

PENGARUH VARIASI JARAK CELAH SUDU PENGGANGGU DENGAN SUDU UTAMA BERPENAMPANG PLAT DATAR TERHADAP KINERJA TURBIN *CROSSFLOW*

Rusli Hidayat

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

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

Priyo Heru Adiwibowo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id

Abstrak

Jumlah penduduk yang terus meningkat secara tidak langsung berdampak pada konsumsi energi, dan konsumsi energi juga ikut meningkat. Mulai sekarang, hal ini harus diprediksi dengan beralih ke sumber energi alternatif terbarukan. Pembangkit listrik mikrohidro menggunakan tenaga air lokal untuk menggerakkan turbin yang dapat menghasilkan listrik. Turbin aliran silang (*crossflow*) menjadi alternatif dalam pembangunan pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) karena tergolong *low head*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan jarak antara sudu interferensi dan sudu utama dengan penampang plat datar terhadap unjuk kerja turbin *cross-flow*. Pada penelitian ini diadopsi metode eksperimental untuk mengubah jarak antara sudu interferensi dengan sudu utama dengan jarak celah 2cm, 4cm, 6cm, dan tanpa sudu pengganggu, berpenampang plat datar pada turbin *crossflow* poros horizontal. Jumlah sudu yang digunakan adalah 6 sudu pengganggu dan 6 sudu utama yang akan diuji dengan variasi kapasitas air sebesar 11,017 L/s, 14,313 L/s, 16,142 L/s, 18,102 L/s, dan variasi pembebanan pula. Hasil dari penelitian ini adalah Daya turbin tertinggi dihasilkan oleh variasi dengan jarak celah sudu pengganggu dengan sudu utama 6 cm, pada kapasitas 18,1116 L/s pada pembebanan 4000 gram, sebesar 3,618 Watt. Efisiensi tertinggi juga dihasilkan oleh turbin dengan jarak celah sudu pengganggu dengan sudu utama 6 cm, pada kapasitas 11,0231 L/s pada pembebanan 2000 gram, sebesar 75,63 %.

Kata kunci: Turbin *Crossflow*, Kinerja Turbin, Jarak Celah Sudu, Sudu Pengganggu, Efisiensi, Daya.

Abstract

The increasing number of people every year indirectly has an impact on energy consumption which is also increasing. This must be anticipated from now on by switching to alternative renewable energy. Micro hydro power plants utilize water energy in the local area to drive turbines that can produce electrical energy. Crossflow turbines are an alternative in the construction of micro hydro power plants (PLTMH) because crossflow turbines are classified as low head. The purpose of this study was to determine the effect of variations in the distance between the interfering blades and the main blade with a flat plate section on the performance of the crossflow turbine. This study uses an experimental method by varying the distance between the interfering blades and the main blade with a gap of 2cm, 4cm, 6cm, and without the interfering blades with a flat plate cross-section on a horizontal axis crossflow turbine. The number of blades used are 6 interfering blades and 6 main blades to be tested with variations in water capacity of 11,017 L/s, 14,313 L/s, 16,142 L/s, 18,102 L/s, and variations in loading as well. The result of this research is that the highest turbine power is produced by variations with the gap between the interfering blades and the main blade 6 cm, at a capacity of 18,1116 L/s at a loading of 4000 grams, amounting to 3,618 Watts. The highest efficiency is also produced by a turbine with a gap between the interfering blades and the main blade 6 cm, at a capacity of 11.0231 L/s at a load of 2000 grams, amounting to 75.63%.

Keywords: *Crossflow Turbine, Turbine Performance, Blade Gap Distance, Interference Blade, Efficiency, Power.*

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara berpenduduk terbanyak nomor empat di dunia. Jumlah tersebut secara tidak langsung berdampak pada konsumsi energi yang ikut meningkat. Konsumsi energi listrik yang semakin tinggi

setiap tahunnya tentu harus ditanggulangi mulai dari sekarang dengan berpindah ke energi alternatif agar tidak terjadi kekurangan energi pada masa yang akan datang. Indonesia memiliki wilayah yang terdiri dari perairan serta dialiri oleh banyak sungai dan danau yang menjadi ruang potensial untuk berkembangnya pembangkit listrik

bertenaga air. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan salah satu solusi dalam pemenuhan kebutuhan listrik. Teknologi PLTMH memanfaatkan energi air pada daerah sekitar untuk dimanfaatkan sebagai penggerak turbin agar dapat menghasilkan listrik. Turbin *crossflow* adalah salah satu solusi dalam pembangunan pembangkit listrik tenaga mikro hidro karena turbin *crossflow* termasuk pada *low head*. Turbin *crossflow* merupakan turbin reaksi yang berporos horizontal dengan cara mengkonversikan tekanan air menjadi sebuah energi kinetik pada inlet adaptor.

