



NOZEL

Jurnal Pendidikan Teknik Mesin

Jurnal Homepage: <https://jurnal.uns.ac.id/nozel>



PENGARUH JUMLAH SUDU TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN AIR CROSSFLOW UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PICO HIDRO

Kukuh Lintang Pradisha, Husin Bugis¹, Danar Susilo Wijayanto¹

¹Pendidikan Teknik Mesin, FKIP, Universitas Sebelas Maret
Kampus V UNS Pabelan Jl. Ahmad Yani Nomor 200, Surakarta
Email : kukuhlintang19@student.uns.ac.id

Abstract

Indonesia has the potential for water energy that can be utilized as a pico-scale hydroelectric power plant or PLTPH. Water is a renewable energy (EBT) which has the potential to be developed in Indonesia due to the geographical conditions that have a lot of water in mountainous areas as well as irrigation for residential areas. Water turbines can convert water energy into electrical energy. One type of turbine that can be utilized is a crossflow water turbine. This study aims to determine the effect of the number of blades with the use of a nozzle on the power and efficiency of the turbine produced by the crossflow water turbine. The study used experimental methods, the data obtained were analyzed using quantitative descriptive analysis techniques. Variations in the number of blades used in the study were blades with a total of 18 blades, 20 blades, and 22 blades, as well as variations in the angle of attack of the nozzle used, namely 20°, 25°, 30°, 35°, and 40°. The results showed that there was an effect of using the number of blades and nozzle diameter. The power and efficiency of the turbine fluctuate based on the water discharge. The highest data was obtained at a water discharge of 25.33 l/m, namely using a number of 22 blades using a nozzle diameter of 7 mm to produce 9.47 watts of electric power with an efficiency of 58%.

Keywords: Crossflow water turbine, PLTPH, number of blades, nozzle angle of attack, electric power, efficiency

A. PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang tak ada habisnya dan terus dapat tersedia melalui siklus global, evaporasi dan penumpukan menjadi awan.

Panas dari sinar matahari menyebabkan air danau dan air laut menguap dan membentuk awan. Air kemudian jatuh kembali ke bumi melalui hujan dan mengalir ke saluran air dan kembali ke laut

melalui interaksi mekanis. Sumber energi ini adalah sebagai saluran air di lingkungan pemukiman di daerah yang tidak rata, ada beberapa aliran air yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan turbin air untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat sekitar. Salah satu alat untuk memanfaatkan energy air menjadi energy terbarukan ialah turbin air tipe *Crossflow* yang paling umum diterapkan dan diaplikasikan sebagai komponen Pembangkit Listrik Tenaga Air.

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) adalah pembangkit yang memanfaatkan energi potensial dan kinetik pada air menjadi energi mekanik, energi air adalah energi yang telah dimanfaatkan secara luas di Indonesia untuk pembangkit listrik (Siswadi & Nugraha, 2020). Selanjutnya, sistem tenaga air dapat membantu kebutuhan manusia dengan skala kecil. Turbin air mengubah energi dari air yang mengalir menjadi energi mekanik. Energi mekanik dapat mendorong turbin kemudian menggerakkan *generator* yang menghasilkan tenaga listrik.

Energi air adalah sumber energi terbarukan yang paling banyak digunakan di seluruh dunia karena menyumbang

kurang dari 20% dari daya listrik dunia dari pembangkit listrik besar dan kecil (Uyun et al., 2020). Dan juga perkembangan pembangunan pembangkit listrik terus dilakukan untuk memenuhi kebutuhan kelistrikan masyarakat. Namun, pembangkit yang telah ada masih sangat mahal sehingga diperlukan sebuah pembangkit listrik sederhana yang memiliki biaya dan lahan yang minim. Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro (PLTPh) merupakan salah satu alternatif pembangkit listrik yang lebih murah dan tidak membutuhkan lahan yang luas (Bandri et al., 2021).

Secara teknis, picohydro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator. Parameter desain yang mempengaruhi pembangkit listrik tenaga air adalah jumlah sudu, bentuk sudu, rpm, sudut serang, dan transmisi. Pemilihan jenis turbin air disesuaikan dengan debit air. Turbin air merupakan mesin konversi energy yang berfungsi untuk merubah/mengkonversikan energi potensial (*head*) yang dimiliki oleh air ke bentuk energi mekanik pada poros turbin. Turbin *crossflow* adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (*impulse turbine*).

