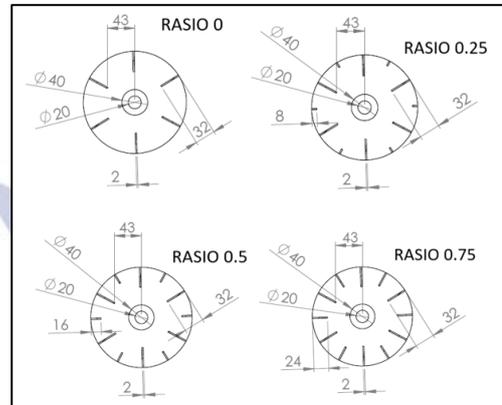
METODE

Variabel Penelitian

Variabel Bebas

Sugiyono (2011:61) menyatakan bahwa variabel independen ialah variabel yang memengaruhi perubahan ataupun timbulnya variabel dependen.

- Pada eksperimen ini, variabel bebasnya ialah variasi rasio sudu pengganggu dengan sudu utama sebesar 0 , 0,25 , 0,5 , 0,75.



Gambar 1. Desain Turbin

Variabel Terikat

- Dalam kajian ini, variabel terikatnya adalah daya dan efisiensi yang diperoleh turbin *crossflow*.

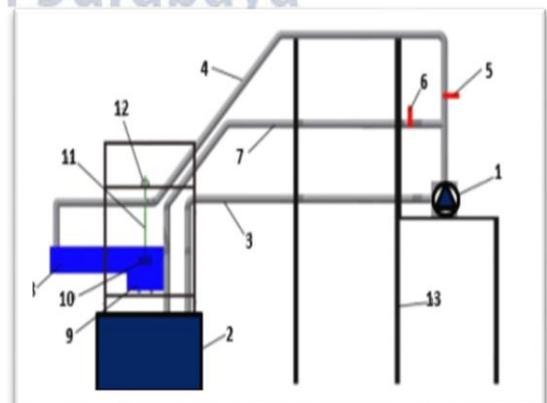
Variabel Kontrol

Mempergunakan:

- Fluida kerja yang dipergunakan ialah air.
- Kapasitas atau debit air sewaktu pengujian.
- Jenis aliran dikondisikan dalam keadaan *steady* (konstan).
- Kapasitas aliran air 11,0231 L/s, 14,3205 L/s, 16,1506 L/s, dan 18,1116 L/s.
- Buka katup disesuaikan pada 140° , 150° , 160° , 170° .
- Pembebanan sejumlah 500 g, 1000 g, 1500 g, dan selanjutnya hingga perputaran turbin terhenti.

Peralatan dan Instrumen Penelitian

Dalam penelitian ini alat yang dipergunakan adalah:



Gambar 2. Desain Instalasi Alat Uji

Penjelasan:

1. Pompa air
2. Bak untuk menampung air
3. Pipa untuk menyalurkan suction
4. Saluran discharge
5. Katup guna mengatur kapasitas
6. Main valve
7. Bypass valve
8. Saluran masuk
9. Area outlet
10. Penempatan turbin
11. Letak rangka poros
12. Letak Prony Brake
13. Rangka utama rangkaian PLTMH

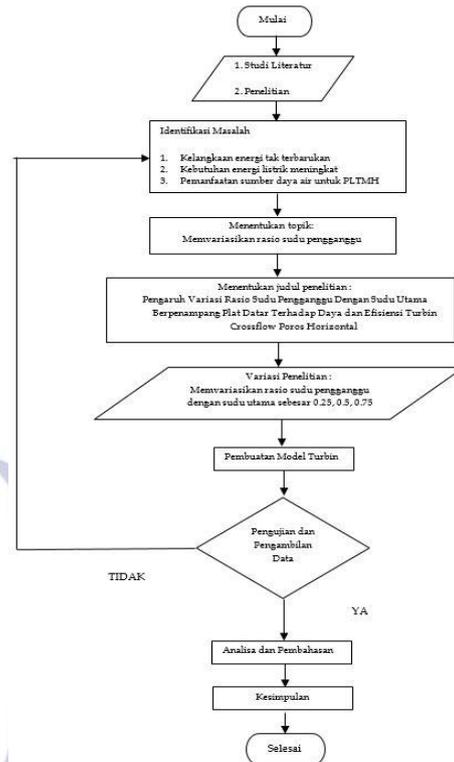
Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan guna mendapatkan informasi yang diperlukan sehingga tujuan penelitian dapat tercapai. Tujuan tersebut dinyatakan dalam hipotesis yang menjadi jawaban sementara atas pertanyaan kajian. Variabel-variabel yang terdapat dalam hipotesis akan menentukan proses mengumpulkan data. Pada kajian ini, data dikumpulkan melalui pengukuran dan pengujian terhadap objek yang dikaji dan melakukan pencatatan hasil yang diperoleh.