Penelitian yang membahas tentang turbin *crossflow* telah banyak dilakukan yaitu seperti penelitian yang dilakukan oleh Pramesti (2018) dengan judul “Analisa Pengaruh Sudut Sudu Terhadap Kerja Turbin Kinetik Poros Vertikal dan Horizontal”. Varietas sudut pengarah aliran dengan varietas sudut 5° , 10° , 15° dan varietas debit aliran yang dipakai adalah 50, 70, dan 90 m³/jam. Turbin kinetik ini juga menggunakan varietas antara poros vertikal dan juga horizontal. Dari penelitian ini diperoleh hasil daya output yang dihasilkan turbin maksimal yaitu 1,53 Watt, terjadi didebit 90 m³/jam pada sudut pengarah aliran 15° . Efisiensi tertinggi yaitu sebesar 18% yang terjadi didebit aliran 50 m³/jam, pada sudut pengarah aliran 15° . Turbin yang menggunakan poros horizontal memiliki daya dan juga efisiensi sedikit lebih tinggi daripada turbin yang menggunakan poros vertikal.

Kemudian Penelitian oleh (Fauzy & Adiwibowo, 2020) dengan judul “Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Diameter Luar dan Dalam Sudu Plat Datar Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin *Crossflow* Poros Horizontal” pada penelitian ini varietas ratio diameter (D2/D1) yang dipakai yaitu 0.5, 0.6, 0.65, 0.7 diameter sudu penampang plat datar pada turbin *crossflow* berporos horizontal. Banyak sudu yang digunakan berjumlah 12 yang akan diuji menggunakan variasi kapasitas air yaitu 14.32 L/s, 11.80 L/s, dan 9.85 L/s. Hasil penelitian ini didapatkan daya yang paling tinggi pada turbin pada ratio diameter 0.6 yang terjadi dikapasitas 14.32 L/s dipembebanan 5500 gram yang memiliki daya 2,86 Watt. Efisiensi optimal dihasilkan pada ratio diameter 0.6 yang terjadi dikapasitas 14.32 L/s dipembebanan 5500 gram, dengan efisiensi sebesar 74,18%.

Berikutnya penelitian oleh (Insanto & Adiwibowo, 2020) berjudul “Eksperimental Pengaruh Variasi Ratio Sudu Berpenampang Datar Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Reaksi *Crossflow* Poros Horizontal” menggunakan varietas ratio yaitu 13/16, 14/16 dan 15/16 dan akan diuji menggunakan varietas kapasitas air yaitu 12.58 L/s, 11.01 L/s, dan 8.84 L/s. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu turbin ratio 15/16 memiliki daya dan efisiensi paling tinggi daripada turbin dengan ratio 13/16 dan 14/16. Daya tertinggi terjadi diturbin dengan ratio 15/16 dikapasitas

12.58 L/s dipembebanan 8000 gram, menghasilkan daya sebesar 3,136 Watt. Efisiensi tertinggi didapatkan pada ratio 15/16 dikapasitas 12.58 L/s dipembebanan 8000 gram, nilai efisiensi sebesar 58,21%. Hal tersebut disebabkan pada ratio 15/16 turbin dapat memanfaatkan aliran air dengan sangat baik serta jarak lebar turbin dengan lebar saluran semakin menyempit sehingga luasan aliran air yang ditampung sudu semakin besar, hal tersebut membuat rpm tinggi dan torsi yang besar.

Penelitian berikutnya dilakukan oleh (Hidayat & Adiwibowo, 2020) dengan judul “Pengaruh *Inlet Notch* Kedua Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Air *Crossflow* Poros Horizontal”. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen menggunakan varietas besar sudut pengarah aliran 0° , $52,5^\circ$, $57,5^\circ$, dan $62,5^\circ$, dan diuji menggunakan pembebanan 5kg, 25kg, 15kg, 20kg, dan 25kg, dan varietas kapasitas air 9.885 L/s, 11.804 L/s, 14.32 L/s, 16.15 L/s, dan 18.11 L/s sehingga didapatkan daya dan efisiensi. Hasil dari penelitian didapatkan turbin yang memakai *Inlet Notch* $62,5^\circ$ memperoleh daya tertinggi daripada *Inlet Notch* $57,5^\circ$, $52,5^\circ$, 0° . Daya tertinggi diperoleh dikapasitas 18,11 L/s, yaitu sebesar 4,673 Watt, terjadi dipembebanan 6500 gram. Hal itu disebabkan pada *Inlet Notch* $62,5^\circ$ dapat memanfaatkan aliran air dengan sangat baik yang terjadi dibagian depan turbin dan menghasilkan gaya dorong, sehingga dapat memutar turbin menghasilkan rpm tinggi dan torsi yang besar. Efisiensi tertinggi didapatkan pada varietas *Inlet Notch* $52,5^\circ$, lebih baik dibandingkan *Inlet Notch* $57,5^\circ$, 0° , dan $62,5^\circ$. Efisiensi tertinggi didapatkan dikapasitas 14,32 L/s, dengan nilai efisiensi sebesar 79,99% dipembebanan 4000 gram.