Turbin air *crossflow* adalah salah satu turbin aksi. Besarnya putaran turbin air *crossflow* ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu pada saat air masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu saat air meninggalkan runner. Perancangan dan pembuatan runner turbin air *crossflow* mempunyai pengaruh yang besar terhadap putaran. Konstruksi runner turbin air *crossflow* diantaranya adalah jumlah sudu, ketebalan sudu, kelengkungan sudu, dan bentuk profil sudu (Irawan & Mujiburrahman, 2018). Jenis turbin tipe *crossflow* mempunyai keunggulan, karena turbin tipe *crossflow* mempunyai konstruksi turbin yang sederhana, di sisi lain efisiensi turbin yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin lainnya. Pemakaian turbin tipe *crossflow* juga menghemat biaya dalam pembuatannya karena konstruksinya lebih sederhana dibandingkan dengan turbin tipe lainnya, selain itu keistimewaan turbin *crossflow* adalah masih bisa digunakan pada tinggi jatuh 1 m dengan kapasitasnya antara 0,02 m³ /dt sampai dengan 7 m³ /dt (Dirtzel, 1990).

Pada penelitian yang dilakukan oleh

Ahmad Yani dkk. menunjukkan adanya pengaruh bentuk sudu terhadap daya dan efisiensi turbin air kinetik yaitu bentuk sudu lengkung memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan bentuk sudu datar dan mangkuk. Daya dan efisiensi turbin maksimum terjadi pada sudu lengkung dengan nilai sebesar 4,699 Watt dan 29,659 %, kemudian menurun pada sudu mangkuk dengan nilai daya dan efisiensi sebesar 4,508 Watt dan 28,457 %. Sedangkan daya dan efisiensi turbin terendah terjadi sudu datar dengan nilai daya dan efisiensi sebesar 3,080 Watt dan 19.439 %.

Berdasarkan hasil penelitian pada jurnal diatas maka penulis tertarik untuk melihat bagaimana pengaruh Uji Variasi Jumlah Sudu dan Sudut Serang Pada Turbin *Crossflow* Terhadap daya dan Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Air Mikro Hidro, dimana variasi jumlah sudu yang digunakan pada turbin adalah 18, 20, 22 dan sudut serang yang di variasikan 20°, 25°, 30°, 35°, 40°. Setelah itu dicari nilai dari efisiensi turbin dalam mengkonversi daya air, efisiensi generator dalam mengkonversi daya turbin dan efisiensi generator dalam mengkonversi daya turbin. Pada penelitian ini akan dirancang turbin *crossflow* dengan pendekatan nilai efisiensi

maksimum yang selanjutnya akan dievaluasi kinerja turbin ini secara teoritis agar didapatkan hasil rancangan turbin yang optimal.

B. METODE

Penelitian yang akan dilakukan menggunakan metode eksperimen. Kegiatan yang dilakukan yaitu melakukan rancang bangun turbin, persiapan sampel jumlah sudu yang digunakan, pengambilan data, dan analisis data. Pengujian dilakukan dengan menganalisis besar daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin *crossflow* dengan jumlah sudu yang ditentukan.

Jumlah sudu yang akan diujicobakan yaitu 18 sudu, 20 sudu, dan 22 sudu. Pengambilan data daya turbin yang dihasilkan menggunakan rumus perhitungan daya hidrolis, daya turbin dan efisiensi turbin. Debit air diukur dengan menggunakan *flowmeter*, sedangkan tegangan dan arus generator diukur dengan *multitester*. Data yang diperoleh akan dianalisis menggunakan teknik analisis deskriptif kuantitatif. Tahap terakhir penelitian ini yaitu pengambilan kesimpulan berdasarkan hasil analisis.

1. Alat Penelitian

a. Las listrik

Las listrik digunakan untuk melakukan pengelasan rangka turbin air *crossflow* dengan menyambung benda kerja dengan cara melelehkan elektroda panas ke benda kerja.

b. Gerinda tangan

Gerinda tangan digunakan untuk mengasah hasil pengelasan serta memotong dan merapikan benda kerja.

c. *Roll Meter*

Roll meter digunakan untuk mengukur dimensi turbin air *crossflow* agar sesuai dengan desain yang dibuat. Ketelitian *roll meter* yang digunakan yaitu 1 mm.

d. Pompa air

Pompa air dalam penelitian ini digunakan untuk memindahkan fluida dari tempat ke tempat lain dengan menggunakan tenaga listrik. pompa air yang digunakan adalah model JET-108 BIT yang bekerja pada tegangan listrik 450 v dan arus listrik 1,6 A. Pompa air dapat mengalirkan air dengan debit sampai dengan 50 l/m.

e. *Flowmeter* berbasis *Arduino*

Flowmeter digunakan untuk mengukur laju aliran air yang mengalir sehingga dapat diketahui debit air yang dipancarkan dari pompa listrik. *Flowmeter* yang digunakan berbasis *arduino uno* yang sudah terintegrasi *sd card*, sehingga dalam pencatatan data dapat dilakukan secara otomatis.



Gambar 1 *Flowmeter*

Flow sensor yang digunakan adalah *flow sensor* model FS300A G3/4 digunakan pipa ukuran 3/4. *Flow sensor* dapat bekerja pada interval debit 1 l/m sampai dengan 60 l/m pada tekanan air di bawah 1,20 MPa.