Teknik Analisis Data

Analisis data merupakan cara guna melakukan pengolahan terhadap data menjadi informasi sehingga bisa dimengerti dan dapat digunakan guna mengambil peluang dan menemukan solusi. Pada kajian ini, teknik analisis data mempergunakan metode analisis data kualitatif deskriptif. Menurut (Moleong, 2008:6) penelitian deskriptif merupakan kajian yang berisikan penggambaran kondisi objek berlandaskan fakta-fakta yang ditemukan ketika data diuji. Data dalam penelitian ini diambil melalui alat ukur, yang kemudian dimasukkan ke tabel, lalu menghitungnya secara teoretis, selanjutnya dipresentasikan melalui grafik supaya lebih mudah dipahami. Hal tersebut dilakukan guna menyediakan informasi perihal daya kerja alat yang teroptimal, keterkaitan antara variabel dan peristiwa selama menguji.

Flowchart Penelitian



Gambar 3 Flowchart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Dalam penelitian ini didapatkan data-data yang terdiri atas besaran sudut bukaan katup saluran balik, tinggi air pada bendungan V-Notch, tinggi ambang pada saluran kecepatan turbin, berat beban, maupun gaya yang diperoleh neraca pegas. Dalam kajian ini, data diambil sebanyak tiga kali percobaan dan diambil rata-ratanya sehingga data yang didapatkan benar-benar bersesuaian dengan keadaan yang sebenarnya (valid). Data yang diperoleh kemudian akan dipergunakan guna memperhitungkan daya dan efisiensi yang diperoleh turbin.

Sebelum menghitung daya dan efisiensi, kapasitas maupun kecepatan aliran perlu dihitung terlebih dahulu.

- Menghitung Kapasitas Air (Q)

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

Dimana:

Q = Kapasitas air (m³/s)

Cd = Coefficient of Discharge

θ = Sudut pada V-notch weir (°)

g = Gravitasi (9,81 m/s²)

H = Tinggi ambang (m)

- Penhitungan Luas Penampang Aliran (A)

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

Dimana :

A = Luas penampang saluran (m²)

Pengaruh Variasi Rasio Sudu Pengganggu Dengan Sudu Utama Berpenampang Plat Datar Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin *Crossflow* Poros Horizontal

T = Tinggi aliran air (m)
l = Lebar keluaran pengarah (m)

- Menghitung Kecepatan Aliran

$$V = Q / A$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran air (m/s)

Q = Kapasitas aliran (m³/s)

A = luas penampang aliran (m²)

- Menghitung Daya Air (Pa)

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

Dimana :

Pa = Daya air (watt)

ρ = Massa jenis (kg/m³)

A = Luas penampang aliran (m²)

V = Kecepatan aliran (m/s)

- Menghitung Torsi Turbin (T)

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

Penjelasan:

F = Gaya (N)

m = Massa (kg)

g = Gravitasi (9,81 m/s²)

- Kecepatan Angular Turbin (ω)

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

Dimana:

ω = Kecepatan *angular* (rad/s)

n = Putaran (rpm)

- Penghitungan Daya Turbin

$$Pt = T \cdot \omega$$

Penjelasan:

Pt = Daya turbin (Watt)

T = Torsi (N.m)

ω = Kecepatan *angular* (rad/s)

- Penghitungan Efisiensi Turbin (η)

$$\eta = \frac{Pt}{Pa} \times 100\%$$

Penjelasan:

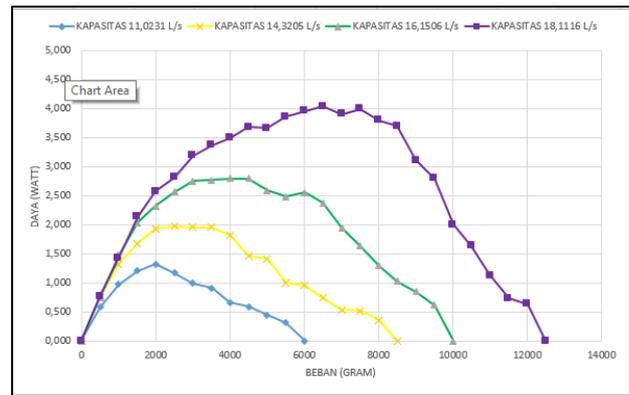
η = Efisiensi turbin

Pt = Daya turbin (Watt)

Pa = Daya air (Watt)

Pembahasan

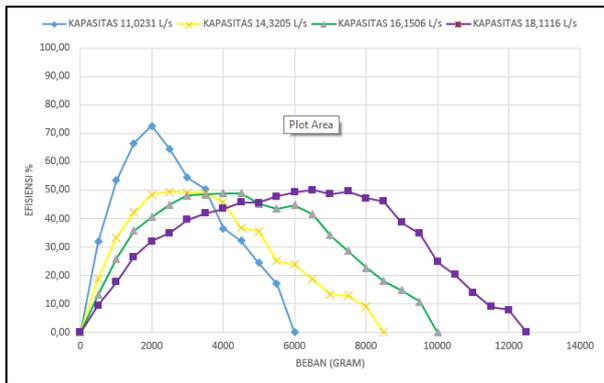
Pengaruh Variasi Kapasitas Air Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Berpenampang Plat Datar Dengan Rasio Sudu 0.75.