Penelitian berikutnya dilakukan oleh (Sutrimo & Adiwibowo, 2019) dengan judul “Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Berpenampang L Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin *Crossflow* Poros Horizontal”. Pada penelitian ini memakai metode eksperimen varietas jumlah sudu berpenampang L berjumlah 6, 8, dan 10 buah dengan menggunakan varietas kapasitas aliran air 7,598 L/s, 9,560 L/s, 11,775 L/s, 13,408 L/s, dan 17,084 L/s. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu sudu 6 buah dikapasitas aliran 13,408 L/s dipembebanan 6000 gram, menghasilkan daya tertinggi, yaitu 3,683 Watt. Efisiensi tertinggi didapatkan turbin dengan varietas jumlah sudu 6 dikapasitas aliran 11,775 L/s dipembebanan 5500 gram, efisiensi sebesar 57,98%. Hal ini disebabkan semakin banyak jumlah sudu yang membuat penyempitan dan turbin menyerupai lingkaran penuh, sehingga daya air tidak maksimal pada waktu mendorong turbin, kemudian massa dari turbin juga dapat mempengaruhi kerja turbin itu sendiri.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh (Rahmanto & Siregar, 2019) yang berjudul “Studi Eksperimental Pengaruh Jarak Celah Blade Pengganggu Dengan Blade Utama

Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Dengan Sudu Utama Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja Turbin *Crossflow*

Terhadap Kinerja Savonius” Varietas jarak celahblade pengganggu yang di pakai dalam penelitian ini yaitu varietas jarak celah 0cm, 2cm, 4cm, dan 6cm. Hasil penelitian didapatkan yaitu model turbin angin savonius satu tingkat dengan penambahan varietas jarak celah blade pengganggu 6cm mendapatkan daya dan efisiensi tertinggi daripada jarak celah pengganggu 0cm, 2cm, 4cm dipembebanan 4000 gram, mampu mendapatkan daya sebesar 3,03 Watt, serta, nilai efisiensi sebesar 20,4% dikecepatan angin 6 m/s.

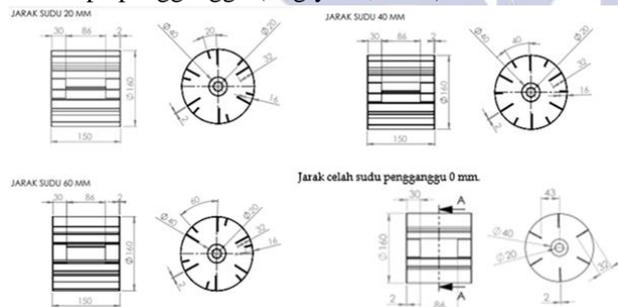
Dari penelitian-penelitian tersebut peneliti tertarik untuk melakukan penelitian yaitu memvariasikan jarak celah sudu pengganggu dengan sudu utama menggunakan jarak celah sudu 2cm, 4cm, dan 6cm berpenampang plat datar untuk mengetahui kinerja (daya dan efisiensi) turbin crossflow poros horizontal.

METODE

Variabel Penelitian

Variabel Bebas.

Variabel bebas yaitu variabel yang dapat mempengaruhi ataupun dapat menyebabkan perubahan pada variabel terikat. Variabel bebas yang dipakai dipenelitian ini yaitu perubahan jarak celah sudu pengganggu dan jarak sudu utama yaitu 2cm, 4cm, 6cm, dan tanpa pengganggu (Sugiyono, 2011).



Gambar 1. Desain Turbin

Variabel Terikat.

Variabel terikat yaitu variabel yang disebabkan atau menjadi akibat dari variabel bebas. Variabel terikat di dalam penelitian ini yaitu daya serta efisiensi yang didapatkan dari turbin cross-flow (Sugiyono, 2011).

Variabel Kontrol

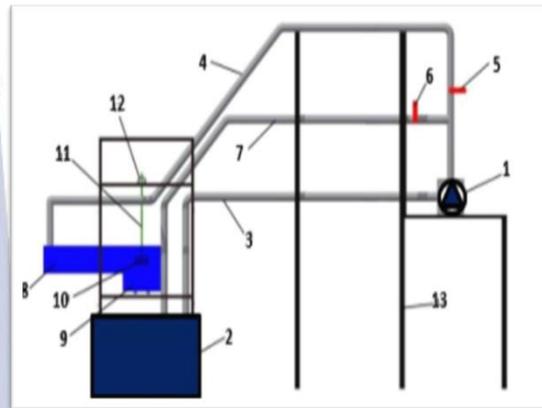
Variabel kontrol yaitu konstan, sehingga pengaruh variable independen atas variable dependen, tidak akan dipengaruhi dari faktor eksternal yang tidak terkendali. Variable kontrol yang dipakai di dalam penelitian ini yaitu:

- Fluida kerjanya digunakan adalah air.
- Kapasitas atau debit aliran air selama pengujian.

- Kapasitas aliran air 11,017 L/s, 14,313 L/s, 16,142 L/s, 18,102 L/s, dan 20,231 L/s.
- Buka-an katup disesuaikan pada 140°, 150°, 160°, 170°, dan 180°.
- Pemuatanannya mulai dari 500 gram, 1000 gram, 1500 gram, 2000 gram, dan seterusnya hingga turbin berhenti.

