

Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Air *Crossflow* Terhadap Kinerja Pembangkit *Mini Hidro*

Ginanjar Budiarsyah^{1✉}, Mohammad Alexin Putra²

^{1,2} Program Magister Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 29-11-2022

Direvisi : 07-12-2022

Diterima : 11-12-2022

Kata Kunci:

Crossflow, Mini hidro,
Putaran, Torsi, Turbin air.

Keywords :

Crossflow, Mini hydro,
Torque, Rotation, Turbine.

ABSTRAK

Unjuk kerja suatu turbin air dapat dinilai dari daya dan torsi turbin yang dihasilkan. penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja turbin *mini hidro* dengan variasi debit. Pada penelitian turbin air *crossflow*, pengujian dilakukan pada aliran bawah. Penelitian ini menggunakan variasi debit 0.49 l/s dan 0.53 l/s. Dengan variasi jumlah sudu 15 dan 30, hasil pengujian menunjukkan bahwa torsi yang didapat berbanding lurus dengan meningkatnya debit, rpm dan jumlah sudu sehingga mempengaruhi nilai torsi dan daya turbin yang dihasilkan. Pada kondisi debit 0,49 l/s daya terbesar untuk sudu 30 terdapat pada putaran 89,3 rpm dengan daya turbin 0.0037 daya terendah pada putaran 32 rpm yakni 0.0018 dengan jumlah sudu 15. Sedangkan pada kondisi 0.53 l/s Daya terbesar terdapat pada putaran 98.4 rpm dengan daya sebesar 0,0051 jumlah sudu 30 dan daya terendah putaran 40.4 rpm dengan daya 0,0025 debit 0.53 l/s jumlah sudu 15.

ABSTRACT

The performance of a water turbine can be assessed from the turbine power and torque produced. the research aims to determine the effect of the number of blades on the performance of mini hydro turbines with discharge variations. In the crossflow turbine research, the test was carried out at the bottom flow. This study uses a variation of discharge 0.49 l/s and 0.53 l/s. With variations in the number of blades 15 and 30, the test results show that the torque obtained is directly proportional to the increase in discharge, rpm and the number of blades so that it affects the value of the torque and turbine power produced. In the discharge condition of 0.49 l/s the greatest power for 30 blades is at 89.3 rpm with a turbine power of 0.0037 the lowest power is at 32 rpm which is 0.0018 with 15 blades. Meanwhile at 0.53 l/s the greatest power is found at the 98.4 rpm with a power of 0.0051 the number of blades is 30 and the lowest power is 40.4 rpm with a power of 0.0025 discharge 0.53 l/s the number of blades is 15.

Corresponding Author :

Ginanjar Budiarsyah

Program Studi Magister Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Bandung

Jl. Phh. Mustofa No.23 Neglasari Kec. Cibeunying Kaler, Kota Bandung, Jawa Barat 40124

Email: ginanjarbudiarsyah95@gmail.com

PENDAHULUAN

Pada umumnya pemanfaatan sumber energi air yang diubah menjadi energi listrik terdapat pada pembangkit listrik tenaga air PLTA. Sedangkan pembangkit listrik yang bersumber dari

potensi air berskala kecil adalah pembangkit listrik minihidro PLTM dengan daya output dibawah pembangkit listrik mikrohidro PLTMH, pembangkit listrik minihidro merupakan hasil pemodelan pembangkit listrik energi baru terbarukan EBT. Pengembangan minihidro dan mikrohidro untuk tenaga listrik diproyeksikan sebesar 3 GW pada tahun 2025 dan 7 GW pada tahun 2050 atau 37% dari potensi minihidro dan mikrohidro sebesar 19 GW (Dixon 1891).