Gambar 4. Grafik Daya Turbin Rasio Sudu 0.75

Dari gambar (4), dapat diamati bahwa terjadi peningkatan daya yang diperoleh turbin melalui variasi rasio sudu 0.75 yang berbanding lurus dengan peningkatan kapasitas aliran air mengalir. Sebagaimana ditunjukkan oleh gambar (4), bila pada kapasitas aliran air 11,0231 L/s hingga pembebanan 2000 gram, turbin menghasilkan daya sejumlah 1,320 Watt lalu daya menurun sampai turbin perputarannya terhenti di pembebanan 6000 gram. Pada kapasitas aliran air 14,3205 L/s terjadi kenaikan pembebanan 2500 gram dan daya yang mampu diperoleh turbin adalah 1,971 Watt, lalu pada pembebanan 8500 gram, daya menurun hingga turbin berhenti berputar. Di kapasitas aliran air 16,1506 L/s dan pembebanan 4000 gram menciptakan daya sejumlah 2,796 Watt, selanjutnya daya tersebut mengalami penurunan secara berkala sampai terhenti di pembebanan 10000 gram. Pada kapasitas aliran air 18,1116 L/s sampai dengan pembebanan 6500 gram dan menciptakan daya sejumlah 4,040 Watt, selanjutnya daya tersebut secara kontinu hingga terhenti di pembebanan 12500 gram.

Berlandaskan uraian di atas, bisa diamati bahwasanya daya tertinggi yang dihasilkan oleh kapasitas aliran air 18,1116 L/s do pembebanan 6500 gram adalah 4,040 Watt. Hal tersebut terjadi dikarenakan peningkatan kapasitas aliran air yang mengakibatkan peningkatan putaran turbin, maka daya turbin yang diperoleh akan makin membesar seiring dengan meningkatnya putaran turbin, begitu juga sebaliknya. Selain itu turbin dengan rasio sudu pengganggu 0.75 memiliki sudu yang lebih lebar hampir menyerupai sudu utama sehingga gaya dorong dari air mampu dimanfaatkan secara optimal. Sedangkan pembebanan yang semakin besar akan mengakibatkan daya menurun dikarenakan turbin dapat diputar oleh gaya dorong dari air.

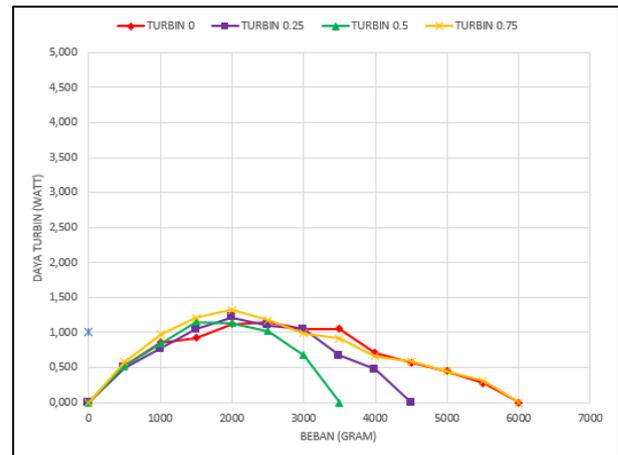


Gambar 5. Grafik Efisiensi Turbin Rasio Sudu 0.75

Dari uraian di atas, dapat diamati bahwasanya turbin dengan rasio sudu pengganggu 0.75 di kapasitas 11,0231 L/s menghasilkan efisiensi teroptimal. Hal itu karena daya air yang dihasilkan kecil sementara daya turbin yang dihasilkan cukup besar. Sebagaimana yang dapat diamati pada gambar (5) bahwa terjadi kenaikan pembebanan 2000 gram di kapasitas aliran air 11,0231 L/s dan menciptakan efisiensi sejumlah 72,65%, lalu efisiensi terus mengalami penurunan sampai dengan perputaran turbin terhenti di pembebanan 6000 gram. Pada kapasitas aliran air 14,3205 L/s dan pembebanan 2500 gram serta efisiensi yang diperoleh adalah 49,49%, lalu efisiensi tersebut mengalami penurunan secara berkala sampai perputaran turbin terhenti di pembebanan 8500 gram. Pada kapasitas aliran air 16,1506 L/s dan pembebanan 4000 gram, menghasilkan efisiensi sebesar 48,94%, lalu efisiensi tersebut mengalami penurunan secara berkala hingga perputaran turbin terhenti di pembebanan 10000 gram. Terjadi kenaikan hingga pembebanan 6500 gram pada kapasitas aliran air 18,1116 L/s dan menciptakan efisiensi sejumlah 50,13%, lalu efisiensi mengalami penurunan sampai dengan perputaran turbin terhenti di pembebanan 12500 gram.