Peralatan dan Instrumen Penelitian

Peralatan yang dipakai dipenelitian ini adalah:



Gambar 2. Desain Alat Uji

Keterangan :

- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1. Pompa/pump. | 8. Saluran Inlet |
| 2. Bak Penampung Air. | 9. Area Outlet |
| 3. Pipa Penyalur Section. | 10. Penempatan Turbin |
| 4. Saluran Discharge. | 11. Posisi Rangka Poros |
| 5. Katup Utama | 12. Posisi Pronny Brake |
| 6. Katup Bypass | 13. Rangka utama |
| 7. Saluran Bypass | |

Teknik Pengumpulan Data

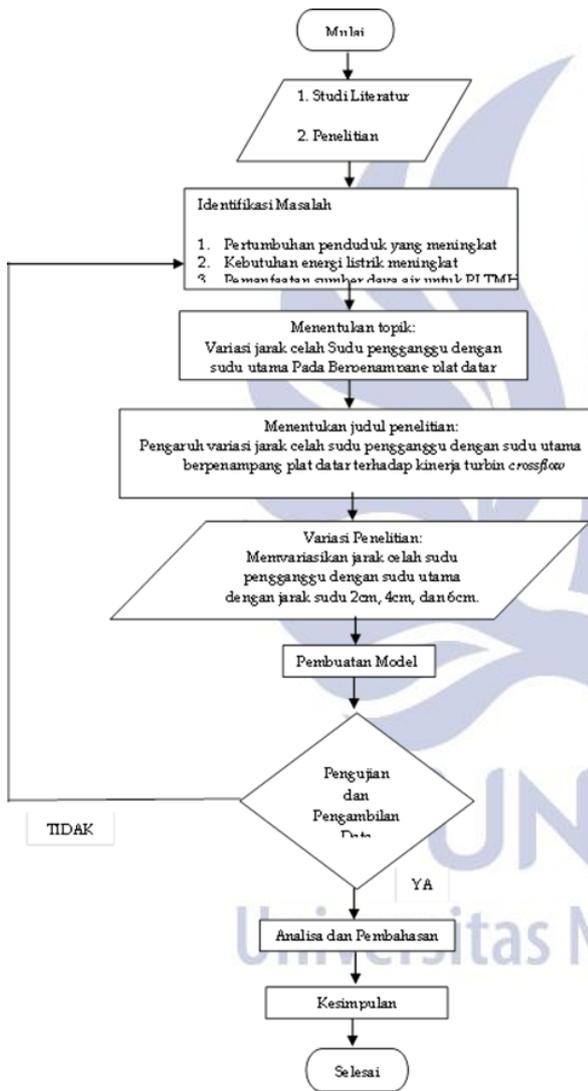
Melakukan pengumpulan data agar mendapatkan informasi yang diperlukan untuk mendapatkan tujuan dari penelitian. Tujuan dalam bentuk hipotesis adalah jawaban sementara untuk pertanyaan penelitian. Data yang diperoleh ditentukan dari variabel di dalam hipotesis. Teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan cara mengukur ataupun menguji objek penelitian serta mencatat hasilnya

Teknik Analisis Data

Analisis data yaitu metode atau cara merubah data menjadi sebuah informasi sehingga mudah dipahami yang nantinya dapat digunakan untuk menangkap peluang serta mencari solusi. Metode analisis data kualitatif deskriptif digunakan dalam teknik analisis data eksperimen. Penelitian deskriptif yaitu penelitian yang mendeskripsikan dan menggambarkan kondisi objek penelitian

berdasarkan fakta-fakta disaat pengujian (Moleong, 2008). Data yang diperoleh dari penelitian ini didapatkan dengan alat ukur setelah itu hasilnya dimasukkan pada tabel, kemudian dihitung secara teoritis selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik supaya mudah dipahami. Hal tersebut dilakukan untuk memberi informasi tentang kerja alat yang paling optimal, hubungan dari variabel, serta fenomena apa saja yang mungkin terjadi selama pengujian tersebut dilakukan.

Flowchart Penelitian



Gambar 3. Flowchart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Selama percobaan, prosedur pengumpulan data diulang sebanyak 3 kali, kemudian diambil nilai rata-ratanya agar data yang diperoleh benar-benar memenuhi syarat terjadinya atau validitas. Data yang diperoleh dipakai untuk menghitung daya dan

efisiensi turbin. Data tersebut diperoleh dengan pengujian turbin cross-flow sumbu horizontal dengan penampang sudu berbentuk datar dan menggunakan perubahan jarak celah sudu sejumlah 2 cm, 4 cm, dan 6 cm, serta tidak terdapat interferensi

- Menghitung Kapasitas Air (Q)

$$Q = Cd \cdot \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot t \cdot g \cdot \frac{\theta}{2} \cdot H^{\frac{5}{2}}$$
 Dimana:
 Q = Kapasitas air (m³/s).
 Cd = Coefficient of Discharge (0,26).
 θ = Sudut pada V-notch weir (°).
 g = Gravitasi (9,81 m/s²).
 H = Tinggi air (m).