Pada Penelitian sebelumnya pengembangan turbin kinetik tipe undershot dengan metode eksperimen dan numerik telah dilakukan diantaranya, pada pengujian turbin dengan kecepatan masuk 1 m/s, 3 m/s, dan 5 m/s dan variasi sudu jumlah bilah 6, 7, 8, 9, dan 10. Jumlah bilah 8 sudu dengan diameter 0,984 m paling efisien dengan kecepatan masuk 1 m/s (Wariito et al. 2018). Pada pengujian eksperimen menggunakan dua turbin secara bersamaan dengan jumlah sudu 12 dimensi panjang mata pisau 600 mm dan lebar mata pisau 100 mm dengan diameter turbin 499 mm pada aliran sungai dengan kecepatan rata-rata 1 m/s, menghasilkan putaran turbin I sebesar 91 Rpm dan turbin II sebesar 78 Rpm, dengan torsi sebesar 39,2 N (Setyawan et al. 2019). pada penelitian performa turbin air undershot dengan model pisau berbentuk mangkuk menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi dari pengujian 4 6 dan 8 bilah dengan diameter turbin 300 mm didapat pada turbin 6 sudu menghasilkan 20 rpm ditemukan pada debit 0,01228 m³/s (Sule, Mochtar, and Sutresman 2020). Kinerja turbin maksimum pada sudut pengarah aliran 35°, jumlah sudu 12 berdiameter, putaran 90 rpm, kapasitas air 50 m³/Jam dan dengan daya yang dihasilkan sebesar 21,365 Watt, efisiensi sebesar 33,241%, dan torsi sebesar 3,864 N.m (Maidangkay, Soenoko, and Wahyudi 2014). Kinerja turbin maksimum terjadi di sudu turbin dengan model sendok dengan nilai 0,555 Nm sedangkan torsi terendah terjadi pada sudu lengkung dengan nilai 0,360 Nm (Yani 2017). Pada pengujian air sudu miring dengan diameter 1000 mm debit aliran 0,050 m³ /s - 0.032 m³ /s pada beban 2 kg, 4 kg, 6 kg dan 8 kg, kincir air bentuk sudu miring menghasilkan daya kincir air sebesar 17,955 Watt sampai 3,273 W pada beban 8 kg (Boli et al. 2018). Debit air 0.016 m³ /s turbin berdiameter 1500 mm dengan jumlah sudu 11 kinerja (daya dan efisiensi) tertinggi berada pada putaran 100 rpm yakni sebesar 20,41 Watt dan efisiensinya 71,42%, pengaruh debit air terhadap torsi maksimum terjadi pada sudu 11 dengan debit air 0,016 m³ /s putaran 20 rpm sebesar 3,73 Nm sedangkan torsi minimum terjadi pada sudu 5 dengan debit air 0.013 m³ /s pada putaran 100 rpm sebesar 0,53 Nm (Pietersz, R., Soekono, R., & Wahyudi 2013).

Turbin air *crossflow* merupakan turbin yang sesuai untuk aliran dengan kecepatan aliran rendah. Dari penelitian sebelumnya beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja turbin tipe *crossflow* adalah jumlah sudu, panjang radius, dan kelengkungan sudu. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti secara eksperimen pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja turbin, salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kinerja turbin air *crossflow* adalah jumlah sudu. Penambahan jumlah sudu berarti meningkatkan putaran dan gaya tangensial dengan sendirinya menambah daya turbin. maka dari itu penelitian ini difokuskan untuk menentukan kinerja turbin berdasarkan pengaruh jumlah sudu yang divariasikan dalam menghasilkan daya turbin yang optimal. Turbin air *crossflow* yang diteliti mempunyai dimensi yang lebih kecil dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

METODE PENELITIAN

Landasan teori perhitungan turbin air *crossflow* yang diteliti :

Luas Penampang (A)

Menghitung ujung luas saluran menggunakan persamaan 1 :

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

Dimana :

A = Luas penampang (m²)

d = diameter dalam *nozzle* (m)

Kapasitas Aliran (Q)

Kapasitas aliran digunakan persamaan 2 :

$$Q = A \cdot V$$

Dimana :

Q = Debit air (m^3/s)

A = Luasan ujung penampang (m^2)

v = Kecepatan aliran (m/s)

Laju Massa Air yang Mengalir ($\dot{m}$)

Massa aliran digunakan persamaan 3 :

$$\dot{m} = \rho \cdot Q$$

Dimana :

$\dot{m}$ = laju aliran massa air (kg/s)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

Q = Debit aliran air (m^3/s).