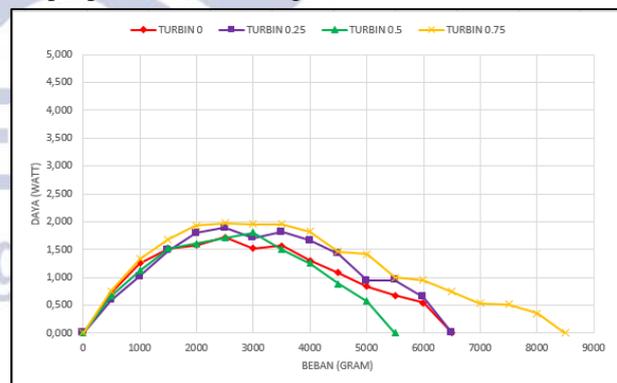
Berdasarkan gambar (5) dapat diamati bahwasanya efisiensi tertinggi yang dihasilkan oleh kapasitas aliran air 11,0231 L/s di pembebanan 2000 gram adalah 72,65%. Hal tersebut dikarenakan kapasitas aliran air yang cukup kecil namun daya yang dihasilkan turbin cukup besar pada pembebanan 2000g, hal ini membuat efisiensi yang dihasilkan cukup besar sebab efisiensi didapat dari rasio antara daya air dengan daya turbin. Tetapi, nilai efisiensi menurun pada titik tertentu dikarenakan pembebanan yang makin besar, maka perputaran turbin membutuhkan gaya dengan cakupan lebih besar.

- Variasi Rasio Sudu Pengganggu Memengaruhi Daya Turbin Pada Tiap Kapasitas.



Gambar 6. Grafik Daya Turbin Berkapasitas 11,0231 L/s

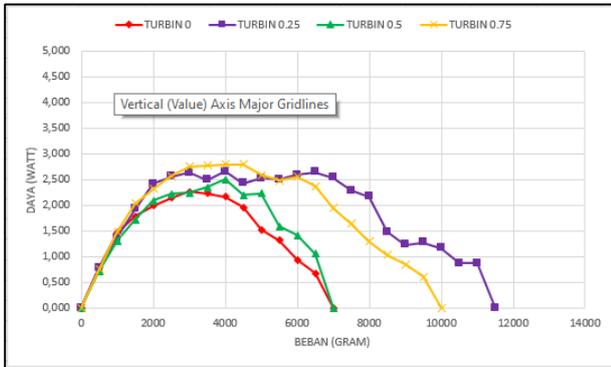
Sebagaimana uraian di atas, daya turbin pada variasi sudut 0 terus meningkat sampai pembebanan 2500 gram dan menghasilkan daya sejumlah 1,137 Watt, lalu terus menurun sampai dengan perputaran turbin berhenti pada pembebanan 6000 gram. Berikutnya terjadi kenaikan daya turbin hingga pembebanan 2000 gram pada variasi sudut 0.25 dan menghasilkan daya sebesar 1,215 Watt dan menurun sampai dengan perputaran turbin terhenti di pembebanan 4500 gram. Kemudian terjadi kenaikan daya turbin hingga pembebanan 1500 gram pada variasi sudut 0.5 dan menghasilkan daya sebesar 1,147 Watt dan menurun sampai dengan perputaran turbin terhenti di pembebanan 3500 gram. Daya turbin berikutnya adalah pada variasi sudut 0.75 meningkat sampai pada pembebanan 2000 gram dan menghasilkan daya sebesar 1,320 Watt dan berhenti sampai pembebanan 6000 gram.



Gambar 7. Grafik Daya Turbin Berkapasitas 14,3205 L/s

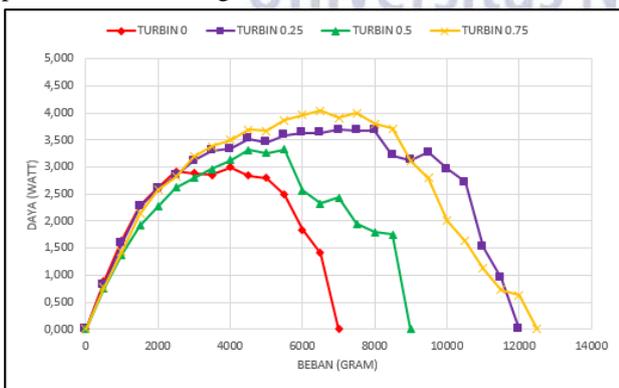
Berdasarkan uraian di atas, daya turbin pada variasi sudut 0 terus meningkat hingga pembebanan 2500 gram dan menghasilkan daya sejumlah 1,723 Watt, lalu menurun hingga perputaran turbin terhenti di pembebanan 6500 gram. Kemudian daya turbin meningkat hingga pembebanan 2500 gram pada variasi sudut 0.25 dan menciptakan daya sejumlah 1,886 Watt dan daya tersebut mengalami penurunan secara berkala