- Menghitung Luas Penampang Aliran (A).

$$A = t \cdot l$$

Dimana:
 A = Luas penampang saluran (m²).
 t = Tinggi aliran air (m).
 l = Lebar keluaran pengarah (m).

- Menghitung Kecepatan Aliran (V).

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

Dimana:
 V = Kecepatan aliran air (m/s).
 Q = Kapasitas aliran (m³/s).
 A = Luas penampang aliran (m²).

- Menghitung Daya Air yang Mengalir (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).

- Gaya

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

Dimana:
 F = Gaya (N).
 m = Massa (kg).
 g = Gravitasi (9,81 m/s²).

- Menghitung Torsi Turbin

$$T = F \cdot r$$

Dimana:
 T = Torsi (N.m)
 F = Gaya (N)
 r = Jari-jari poros (m)

- Menghitung Kecepatan Angular Turbin

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

Dimana:
 ω = Kecepatan angular (rad/s).

Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Dengan Sudu Utama Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja Turbin *Crossflow*

n = Putaran (rpm).

- Menghitung Daya Turbin

$$P_t = T \cdot \omega$$

Dimana:

P_t = Daya turbin (Watt).

T = Torsi (N.m).

ω = Kecepatan angular (rad/s).

- Menghitung Efisiensi Turbin

$$\eta = \frac{P_t}{P_a} \times 100\%$$

Dimana:

η = Efisiensi turbin.

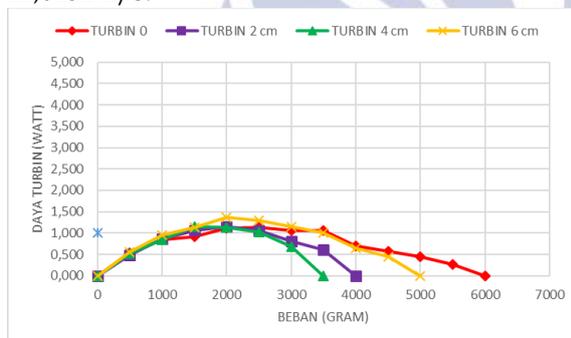
P_t = Daya turbin. (Watt).

P_a = Daya air. (Watt).

Pembahasan

- Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Terhadap Daya Turbin**

Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Terhadap Daya Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 11,0231 L/s.

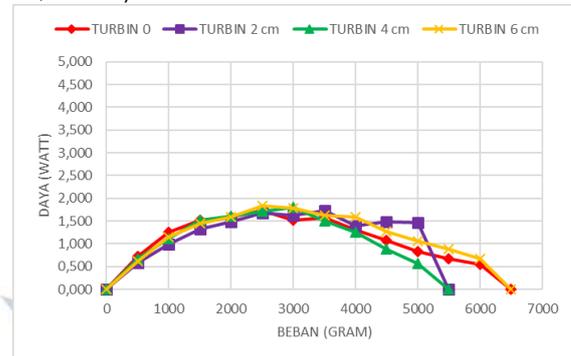


Gambar 4. Grafik Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Terhadap Daya Turbin Kapasitas Aliran Air 11,0231 L/s.

Dari Gambar 4, daya turbin pada pergantian sudu nol terus meningkat hingga beban 2500 gram, dan daya yang dihasilkan 1,137 watt, lalu daya berkurang sampai turbin berhenti berputar di bawah beban 6000 gram. Selanjutnya daya turbin dinaikkan menjadi beban 2000 g ketika celah sudu 2 cm, menghasilkan daya sebesar 1,143 watt, lalu daya diturunkan hingga turbin berhenti berputar di bawah beban 4000 g. Kemudian pada turbin jarak selah sudu 4 cm, maka daya turbin juga bertambah dibeban 1500 gram, daya yang dibangkitkan sebesar 1.147 watt, dan daya turun sampai turbin berhenti berputar dan beban menjadi 3500 gram. Selanjutnya dayaturbin dinaikkan menjadi beban 2000 gram, pada titik dimana celah sudu berubah 6

cm menghasilkan daya 1,374 watt, dan tidak akan berhenti sampai beban 5000 gram.

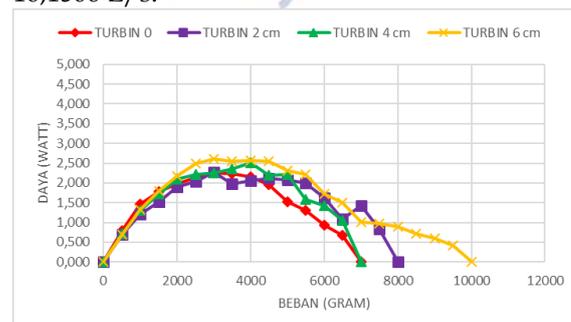
Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Terhadap Daya Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 14,3205 L/s.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Variasi Rasio Sudu Pengganggu Terhadap Daya Turbin Kapasitas Aliran Air 14,3205 L/s.