Daya Air yang Mengalir (P_a)

Daya air dapat dihitung dengan mempergunakan persamaan 4 :

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

Dimana :

P_a = Daya air (watt)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

A = Luas pada ujung *nozzle* (m^2)

v = Kecepatan aliran (m/s)

Torsi Turbin (T)

Torsi turbin menggunakan persamaan 5 :

$$T = F \cdot R$$

Dimana :

T = torsi (Nm)

F = Gaya pembebanan (N)

R = Jari - jari pully (m)

Kecepatan Sudut (ω)

Untuk kecepatan keliling turbin menggunakan persamaan 6 :

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

Dimana :

ω = Kecepatan Anguler (rad/s)

n = Putaran turbin (rpm)

Daya Turbin (P_t)

Daya turbin persamaan 7 :

$$P_t = T \cdot \omega$$

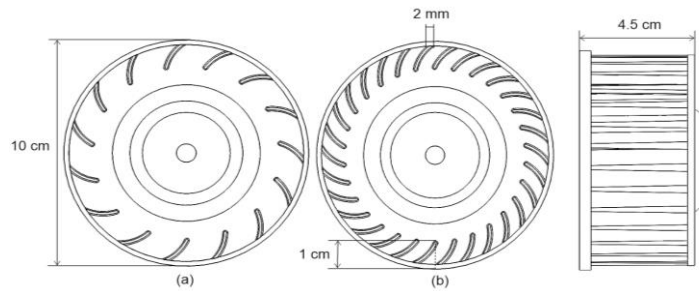
Dimana :

P_t = Daya turbin (Watt)

T = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan Anguler (rad/s)

Dimensi Turbin



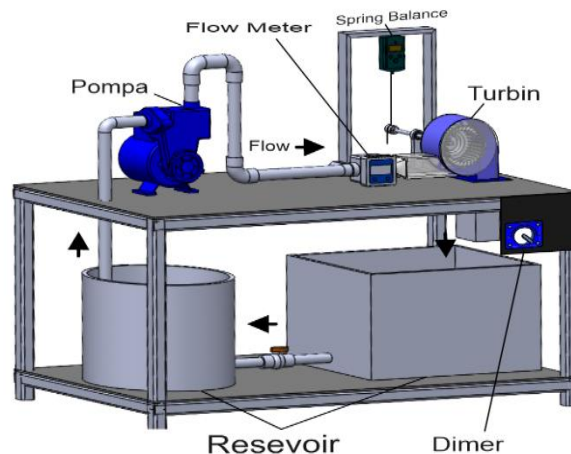
Gambar 1. Dimensi turbin tampak samping sudu 15 (a) dan sudu 30 (b)

Tabel 1. Spesifikasi Turbin yang diuji

Parameter	Dimensi
Diameter luar	10 cm
Tinggi sudu turbin	1 cm
Tebal Sudu	2 mm
Lebar Turbin	4.5 cm
Jumlah Sudu	15 dan 30

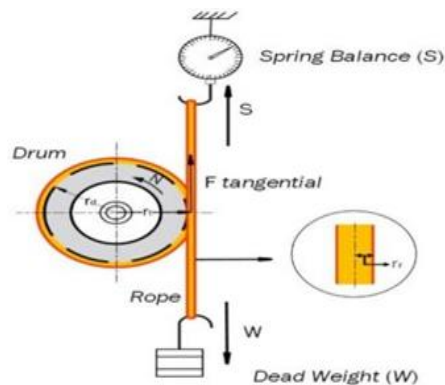
Dimensi turbin dengan jumlah sudu 15 ditampilkan pada gambar 1 (a) dan turbin dengan sudu 30 ditampilkan pada gambar 1 (b). Adapun detail spesifikasi turbin berupa diameter luar, tinggi sudu, tebal sudu, lebar turbin dan jumlah sudu dijelaskan pada tabel 1.