hingga perputaran turbin berhenti di pembebanan 6500 gram. Kemudian daya turbin meningkat hingga pembebanan 3000 gram pada variasi sudu 0.5 dan menghasilkan daya sebesar 1,803 Watt dan daya tersebut menurun sampai dengan perputaran turbin berhenti di pembebanan 5500 gram. Daya turbin berikutnya adalah di variasi sudu 0.75 meningkat sampai pada pembebanan 2500 gram serta daya yang diperoleh 1,971 Watt dan berhenti sampai pembebanan 8500 gram.



Gambar 8. Grafik Daya Turbin Berkapasitas 16,1506 L/s

Berlandaskan uraian di atas, dapat diamati bila daya turbin terus meningkat hingga pembebanan 3000 gram pada variasi sudu 0 dan menciptakan daya sejumlah 2,260 Watt, selanjutnya daya tersebut menurun secara berkala hingga perputaran turbin berhenti di pembebanan 7000 gram. Kemudian pada variasi sudu 0.25 daya turbin meningkat sampai dengan pembebanan 4000 gram dan menciptakan daya sejumlah 2,650 Watt dan secara kontinu menurun sampai dengan perputaran turbin berhenti di pembebanan 11500 gram. Kemudian, variasi sudu 0.5 daya turbin juga meningkat hingga pembebanan 4000 gram dan menciptakan daya sejumlah 2,503 Watt dan menurun secara berkala sampai perputaran turbin berhenti di pembebanan 7000 gram. Daya turbin selanjutnya adalah pada variasi sudu 0.75 meningkat sampai ke pembebanan 4000 gram dan menghasilkan daya sejumlah 2,796 Watt dan berhenti sampai pembebanan 10000 gram.



Gambar 9. Grafik Daya Turbin Berkapasitas 18,1116 L/s

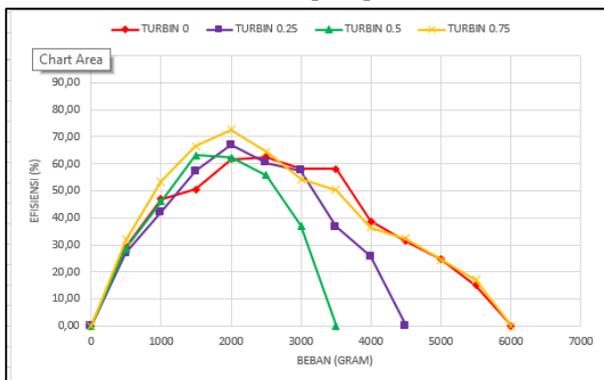
Dari uraian di atas, dapat diamati bahwasanya variasi sudu 0 daya turbin terus meningkat sampai dengan pembebanan 4000 gram dan menciptakan daya sejumlah 2,995 Watt, selanjutnya daya menurun sampai perputaran turbin berhenti di pembebanan 7000 gram. Kemudian, variasi sudu 0.25 daya turbin meningkat sampai dengan pembebanan 7000 gram serta menciptakan daya sejumlah 3,690 Watt dan daya tersebut menurun secara berkala hingga perputaran turbin berhenti di pembebanan 12000 gram. Kemudian pada variasi sudu 0.5 daya turbin juga meningkat sampai dengan pembebanan 5500 gram dan menciptakan daya sejumlah 3,323 Watt dan daya tersebut mengalami penurunan sampai dengan perputaran turbin berhenti pada pembebanan 9000 gram. Daya turbin berikutnya adalah pada variasi sudu 0.75 meningkat sampai dengan pembebanan 6500 gram dan menghasilkan daya 4,040 Watt dan berhenti sampai pembebanan 12500 gram.

Berlandaskan gambar yang telah disajikan, dapat diamati bahwasanya dengan mempergunakan berbagai sudu pengganggu turbin dengan penampang plat datar di turbin *crossflow* poros horizontal mempunyai karakteristik yang berbeda-beda pada setiap kapasitas aliran air. Pada gambar (6) kapasitas aliran air 11,0231 L/s menghasilkan daya turbin yang tidak begitu besar namun secara keseluruhan variasi sudu pengganggu membuat daya turbin mengalami perubahan. Misal pada sudu dengan variasi rasio 0.75 mengalami peningkatan daya sampai pembebanan 2000g kemudian secara berangsur mengalami penurunan daya. Begitu juga dengan turbin dengan variasi rasio sudu 0.25 dan 0.5. Pada gambar (7) kapasitas aliran air 14,3205 L/s daya turbin meningkat seiring dengan meningkatnya kapasitas aliran air. Variasi rasio sudu disini mengalami perubahan dari sebelumnya, daya dari variasi rasio sudu 0.5 menjadi lebih besar daripada turbin dengan tanpa sudu pengganggu. Begitu juga pada gambar (8) daya yang dihasilkan kapasitas aliran 16,1506 L/s lebih besar dari kapasitas sebelumnya. Pada gambar (9) kapasitas aliran 18,1116 L/s menciptakan daya turbin lebih tinggi dari kapasitas aliran air, variasi rasio sudu pengganggu yang diberikan memberikan perubahan terhadap daya turbin mulai dari daya tertinggi dari turbin 0.75 kemudian 0.25 dan 0.5 sampai dengan turbin tanpa sudu pengganggu (turbin 0).

Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa ditemukan pengaruh dari kapasitas aliran yang besar terhadap besarnya daya turbin sebab setiap pembebanan memiliki torsi dan putaran turbin yang berbeda. Ketika pengujian dilangsungkan, pembebanan yang ditingkatkan juga meningkatkan torsi pada turbin besar. Semakin besarnya pembebanan, maka semakin besar pula gaya yang ditimbulkan. Sehingga jika peningkatan pembebanan yang dilakukan terlalu besar dan tidak dapat

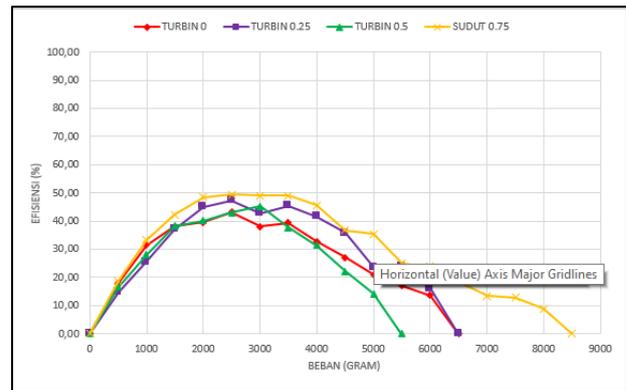
ditahan oleh gaya turbin, maka perputaran turbin akan menurun hingga berhenti. Saluran pengarah air yang dipasang membuat debit aliran air langsung mengenai sudu turbin dan membuat aliran yang masuk ke turbin semakin berkurang sehingga turbin menjadi terhambat. Selain itu turbin dengan rasio sudu pengganggu yang lebih besar mengalami peningkatan daya yang besar dikarenakan lebar sudu pengganggu yang hampir sama dengan sudu utama sehingga kinerja dari turbin seakan menyerupai turbin dengan 12 sudu utama.

- Variasi Rasio Sudu Pengganggu Memengaruhi Efisiensi Turbin di Setiap Kapasitas.



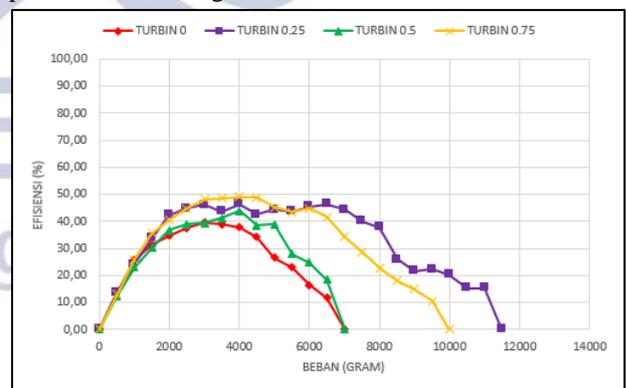
Gambar 10. Grafik Efisiensi Turbin Berkapasitas 11,0231 L/s

Dari uraian di atas, efisiensi turbin di rasio sudu 0 mengalami peningkatan hingga pembebanan 2500 gram dan menciptakan efisiensi sejumlah 62,61%, kemudian efisiensi tersebut terus menurun sampai perputaran turbin terhenti di pembebanan 6000 gram. Berikutnya, rasio sudu 0.25 efisiensi turbin mengalami peningkatan samapi dengan pembebanan 2000 gram dan menghasilkan efisiensi sebesar 66,89% dan efisiensi tersebut mengalami penurunan secara berkala sampai dengan perputaran turbin berhenti pada pembebanan 4500 gram. Kemudian pada rasio sudu 0.5 efisiensi turbin juga naik sampai dengan pembebanan 1500 gram dan menghasilkan efisiensi sebesar 63,13% dan efisiensi tersebut terus menurun sampai perputaran turbin berhenti pada pembebanan 3500 gram. Efisiensi turbin berikutnya adalah pada rasio sudu 0,75 meningkat sampai pembebanan 2000 gram dan menghasilkan efisiensi 72,65% dan berhenti sampai pembebanan 6000 gram.