Gambar 2 *Flow Sensor*

f. *Tachometer*

Tachometer digunakan untuk mengukur putaran poros turbin dengan mengarahkannya ke poros turbin hingga muncul hasil dari putaran turbin. Ketelitian *tachometer* yang digunakan adalah 0,1 rpm. *Tachometer* yang digunakan dapat bekerja pada 2 rpm s/d 20.000 rpm.



Gambar 3 *Tachometer*

g. *Multimeter* berbasis *Arduino*

Multimeter adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengukur tegangan dan arus pada generator pada turbin air *crossflow*. Ketelitian *multimeter* yang digunakan yaitu 0,001 v. *Multimeter* yang digunakan dapat membaca tegangan listrik diatas 5 v.



Gambar 4 *Multimeter* Berbasis *Arduino*

2. Bahan Penelitian

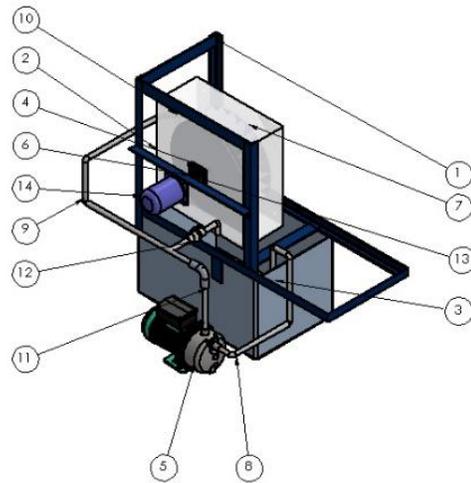
a. Turbin air *crossflow*

Turbin air *crossflow* yang digunakan pada penelitian ini adalah turbin hasil rancang bangun dalam skala laboratorium dengan jenis turbin *crossflow horizontal*.



Gambar 5 Rumah Turbin

Dimensi rumah turbin air *crossflow* berbentuk persegi dengan ukuran 45 cm x 45 cm x 21 cm, sedangkan rangka turbin memiliki dimensi 40 cm x 96,5 cm x 70 cm.



Gambar 6 Bagian-Bagian Turbin Air *Crossflow*

keterangan:

1. Rangka
 2. Rumah turbin
 3. Bak air
 4. *Bracket bearing*
 5. Pompa air
 6. *Bearing*
 7. Sudu
 8. Pipa *input*
 9. Pipa *output*
 10. *Nozzle*
 11. Pipa siku
 12. Bukaan katup *bypass*
 13. *As*
 14. *Generator*
- b. Bak air

Bak air berfungsi untuk menampung sumber air untuk

menggerakkan turbin dan menampung air dari aliran turbin yang berada di bawah turbin dimensi bak air yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan panjang 61,5 cm lebar 41 cm, dan tinggi 37 cm dengan kapasitas maksimal air 93 liter.

c. *Generator*

Generator dalam penelitian ini menjadi alat yang mengubah gerak turbin menjadi listrik. *Generator* yang digunakan merupakan generator tipe AC 3 *phase*. Daya listrik maksimal yang dapat dihasilkan sebesar 100 watt.

3. Sistem Konversi Energi

a. Debit air

Generator dalam penelitian ini menjadi alat yang mengubah gerak turbin menjadi listrik. *Generator* yang digunakan merupakan generator tipe AC 3 *phase*. Daya listrik maksimal yang dapat dihasilkan sebesar 100 watt.

b. Daya Potensi

Pengukuran daya hidrolis dilakukan setelah mengetahui debit air berdasarkan variasi head yang diasumsikan. Rumus persamaan

daya hidrolis sebagai berikut (Munthe et al., 2015) :

$$W_p = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h$$

keterangan:

W_p : daya hidrolis (*Watt*)

ρ : massa jenis air (997 kg/m³)

Q : debit air (m³/s)

H : *head* (m)

g : percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

c. Putaran poros turbin

Pengukuran poros turbin atau torsi dapat dilakukan dengan menggunakan alat *tachometer* yang diarahkan ke poros turbin yang berputar saat dilakukan pengujian. Torsi dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut : (Putra & Prasetyo, 2018)

$$\tau = F_g \cdot r$$

keterangan:

τ = torsi (Nm)

F_g = gaya pada poros (N)

r = jari-jari poros (m)

d. Daya Turbin

Daya turbin air crossflow diperoleh hasil perhitungan torsi (τ) dan putaran turbin. Torsi diperoleh dari perkalian gaya gesek

(Fg) dengan jari jari poros turbin. Gaya gesek merupakan selisih dari gaya tarik (F_{Te}) dengan gaya tekan (F_{Ta}) pada saat pengereman. Gaya tekan maupun gaya tarik dapat diketahui dengan alat ukur neraca gantung yang dikaitkan dengan poros sampai poros turbin. Daya turbin dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut : (Sugiri, 2011)

$$W = \frac{2 \times \pi \times n \times \tau}{60}$$

e. Daya listrik

Besar daya listrik besar putaran poros turbin yang dihubungkan dengan *couple*. Daya listrik merupakan perkalian dari tegangan dan arus listrik, sehingga rumus untuk mengetahui daya generator sebagai berikut: (Suswantoro et al., 2021)

$$W_l = V \cdot I$$

keterangan:

W_l : daya generator (*Watt*)

V : tegangan (*Volt*)

I : arus (*Ampere*)

f. Efisiensi turbin *generator*

Efisiensi merupakan perbandingan dari input yang

berasal dari daya hidrolis dengan output yang berasal dari daya generator. Besarnya efisiensi dapat dirumuskan sebagai berikut: (Suswantoro et al., 2021)

$$\eta = \frac{P_H}{P_g}$$

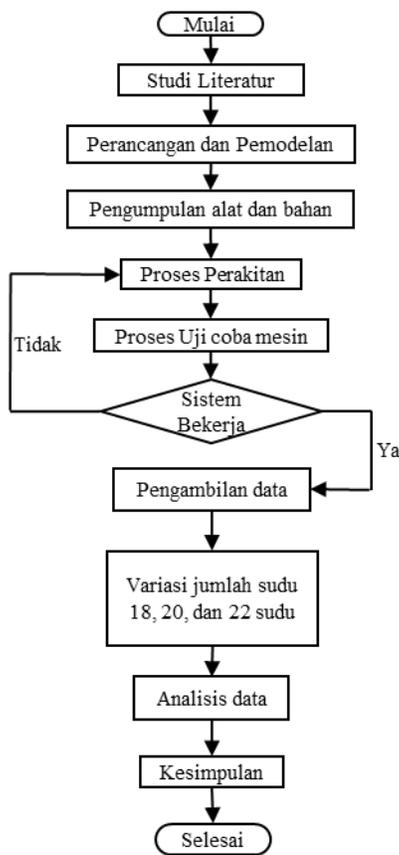
keterangan;

η : efisiensi turbin

P_H : daya hidrolis (*Watt*)

P_g : daya generator (*Watt*)

Prosedur penelitian yang akan dilakukan digambarkan sebagai berikut:

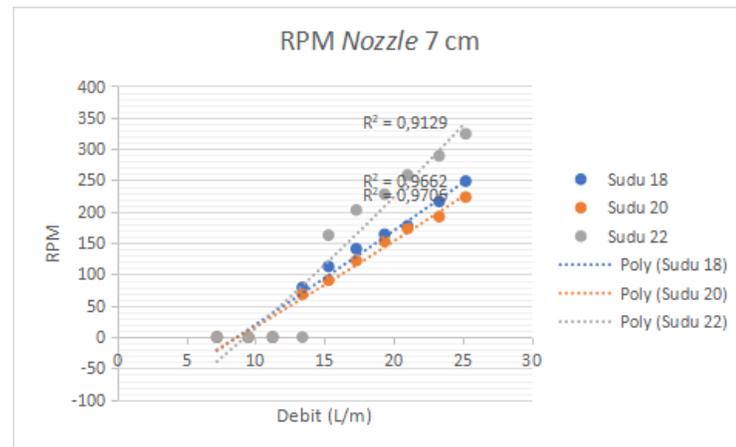


Gambar 7 Prosedur Penelitian

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kecepatan Putaran Poros Turbin Air Crossflow

Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk grafik yang menunjukkan pengaruh variasi jumlah sudu terhadap peningkatan kecepatan putaran turbin pada debit air dari 7,19 l/m sampai dengan 25,33 l/m. Grafik data hasil pengujian kecepatan putaran turbin air *crossflow* disajikan berikut.



Gambar 8 Pengaruh Jumlah Sudu terhadap Kecepatan Poros Turbin

Gambar 8 menunjukkan besar kecepatan putaran pada jumlah sudu 18 sudu, 20 sudu, dan 22 sudu dengan menggunakan *nozzle* diameter 7 mm. Data menunjukkan bahwa kecepatan putaran poros turbin tertinggi pada debit air 25,33 l/m, yaitu 18 sudu sebesar 248,64 rpm, 20 sudu sebesar 223,8 rpm, 22 sudu sebesar 324,05 rpm.