Dari Gambar 5, daya turbin pada pergantian sudu nol terus meningkat hingga beban 2500 gram, dan daya yang dihasilkan 1,723 watt, lalu daya berkurang sampai turbin berhenti di bawah pembebanan 6500 gram. Selanjutnya dayaturbin dinaikkan dibeban 2500 g ketika celah sudu 2 cm, menghasilkan daya sebesar 1,732 watt, lalu daya diturunkan hingga turbin berhenti berputar di bawah beban 5500 g. Kemudian pada saat turbin berubah sebesar 4 cm pada jarak celah sudu maka daya turbin juga bertambah menjadi beban 3000 gram, daya yang dibangkitkan sebesar 1.803 watt, dan daya turun hingga turbin berhenti berputar dibeban 5500 gram. Selanjutnya dayaturbin dinaikkan dibeban 2500 gram, pada titik dimana celah sudu berubah 6 cm menghasilkan daya 1,828 watt, dan tidak akan berhenti sampai beban 6500 gram.

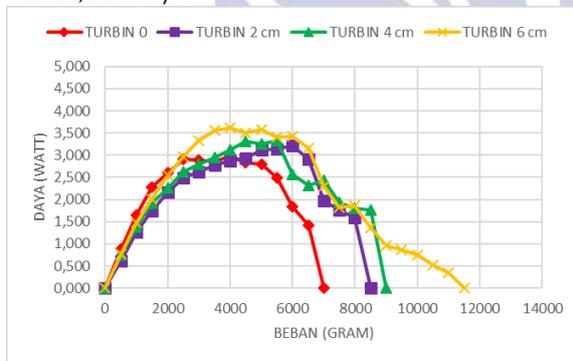
Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Terhadap Daya Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 16,1506 L/s.



Gambar 6. Grafik Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Terhadap Daya Turbin Kapasitas Aliran Air 16,1506 L/s.

Dari gambar 6 daya turbin pada variasi sudu 0 terus meningkat sampai pembebanan 3000 gram, dan daya yang diperoleh sebesar 2,260 Watt, lalumengalami penurunan daya hingga membuat turbin berhenti dipembebanan 7000 gram. kemudian dayaturbin pada variasi jarak celah sudu pengganggu 2 cm meningkat hingga pembebanan 3000 gram, dan daya yang dihasilkan sebesar 2,268 Watt, dan daya menurun hingga turbinberhenti berputar dipembebanan 8000 gram. Kemudian daya turbinpada variasi jarak celah sudu pengganggu 4 cm juga meningkat sampai dengan pembebanan 4000 gram, daya yang dihasilkan 2,503 Watt, dan daya turun hingga turbin berhenti berputar dipembebanan 7000 gram. Daya turbin selanjutnya adalah pada variasi jarak selah sudu pengganggu 6 cm meningkat sampai dipembebanan 3000 gram, daya yang diperoleh sebesar 2,601 Watt, dan berhenti sampai pembebanan 10000 gram

Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Terhadap Daya Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 18,1116 L/s.



Gambar 7. Grafik Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Terhadap Daya Turbin Kapasitas Aliran Air 18,1116 L/s.

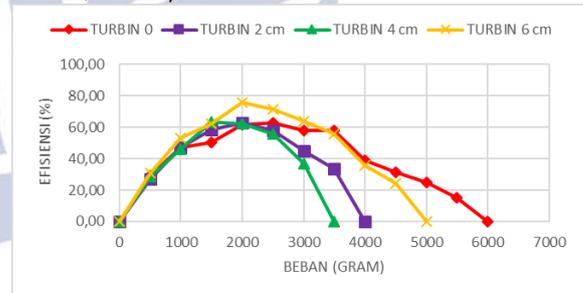
Dari Gambar 7, daya turbin pada pergantian sudu nol terus meningkat hingga beban 4000 gram, dan daya yang dihasilkan 2,995 watt, lalu daya mulai berkurang hingga turbin berhenti berputar di bawah pembebanan 7000 gram. Selanjutnya daya turbin dinaikkan menjadi beban 5500 g ketika menggunakan celah sudu 2 cm, memperoleh daya sebesar 3,214 watt, dan daya menurun hingga turbin berhentiberputar di bawah beban 8500 g. Kemudian pada jarak selah turbin 4 cm, daya turbin bertambah dibeban 55000 gram, daya yang dibangkitkan sebesar 3,323 watt, dan daya turun hingga turbin berhenti berputar dibeban 9000 gram. Selanjutnya daya turbin dinaikkan dibeban 4000 gram, pada titik dimana selah sudu 6 cm,

menghasilkan daya 3,618 watt, dan tidak akan berhenti sampai beban 11500 gram.