Gambar 11. Grafik Efisiensi Turbin Berkapasitas 14,3205 L/s

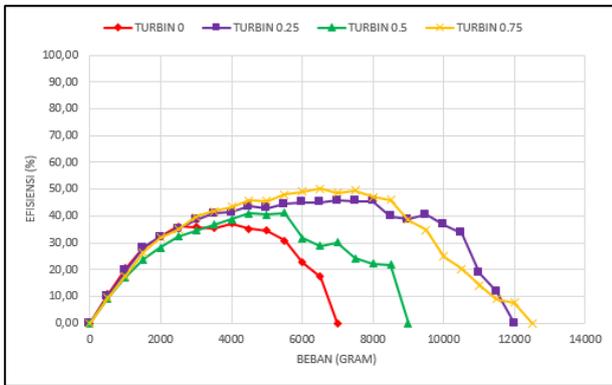
Sesuai uraian di atas, efisiensi turbin di rasio sudu 0 meningkat sampai pembebanan 2500 gram serta menciptakan daya sejumlah 43,25%, kemudian efisiensi tersebut terus menurun sampai dengan perputaran turbin berhenti pada pembebanan 6500 gram. Berikutnya pada rasio sudu 0.25 efisiensi turbin naik sampai dengan pembebanan 2500 gram dan menghasilkan efisiensi sebesar 47,35% dan efisiensi tersebut terus menurun sampai perputaran turbin berhenti pada pembebanan 6500 gram. Kemudian pada rasio sudu 0.5 efisiensi turbin juga mengalami kenaikan sampai dengan pembebanan 3000 gram dan menghasilkan efisiensi sebesar 45,27% dan efisiensi tersebut terus turun sampai dengan perputaran turbin berhenti pada pembebanan 5500 gram. Efisiensi turbin berikutnya adalah pada rasio sudu 0,75 meningkat sampai pembebanan 2500 gram dan menciptakan efisiensi sejumlah 49,49% dan terhenti di pembebanan 8500 gram.



Gambar 12. Grafik Efisiensi Turbin Berkapasitas 16,1506 L/s

Berdasar uraian di atas, rasio sudu 0 efisiensi turbin naik sampai dengan pembebanan 3000 gram dan menghasilkan efisiensi sebesar 39,55%, kemudian efisiensi tersebut terus menurun hingga perputaran turbin terhenti di pembebanan 7000 gram. Berikutnya pada rasio sudu 0.25 efisiensi turbin naik sampai dengan

pembebanan 4000 gram dan menghasilkan efisiensi sebesar 46,37% dan efisiensi tersebut terus menurun hingga perputaran turbin terhenti di pembebanan 11500 gram. Kemudian pada rasio sudu 0.5 efisiensi turbin juga mengalami kenaikan sampai dengan pembebanan 4000 gram dan menghasilkan efisiensi sejumlah 43,80% dan efisiensi tersebut terus menurun hingga perputaran turbin berhenti di pembebanan 7000 gram. Efisiensi turbin berikutnya adalah pada rasio sudu 0,75 meningkat sampai pembebanan 4000 gram dan menghasilkan efisiensi 48,94% dan berhenti sampai pembebanan 10000 gram.



Gambar 13. Grafik Efisiensi Turbin Berkapasitas 18,1116 L/s

Berdasar uraian di atas, rasio sudu 0 efisiensi turbin mengalami kenaikan sampai dengan pembebanan 4000 gram dan menciptakan efisiensi sejumlah 37,17%, kemudian efisiensi tersebut terus menurun hingga perputaran turbin terhenti di pembebanan 7000 gram. Berikutnya, rasio sudu 0.25 efisiensi turbin mengalami kenaikan sampai dengan pembebanan 7000 gram dan menghasilkan efisiensi sebesar 45,80% dan efisiensi tersebut terus menurun hingga perputaran turbin terhenti di pembebanan 12000 gram. Kemudian, rasio sudu 0.5 efisiensi turbin juga mengalami kenaikan sampai dengan pembebanan 5500 gram dan menghasilkan efisiensi sejumlah 41,24% dan efisiensi tersebut terus menurun sampai di perputaran turbin berhenti pada pembebanan 9000 gram. Efisiensi turbin berikutnya adalah pada rasio sudu 0,75 meningkat sampai pembebanan 6500 gram dan menghasilkan efisiensi sebesar 50,13% dan berhenti sampai pembebanan 12500 gram.