Data yang diperoleh menunjukkan bahwa kecepatan putaran poros turbin air *crossflow* pada sudut serang *nozzle* 30° dengan jumlah 22 sudu lebih baik digunakan, karena menghasilkan putaran turbin lebih besar. Hasil ini disebabkan oleh semakin banyak jumlah sudu, maka fluida air dari

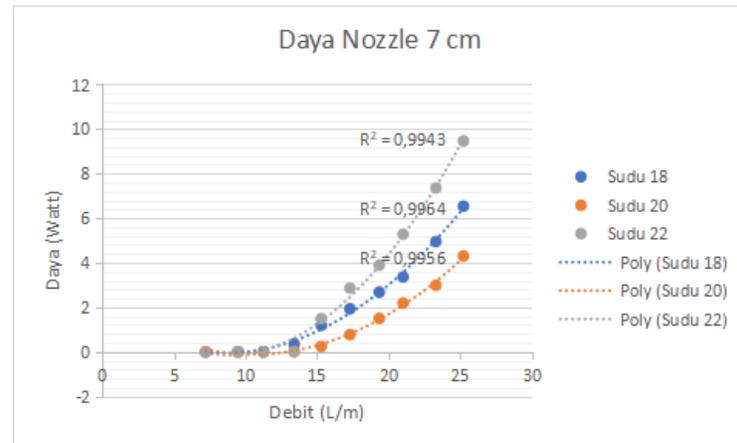
pancaran sumber air semakin banyak yang mengenai sudu turbin, sehingga turbin lebih banyak menerima gaya mekanik yang diterima yang berasal dari fluida untuk memutar sudu turbin yang dihubungkan dengan *generator*.

Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Suswantoro et al. (2021) menganalisis pengaruh jumlah sudu turbin air *crossflow* pada skala laboratorium dengan penggunaan jumlah sudu 12 sudu, 18 sudu, dan 24 sudu dengan ketinggian *head* menunjukkan semakin banyak jumlah sudu yang digunakan mengakibatkan semakin besar daya listrik yang dihasilkan. Hasil daya listrik tertinggi pada *head* 1,95 m dengan hasil 0,035 watt pada jumlah sudu 12, 0,0533 watt pada jumlah sudu 18, 0,0734 pada jumlah sudu 24.

2. Daya Listrik Turbin Air *Crossflow*

Daya listrik turbin air *crossflow* dihitung dengan cara perkalian antara tegangan listrik (v) dengan kuat arus listrik (A). Data dihitung dengan menggunakan

aplikasi *Microsoft Excel* dari keseluruhan variasi penelitian. Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk grafik yang menunjukkan pengaruh variasi jumlah sudu terhadap peningkatan daya listrik pada perubahan debit air dari 7,19 l/m sampai dengan 25,33 l/m. Grafik data hasil pengujian turbin air *crossflow* disajikan seperti berikut.



Gambar 9 Pengaruh Jumlah Sudu terhadap Daya Listrik yang Dihasilkan

Gambar 9 menunjukkan besar daya listrik turbin air *crossflow* dengan jumlah sudu dengan 18 sudu 20 sudu, dan 22 sudu dan menggunakan *nozzle* diameter 7 mm. Data menunjukkan bahwa daya listrik tertinggi pada turbin air *crossflow* pada debit air 25,33

1/m yaitu 18 sudu sebesar 6,54 W, 20 sudu sebesar 4,3 W, dan 22 sudu sebesar 9,47 W. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa daya listrik turbin air *crossflow* dengan menggunakan variasi jumlah sudu 22 sudu lebih baik digunakan dari pada jumlah sudu yang lain.

Hasil ini disebabkan karena putaran turbin yang dihasilkan dipengaruhi oleh jumlah sudu. Sudu lebih banyak dapat menerima gaya mekanik lebih banyak dari pancaran air untuk memutar poros turbin.

Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Mafruddin & Irawan (2018) jumlah sudu turbin air *crossflow* berpengaruh terhadap daya listrik yang dihasilkan yaitu dengan hasil data tertinggi pada jumlah sudu 16 sudu menghasilkan 258,19 watt, 18 sudu menghasilkan daya 363,89 watt, dan 20 sudu menghasilkan 325,19 watt.

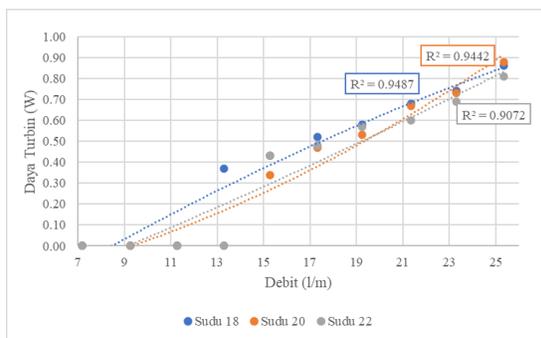
3. Efisiensi Turbin Air *Crossflow*

Efisiensi turbin air *crossflow* diperoleh dari pembagian antara daya turbin dengan daya potensi.

Daya turbin air *crossflow* diperoleh hasil perhitungan torsi (τ) dan putaran turbin. Torsi diperoleh dari perkalian gaya gesek (F_g) dengan jari jari poros turbin. Gaya gesek merupakan selisih dari gaya tarik (F_{Te}) dengan gaya tekan (F_{Ta}) pada saat pengereman. Gaya tekan maupun gaya tarik dapat diketahui dengan alat ukur neraca gantung yang dikaitkan dengan poros sampai poros turbin. Perhitungan torsi pada penelitian ini sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\tau &= F_g \cdot r \\ &= (m_{Ta} - m_{Te}) \times g \times r \\ &= (1,255 \\ &\quad - 0,845) \times 9,81 \times 0,01 \text{ m} \\ &= 0,0402210 \text{ Nm}\end{aligned}$$

Grafik data daya turbin pada penelitian disajikan sebagai berikut.