Dari penelitian yang dilakukan daya maksimum yang dihasilkan turbin dengan jarak selah 6 cm pada sudu pengganggu adalah sebesar 3,618 watt, pada saat debit air sebesar 18,1116 L/s. Hal ini karena pada turbin dimana jarak selah sudu pengganggu 6 cm, sudu pengganggu terlebih dahulu didorong oleh aliran air, kemudian sudu utama, sehingga menghasilkan aliran air bertingkat. Hal ini membuat aliran air menjadi lebih efisien dan menggunakan energi kinetik air untuk menggerakkan turbin dibandingkan dengan turbin dengan varietas sudu pengganggu sebesar 2 cm, 4 cm dan tanpa sudu pengganggu. Pada saat yang sama, pada titik-titik tertentu, karena beban yang besar, nilai daya yang dihasilkan turun, dan diperlukan gaya yang besar untuk memutar turbin

• **Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Terhadap Efisiensi Turbin**

Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Terhadap Efisiensi Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 11,0231 L/s.



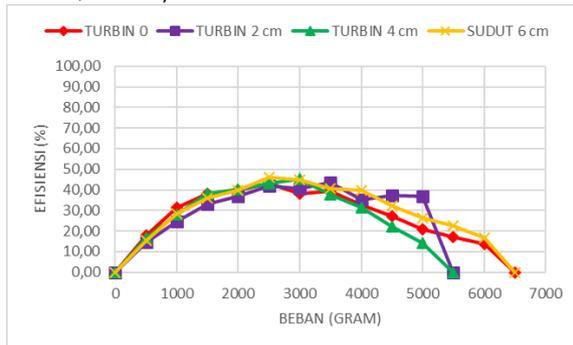
Gambar 8. Grafik Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Terhadap Efisiensi Turbin Kapasitas Aliran Air 11,0231 L/s.

Dari gambar8 grafik efisiensi turbin pada varietas sudu 0 meningkat hingga sampai dibeban 2500 gram, efisiensi yang didapatkan yaitu 62,61%, kemudian berhenti berputar dipembebanan 6000 gram. Berikutnya efisiensi turbin pada varietas jarak celah sudu pengganggu 2 cm, mengalami peningkatan dipembebanan 2000 gram, dengan efisiensi yang dihasilkan yaitu sebesar 62,93% dan berhenti berputar dipembebanan 4000 gram. Selanjutnya efisiensi turbin pada varietas jarak celah sudu pengganggu 4 cm, mengalami peningkatan efisiensi turbin dipembebanan 1500 gram, dengan efisiensi yang dihasilkan 63,13%. Kemudian berhenti berputar dipembebanan 3500 gram. Efisiensi turbin selanjutnya adalah pada variasi jarak celah sudu

Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Dengan Sudu Utama Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja Turbin *Crossflow*

pengganggu 6 cm, meningkat dipembebanan 2000 gram, dengan efisiensi yang dihasilkan 75,63% dan berhenti dipembebanan 5000 gram.

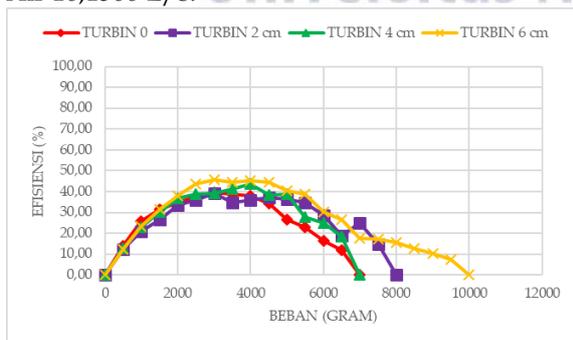
Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Terhadap Efisiensi Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 14,3205 L/s.



Gambar 9. Grafik Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Terhadap Efisiensi Turbin Kapasitas Aliran Air 14,3205 L/s.

Dari gambar 9 efisiensi turbin pada varietas sudu 0 meningkat dipembebanan 2500 gram, dan efisiensi yang dihasilkan sebesar 43,25%. Kemudian berhenti berputar dipembebanan 6500 gram. Selanjutnya pada variasi jarak celah sudu pengganggu 2 cm, mengalami peningkatan dipembebanan 2500 gram, dan mendapatkan efisiensi sebesar 43,48%. Lalu berhenti berputar dipembebanan 5500 gram. Selanjutnya pada varietas jarak celah sudu 4 cm, meningkatkan efisiensi turbin dipembebanan 3000 gram, dengan efisiensi yang dihasilkan 45,27%, lalu berhenti berputar dipembebanan 5500 gram. Selanjutnya adalah pada varietas jarak celah sudu pengganggu 6 cm, meningkat dipembebanan 2500 gram, efisiensi yang diperoleh 45,90% kemudian berhenti sampai pembebanan 6500 gram.

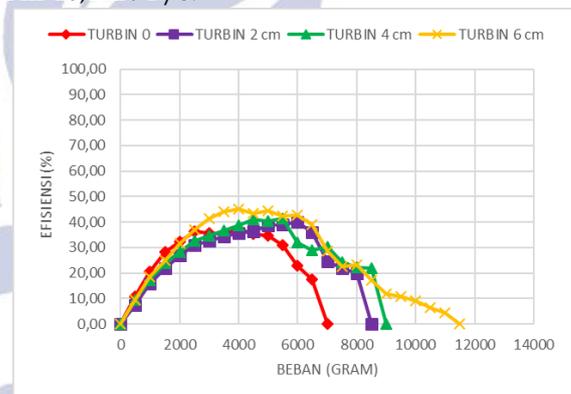
Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Terhadap Efisiensi Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 16,1506 L/s.