Perancangan Alat Uji Turbin



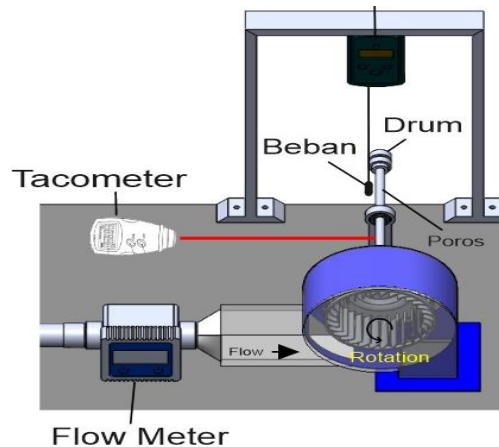
Gambar 2. Alat uji turbin

Eksperimen ini dilakukan dengan merancang berbagai perangkat dan instrumen yang ditampilkan pada gambar 2. diantaranya pompa, instalasi pipa, turbin dan reservoir. adapun instrument dimer (potensiometer) pada pompa adalah untuk mempercepat dalam sistem control variasi aliran yang digunakan untuk menggerakkan turbin. Untuk mengetahui variasi aliran menggunakan alat turbin flow meter digital K24 dengan variabel yang ditampilkan berupa debit air liter per menit dan volume air dengan satuan liter.



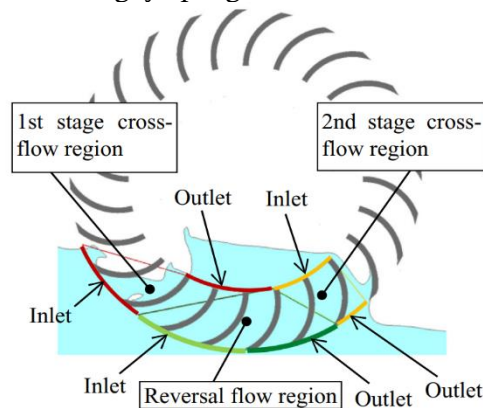
Gambar 3. Prinsip kerja rope brake dynamometer yang digunakan untuk mengukur torsi [9]

Adapun prinsip kerja alat uji torsi pada penelitian ini diperlihatkan pada gambar 3. Data putaran (N), gaya (F) pada poros turbin yang dihasilkan dari kecepatan aliran pada saluran (V). Sebelum drum berputar, berat beban sama dengan berat yang terbaca pada neraca pegas, setelah drum diputar, berat yang terbaca pada spring balance berkurang karena tali terdorong ke atas oleh gesekan pada drum (Vidian, Putra, and Kholis 2020).



Gambar 4. Detail alat uji torsi

Pada gambar 4 alat uji torsi rope brake ditampilkan proses pengukuran berupa kecepatan putar kincir diukur menggunakan alat tacometer dengan jarak sekitar 5 cm terhadap poros. Gaya pengereman kincir diukur meggunakan metode *rope brake* dengan variasi beban 10, 20, 30, 40, dan 50 gram sehingga menghasilkan nilai gaya pengereman.



Gambar 5. Aliran crossflow

Aliran turbin air saat ini dapat dikategorikan menjadi aliran silang, aliran balik dan aliran *reversal*. Jika kita mengkategorikan lebih lanjut aliran silang menjadi tahap pertama dan aliran silang tahap kedua dan aliran *reversal*, maka ada tiga jenis aliran : yaitu, aliran silang tahap pertama, aliran silang tahap kedua dan aliran balik. Pertama, ketiga daerah aliran ini ditunjukkan pada gambar 5 (Nishi et al. 2020).

Variabel Penelitian

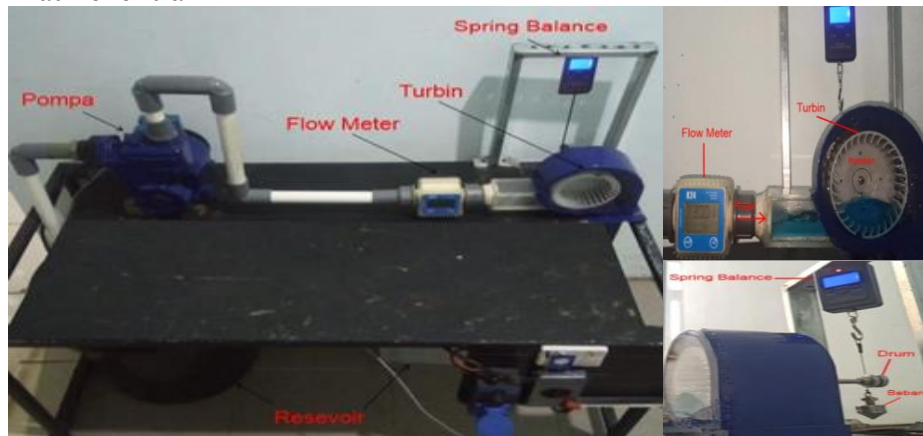
Variabel penelitian ini terdiri : variabel bebas, variabel terikat dan variabel terkontrol.