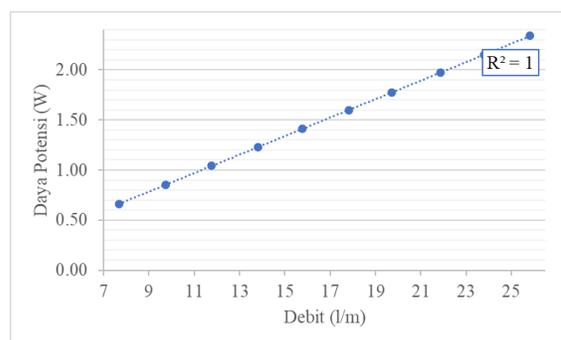
Gambar 10 Pengaruh Jumlah Sudu terhadap Daya Turbin

Gambar 10 menunjukkan besar daya turbin air *crossflow* berdasarkan variasi jumlah sudu 18 sudu, 20 sudu, dan 22 sudu. Data menunjukkan bahwa daya turbin tertinggi ditunjukkan pada debit 25,33 l/m pada jumlah sudu 18 sudu sebesar 0.86 watt, 20 sudu sebesar 0.88 watt, dan 22 sudu sebesar 0,81 watt.

Daya potensi turbin air diperoleh dengan menggunakan perhitungan perkalian antara masa jenis air, gaya grafitasi bumi, debit air, dan *head*. Satuan debit air dikonversikan dari l/m menjadi m^3/s . *Head* diasumsikan memiliki ketinggian 0,57 m yang diukur dari sumber air hingga ke turbin.

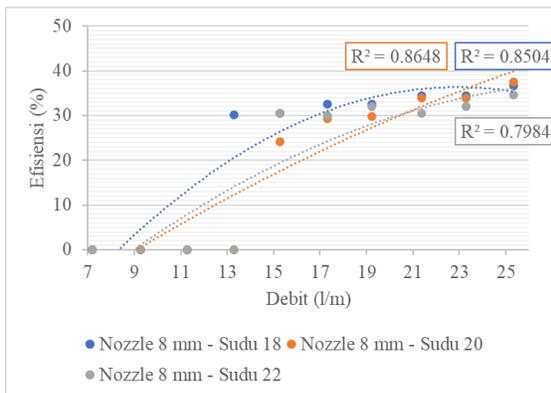
Grafik data daya potensi turbin air *crossflow* dapat disajikan dalam

Gambar 14. Data menunjukkan semakin besar debit air yang mengalir, maka semakin besar daya potensi turbin air *crossflow*. Data menunjukkan daya potensi tertinggi yaitu pada debit air 25,33 l/m sebesar 2,34 watt.



Gambar 11 Daya Potensi Turbin Air *Crossflow* Berdasarkan Perubahan Debit Air

Berdasarkan daya turbin dan daya potensi yang dihasilkan, maka data grafik efisiensi turbin air *crossflow* disajikan pada Gambar 12. Efisiensi tertinggi yang dihasilkan adalah 38%.



Gambar 12 Pengaruh Jumlah Sudu terhadap Efisiensi Turbin Air *Crossflow*

Hasil ini dipengaruhi oleh besar daya turbin berdasarkan besaar kecepatan putaran poros turbin. Semakin besar kecepatan poros turbin makan semakin besar daya turbin yang dihasilkan, karena kecepatan putaran yang tinggi memiliki gaya pengereman yang lebih besar (*torsi*). Daya potensi juga mempengaruhi besar efisiensi turbin dikarenakan semakin sebanding besar daya turbin dengan daya potensi maka semakin besar efisiensi yang dihasilkan.

Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sugiri (2011) menguji pengaruh jumlah sudu turbin air terhadap efisiensi turbin *crossflow* dengan penggunaan jumlah sudu 18 sudu, 20 sudu, dan

22 sudu. Data menunjukkan jumlah sudu mempengaruhi efisiensi turbin. Hasil efisiensi tertinggi yaitu 50% pada jumlah sudu 18, 76% pada jumlah sudu 20, 75% pada jumlah sudu 22.