Gambar 10. Grafik Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Terhadap Efisiensi Turbin Kapasitas Aliran Air 16,1506 L/s.

Dari gambar 10 grafik efisiensi turbin pada varietas sudu 0 meningkat dipembebanan 3000 gram, nilai efisiensi yang didapatkan sebesar 39,55%, dan mulai menurun sampai turbin berhenti berputar dipembebanan 7000 gram. Selanjutnya efisiensi turbin pada variasi jarak celah sudu pengganggu 2 cm, mengalami peningkatan dipembebanan 3000 gram, nilai efisiensi yang didapat sebesar 39,70% lalu mengalami penurunan efisiensi hingga turbin berhenti berputar dipembebanan 8000 gram. Kemudian efisiensi turbin pada varietas jarak celah sudu pengganggu 4 cm, meningkat dipembebanan 4000 gram, dengan nilai efisiensi yang dihasilkan 43,80%, dan mengalami penurunan efisiensi hingga turbin berhenti berputar dipembebanan 7000 gram. Selanjutnya pada varietas jarak celah sudu pengganggu 6 cm, meningkat dipembebanan 3000 gram, dengan efisiensi yang dihasilkan 45,52% dan berhenti dipembebanan 10000 gram.

Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Terhadap Efisiensi Turbin Pada Kapasitas Aliran Air 18,1116 L/s.



Gambar 11. Grafik Pengaruh Variasi Jarak Celah Sudu Pengganggu Terhadap Efisiensi Turbin Kapasitas Aliran Air 18,1116 L/s.

Dari gambar 11 grafik efisiensi turbin pada variasi sudu 0 meningkat dipembebanan 4000 gram, dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 37,17%, lalu mengalami penurunan efisiensi hingga turbin berhenti berputar dipembebanan 7000 gram. Efisiensi turbin pada variasi jarak celah sudu pengganggu 2 cm, mengalami peningkatan dipembebanan 5500 gram, efisiensi yang dihasilkan sejumlah 39,98% dan efisiensi menurun hingga berhenti berputar dipembebanan 8500 gram. Efisiensi turbine pada variasi jarak celah sudu pengganggu 4 cm, juga mengalami peningkatan efisiensi turbin dipembebanan 5500 gram, dengan efisiensi yang dihasilkan 41,24% dan mengalami

penurunan efisiensi hingga turbin berhenti berputar dipembebanan 9000 gram. Selanjutnya adalah variasi jarak celah sudu pengganggu 6 cm, meningkat sampai dipembebanan 4000 gram, dan efisiensi yang dihasilkan 44,90% dan berhenti sampai pembebanan 11500 gram.

Dari penelitian yang dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa turbin dengan variasi jarak celah sudu pengganggu 6 cm, memiliki efisiensi tertinggi dibandingkan dengan variasi lainnya yaitu sebesar 75,63% dikapasitas 11,0231 L/s. Nilai efisiensi berbanding lurus dengan nilai dayayang dihasilkan turbine, karna efisiensi didapatkan dari daya turbin dibagi dengan daya air kemudian dikali dengan 100 %. Persamaan tersebut membuktikan bahwa kapasitas aliran mempengaruhi peningkatan dayayang berpengaruh, juga terhadap nilai efisiensi dikarenakan adanya putaran dan torsi yang terus meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional. (2019). Indonesia *Energy Out Look* 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.
- Ihsanto, 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.
- Rahmanto, A., & Siregar, I. H. (2019). Studi Eksperimen Pengaruh Jarak Celah *Blade* Pengganggu Dengan *Blade* Utama Terhadap Kinerja Savonius. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(2).
- 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.
- 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>.
- Prambanan, M. M. (2017, Mei 20). Makalah Bab TURBIN. Diakses pada tanggal 15 Juni 2021, dari mcpprambanan.wordpress.com: <https://mcpprambanan.wordpress.com/2017/05/20/makalah-bab-turbin/>.
- Sudrajat, A. (2017, April 17). Jenis Turbin Air. Diakses pada tanggal 15 Juni 2021, dari tulisanazat.blogspot.com: <https://tulisanazat.blogspot.com/2017/04/jenis-jenis-turbin-air.html>.
- Mafruddin, M., & Irawan, D. (2014). Pembuatan Turbin Mikrohidro Tipe Cross-Flow Sebagai Pembangkit Listrik Di Desa Bumi Nabung Timur. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 3(2).
- Mockmore, C. A & Merryfield, Fred. (1949). *The Banki Water Turbine*. Covallis: Bulletin Series No.25.
- Pritchard, P. J., & Leylegian, J. C. (2011). *Introduction to Fluid Mechanics* Eighth Edition. Danver: John Wiley & Sons.
- Munson, B. R., Young, D. F., & Okiishi, T. H. (2009). *Fundamentals of Fluid Mechanics*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (2005). *A Textbook of Machine Design (S.I. Units)*. New Delhi: Eurasia Publishing House.