- a. Variabel bebas adalah variabel yang nilainya sudah ditentukan.
 1. Debit air : 0.49 dan 0.53 l/s.
 2. Variasi jumlah sudu turbin dengan jumlah sudu 15 dan 30.
- b. Variabel terkontrol adalah beban pada poros turbin yang ditentukan 10, 20, 30, 40, dan 50 gram.
- c. Variabel terikat di penelitian ini torsi dan daya turbin.

Alat Dan Bahan

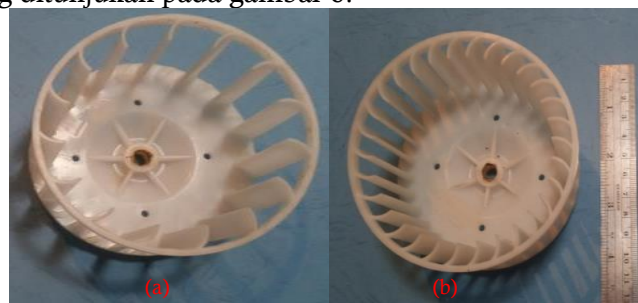
- a. Instalasi alat pengujian turbin
- b. Alat uji rope brake
- c. Turbin dengan jumlah sudu 15 dan 30
- d. Alat Ukur
 - Tacometer, *flow meter* dan neraca pegas

Instalasi Alat Penelitian



Gambar 6. Instalasi alat uji turbin dan torsi rope brake

Instalasi alat uji turbin, untuk mengetahui kinerja turbin berupa torsi dan daya turbin yang dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.



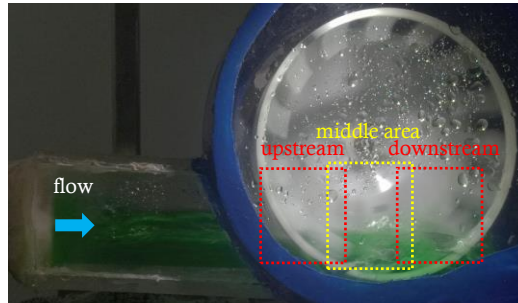
Gambar 7. Turbin jumlah sudu 15 (a) dan 30 (b)

Bahan sudu turbin menggunakan pipa PVC dengan diameter 22 mm dipotong menjadi 4 bagian dengan tebal 2 mm. Hasil perancangan ditunjukkan dengan gambar 8 (a) sudu 15 dan gambar 7 (b) sudu (30).

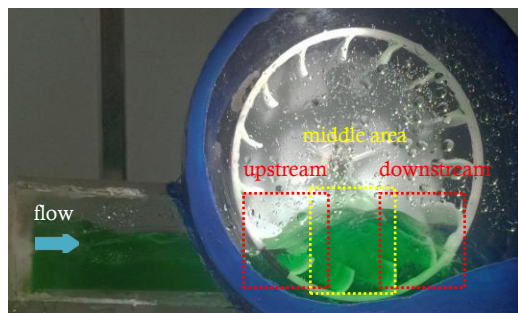
HASIL DAN PEMBAHASAN

Visualisasi aliran kinerja Turbin

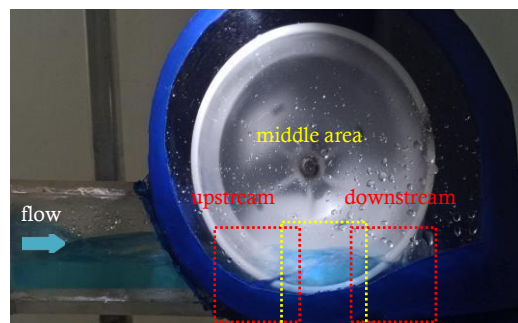
Turbin air dapat dikategorikan menjadi aliran *crossflow* melalui tiga area, area hulu (*upstream*), area tengah (*middle area*) dan area hilir (*downstream*). Kondisi kinerja aliran turbin ditunjukkan pada gambar 8.