D. PENUTUP

Simpulan

1. Jumlah sudu berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan turbin air *crossflow*. Turbin air *crossflow* dengan menggunakan jumlah sudu 22 sudu menghasilkan daya listrik lebih besar dari pada jumlah sudu 18 dan 22, dengan daya terbesar yaitu 9,47 W dengan menggunakan sudut serang *nozzle* 30°.
2. Jumlah sudu berpengaruh terhadap terhadap efisiensi turbin air *crossflow*. Turbin air *crossflow* dengan menggunakan jumlah sudu 20 sudu menghasilkan efisiensi turbin lebih besar dari pada jumlah sudu 18 dan 22, dengan efisiensi tertinggi yaitu 58% dengan menggunakan sudut serang *nozzle* 30°.
3. Jumlah sudu terbaik untuk menghasilkan daya listrik dan efisiensi turbin air *crossflow* adalah sudu dengan jumlah sudu 22 sudu, karena

menghasilkan daya listrik dan efisiensi lebih besar dari pada penggunaan jumlah sudu 18 sudu dan 22 sudu.

Saran

Berdasarkan hasil data penelitian dan implikasi di atas, maka saran dalam penelitian berikutnya sebagai berikut:

1. Perlu adanya analisis pemilihan material sudu turbin air *crossflow* yang lebih optimal dalam segi kepresisian dimensi, kepraktisan dalam perakitan dan perawatan turbin air *crossflow*, misalnya dengan menggunakan material PVC yang jauh lebih ringan.
2. Perlu adanya perbaikan rangka turbin air *crossflow* dalam segi ketahanan dan kekuatan terhadap putaran turbin yang tinggi dengan cara klaim pada tiap *part* turbin agar dapat meredam getaran yang dihasilkan putaran turbin.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang pengaruh jarak *nozzle* dengan sudu turbin, diameter *nozzle*, ukuran diameter sudu dan derajat kelengkungan sudu terhadap unjuk kerja turbin air *crossflow*.

DAFTAR PUSTAKA

Afriyanti, Y., Sasana, H., & Jalunggono, G. (2018). Analisis Faktor-Faktor yang

Mempengaruhi Konsumsi Energi Terbarukan di Indonesia. *Directory Journal of Economic*, 2(3), 865–884. <https://doi.org/https://doi.org/10.31002/dinamic.v2i3.1428>

Direktorat Jendral Energi Baru, Terbarukan, dan K. E. (2018). *LKJ DitJen EBTKE 2018*. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral.

<http://drive.esdm.gBandri>, S., Premadi, A., & Andari, R. (2021). Studi Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro (PLTPh) Rumah Tangga. *Jurnal Sains Dan Teknologi: Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknologi Industri*, 21(1), 16. <https://doi.org/10.36275/stsp.v21i1.345>

Dirtzel, F. (1990). Turbin, Pompa, dan Kompresor. erlangga.

Irawan, H., & Mujiburrahman. (2018). Kajian Eksperimental Pengaruh Jumlah Sudu Runner Turbin Air Crossflow terhadap Unjuk Kerja dengan metode Taguchi. *Jurnal Teknik Mesin UNISKA*, 03(02), 80–85.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.31602/al-jazari.v3i1.1397>

Kamran, M., Asghar, R., Mudassar, M., &

- Abid, M. I. (2019). Designing and Economic Aspects of Run-of-Canal Based Micro-hydro System on Balloki-Sulaimanki Link Canal-I for remote villages in Punjab, Pakistan. *Renewable Energy*, 141, 76–87. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.126>
- Mafruddin, & Irawan, D. (2018). Pengaruh Diameter dan Jumlah Sudu Runner terhadap Kinerja Turbin Crossflow. *Turbo Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*, 7(2), 223–229. url: <http://ojs.ummetro.ac.id/index.php/turbo>
- Mafruddin, Irawan, R. M., Setiawan, N., Rajabiah, N., & Irawan, D. (2019). Pengaruh Jumlah Sudu dan Diameter Nozel terhadap Kinerja Turbin Pelton. *Turbo Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*, 8(2), 214–218.
- Padang, Y. A., Okariawan, I. dewa ketut, & Wati, M. (2014). Analisis Variasi Jumlah Sudu Berengsel terhadap Unjuk Kerja Turbin Crosflow Zero Head. *Dinamika Teknik Mesin*, 4(1), 44–54.
- Prabawa, H. P., Mugisidi, D., & Heriyani, O. (2016). Pengaruh Variasi Ukuran Diameter Nozzle terhadap Daya dan Efisiensi Kincir Air Sudu Datar. *Jurnal Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 2(1).
- Ramadhan, M. F., & Prabowo, E. (2020). Rancang Ulang Bangun Penstock dan Turbin Crossflow untuk Meningkatkan Daya PLTMH Menjadi 3 kW di Desa Babakan Banten Kabupaten Bogor Jawa Barat. http://156.67.221.169/3222/1/201612038_MochamadFazriRamadhanEriPrabowo.pdf
- Siswadi, & Nugraha, A. (2020). Pengembangan Model Nosel terhadap Sudu Turbin Air. *MATRIK Jurnal Manajemen Dan Teknik Industri-Produksi*, 21(1), 73–82. <https://doi.org/10.350587/Matrik>
- Sugiri, A. (2011). Pengaruh Jumlah Sudu Roda Jalan terhadap Efisiensi Turbin Aliran Silang (Crossflow). *Jurnal Mechanical*, 2(1), 48–52.
- Suswanto, E., Gani, U. A., & Taufiqurrahman, M. (2021). Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Air Tipe Crossflow terhadap Output PLTMH Skala Laboratorium. *JTRAIN : Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, 2(1), 81–89.
- Uyun, A. S., Novianto, B., Yandri, E., &