Berlandaskan gambar yang telah disajikan, dapat diamati bahwasanya dengan mempergunakan berbagai rasio sudu pengganggu turbin mempunyai kriteria yang berlainan. Gambar (10) kapasitas aliran air 11,0231 L/s menghasilkan efisiensi yang paling besar pada rasio sudu 0.75, efisiensi mengalami penurunan pada rasio sudu 0.25 kemudian mengalami penurunan efisiensi lagi pada turbin dengan rasio sudu 0,5, dan efisiensi paling rendah terjadi pada rasio sudu 0. kemudian pada gambar (11)

efisiensi turbin berkapasitas aliran air 14,3205 L/s efisiensi turbin menurun dibanding kapasitas aliran air sebelumnya, variasi rasio sudu pengganggu juga mengalami penurunan pada rasio sudu 0.25 kemudian mengalami kenaikan pada rasio sudu 0.5 dan pada rasio 0.75 mengalami peningkatan efisiensi. Kemudian pada gambar (12) kapasitas aliran 16,1506 L/s dan gambar (13) kapasitas aliran air 18,1116 L/s kapasitas aliran air menghasilkan efisiensi yang lebih kecil dari sebelumnya dan variasi rasio sudu yang diberikan juga menurun pada turbin dengan rasio sudu 0.5 kemudian naik kembali pada rasio sudu 0.25 dan mencapai efisiensi optimum pada turbin rasio sudu 0.75. Perihal ini disebabkan setiap kapasitas luas penampang aliran air tetap sehingga kapasitas ini menciptakan daya air yang lebih besar daripada daya yang diciptakan turbin. Perihal ini mempengaruhi dari efisiensi turbin dikarenakan efisiensi turbin didapatkan dengan membandingkan daya dari turbin dan daya dari aliran air kemudian dikalikan 100%.

Pada kajian ini, daya maupun efisiensi paling tinggi didapatkan oleh turbin dengan rasio sudu pengganggu 0.75 dengan daya turbin sebesar 4,688 Watt dan efisiensi sebesar 72,65%. Hal tersebut disebabkan turbin *crossflow* aliran air hendak mengenai sudu turbin sejumlah dua kali. Aliran air pertama akan mengenai sudu turbin dan sudu terkena gaya dorong sehingga perputaran turbin berlawanan dengan arah jarum jam. Aliran air selanjutnya melintasi diameter dalam lalu mengenai sudu kedua, di mana terdapat gaya dorong juga dari aliran air tersebut namun lebih rendah dibanding yang pertama dengan kesamaan arah. Dengan lebar sudu yang besar, turbin berasio sudu 0.75 dapat menangkap aliran air dengan lebih besar dan dapat memberikan gaya dorong yang optimum.

PENUTUP

Simpulan

Berlandaskan hasil kajian, pengujian maupun analisis yang sudah dilaksanakan, berikut beberapa simpulan yang dapat diambil, yaitu:

- Daya maksimum dihasilkan dari pengujian turbin dengan variasi rasio sudu pengganggu 0.75, yaitu sebesar 4,040 Watt pada kapasitas 18,1116 L/s dan pembebanan 6500 gram.
- Efisiensi yang teroptimal dihasilkan oleh pengujian turbin dengan variasi rasio sudu pengganggu 0.75, yaitu sebesar 72,65 % berkapasitas 11,0231 L/s dan berpembebanan 2000 gram.

Saran

Berlandaskan hasil kajian yang telah dilaksanakan terkait pengembangan variasi rasio sudu pengganggu dengan sudu utama berpenampang plat datar kinerja

turbin reaksi *crossflow* poros horizontal, maka berikut saran yang dapat disampaikan, yakni:

- Perlu dilaksanakan penelitian lebih lanjut terkait visualisasi proses aliran fluida yang terjadi pada tiap variasi rasio sudu dan bukaan katup tertentu.
- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai dimensi sudu pengganggu yang lebih kecil dari penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional. (2019). *Indonesia Energy Outlook 2019*.

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*, 8(2), 77-86.

Pribadi, M. A., & Siregar, I. H. (2019). Pengaruh Rasio Luas Blade Utama Dengan Blade Pengganggu Terhadap Kinerja Turbin Angin Savonius. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(2).

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

Hidayat, N., & Adiwibowo, P. Pengaruh Inlet Notch Kedua Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Air *Crossflow* Poros Horizontal.

Sutrimo, D., & Adiwibowo, P. H. (2019). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Berpenampang L Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin *Crossflow* Poros Horizontal. *JTM*, 07, 95–102.

Purnama, A. (2011). Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Studi Kasus: PLTMH Minggir pada saluran irigasi Minggir di Padukuhan Klagaran Desa Sendangrejo Kecamatan Minggir Kabupaten Sleman. *Jurnal UNSA Progress*, 93–111.

Pramesti, Y. S. (2018). Analisa pengaruh sudut sudu terhadap kinerja turbin kinetik poros horisontal dan vertical. *Jurnal Mesin Nusantara*, 1(1), 51-59.

Riadi, M. (2016, Oktober 17). *Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)*. Diakses pada tanggal 15 Juni 2021, dari kajianpustaka.com: <https://www.kajianpustaka.com/2016/10/pembangkit-listrik-tenaga-mikro-hidro.html>

Energy, E. (2013, November 16). *Pembangkit Listrik Tenaga Microhydro*. Diakses pada tanggal 15 Juni 2021, dari ezkhelenergy.blogspot.com: <https://ezkhelenergy.blogspot.com/2013/11/pembangkit-listrik-tenaga-microhydro.html>.