- Nur, S. M. (2020). Rancang Bangun Low Head Turbin Piko Hidro. *Jurnal Sains & Teknologi Fakultas Teknik*, 10(1), 67–79. <http://repository.unsada.ac.id/1609/>
- Salim, N. 2009. Unjuk Kerja Turbin Air Tipe Cross flow dengan Variasi Jari-jari Kelengkungan Sudu. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Sari, S. P. dan R. Fasha. 2012. Pengaruh Ukuran Diameter Nosel 7 Dan 9 mm Terhadap Putaran Sudu Dan Daya Listrik Pada Turbin Pleton. *Jurnal Teknik Mesin*,
- Setyarini, P. H., D. Sutikno, dan F. N. D. Fahmi. 2012. Unjuk Kerja Turbin Arus Lintang Berlorong Pengarah Dengan Variasi Sudut Pipa Pancar.
- Rajab Yassen, S. 2014. Optimization of the Performance of Micro Hydro-Turbines for Electricity Generation.
- Acharya, N., Kim C.G., Thapa, B., and Lee, Y.H., 2015. Numerical analysis and performance
- Pramesti, Yasinta Sindy. 2018. “Analisa pengaruh sudut sudu terhadap kinerja turbin kinetik”. *Jurnal Mesin Nusantara*, Vol. 01 (1): hal. 51-59.
- Pritchard, Philip J., Leylegian, Jhon C. 2011. *Introduction to Fluid Mechanics Eighth Edition*. Danver: Jhon Wiley & Sonc Inc. Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral. 2017. *Kajian Penyediaan dan Pemanfaatan Migas, Batubara, EBT Dan Listrik*. Jakarta: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Riduan, Mujib dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2016. “Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Crossflow Poros Vertikal Dengan Sudu Setengah Silinder”. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 4 (03): hal. 405-412.
- [o.id/wl/?id=tGlAjqislUxRAle5fjs8jMfalnilmtNI](https://doi.org/10.20961/nozel.v5i2.72139)
- Kamran, M., Asghar, R., Mudassar, M., & Abid, M. I. (2019). Designing and Economic Aspects of Run-of-Canal Based Micro-hydro System on Balloki-Sulaimanki Link Canal-I for remote villages in Punjab, Pakistan. *Renewable Energy*, 141, 76–87.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.126>
- Mafruddin, & Irawan, D. (2018). Pengaruh Diameter dan Jumlah Sudu Runner terhadap Kinerja Turbin Crossflow. *Turbo Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*, 7(2), 223–229. url: <http://ojs.ummetro.ac.id/index.php/turbo>
- Padang, Y. A., Okariawan, I. dewa ketut, & Wati, M. (2014). Analisis Variasi Jumlah Sudu Berengsel terhadap Unjuk Kerja Turbin Crosflow Zero Head. *Dinamika Teknik Mesin*, 4(1), 44–54.
- Putra, T. D., & Prasetyo, A. (2018). Pengaruh Sudu Hydrofoil Naca 9407 terhadap Efisiensi Turbin Aliran Silang (Cross-Flow) Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). *PROTON*, 10(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.31328/jp.v10i2.961>
- Setiawan, Y., Wahyudi, I., & Nandes, E. (2013). Unjuk Kerja Turbin Air Tipe Cross Flow dengan Variasi Debit Air dan Sudut Serang Nosel. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 2(1), 21–25. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.24127/trb.v2i1.35>
- Sugiri, A. (2011). Pengaruh Jumlah Sudu Roda Jalan terhadap Efisiensi Turbin Aliran Silang (Crossflow). *Jurnal Mechanical*, 2(1), 48–52.
- Suharyati, Pambudi, S. H., Wibowo, J. L., & Pratiwi, N. I. (2019). Indonesia Energy Out Look 2019. In S. Abdurrahman, M. Pertiwi, & Walujanto (Eds.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Suswanto, E., Gani, U. A., & Taufiqurrahman, M. (2021). Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Air Tipe Crossflow terhadap Output PLTMH Skala Laboratorium. *JTRAIN: Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, 2(1), 81–89.
- Yanda, A. J., Abubakar, S., & Radhiah. (2021). Perancangan Turbin Cross-Flow pada Pembangkit Listrik. *Jurnal Tektro*, 5(1), 69–76.
- Zulaicha, A. U., Sasana, H., & Septian, Y. (2020). Analyze Of CO2 Emission Determination in Indonesia 1990-2018. *Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta*, 2(2), 487–500.