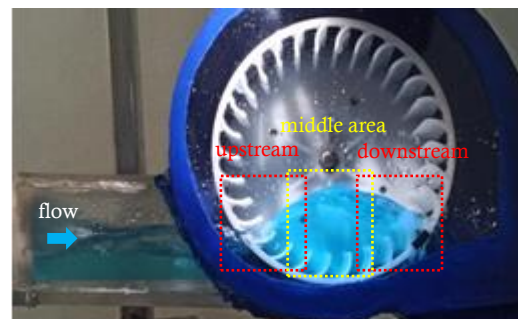
Gambar 8. (a) Pengujian turbin sudu 15 dengan beban 10 gram



Gambar 8. (b) Pengujian turbin sudu 15 dengan beban 50 gram



Gambar 8. (c) Pengujian turbin sudu 30 dengan beban 10 gram



Gambar 8. (d) Pengujian turbin sudu 30 dengan beban 50 gram

Pada gambar 8. (a) (b) dengan aliran warna hijau dengan jumlah sudu 15 pada pembebanan 10 dan 50 gram terdapat perbedaan kedalaman aliran pada area hulu (*upstream*) dan hilir (*downstream*) sehingga mempengaruhi jumlah sudu yang terendam. Pada beban 10 gram sudu

terendam lebih rendah dibandingkan beban 50 gram. Hal ini disebabkan dengan beban yang rendah putaran menjadi cepat. Sedangkan gambar 8. (c) (d) dengan pengujian turbin jumlah sudu 30 dengan warna aliran biru, menunjukkan perubahan pada kedalaman air hulu (*upstream*) dan kedalaman air hilir (*downstream*) relatif terhadap kecepatan rotasi.

Dari variasi debit air yang dihasilkan oleh pompa sebesar 0,49 dan 0,53 l/s. Pengukuran terhadap gaya poros yang terjadi dengan memberikan beban pada poros turbin. bertujuan untuk mendapatkan nilai putaran (n), gaya (F), dan nilai torsi disetiap beban 10, 20, 30, 40, dan 50 gram dengan panjang jari-jari pully (drum) 1 cm. dengan jumlah sudu 15 aliran warna hijau pada gambar 9 (a) (b) hasil pengukuran ditunjukkan pada tabel 2 :

Tabel 2. Jumlah sudu 15

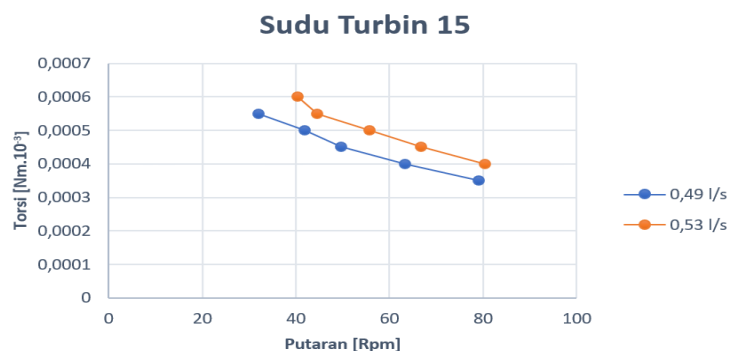
Jumlah sudu Turbin	Q (l/s)	Beban (kg)	N (rpm)	T (n.m)	(P _t)
15	0,49	0,035	79	0,00035	0,0029
		0,040	63,4	0,00040	0,0027
		0,045	49,7	0,00045	0,0023
		0,050	41,9	0,00050	0,0022
		0,055	32	0,00055	0,0018
	0,53	0,040	80,4	0,00040	0,0034
		0,045	66,8	0,00045	0,0031
		0,050	55,7	0,00050	0,0029
		0,055	44,6	0,00055	0,0026
		0,060	40,4	0,00060	0,0025

Hasil nilai torsi dengan variasi debit dan pembebanan yang sama, dengan jumlah sudu yang berbeda. Pada sudu 30 dengan aliran warna biru ditunjukkan pada tabel 3 :

Tabel 3. Jumlah sudu 30

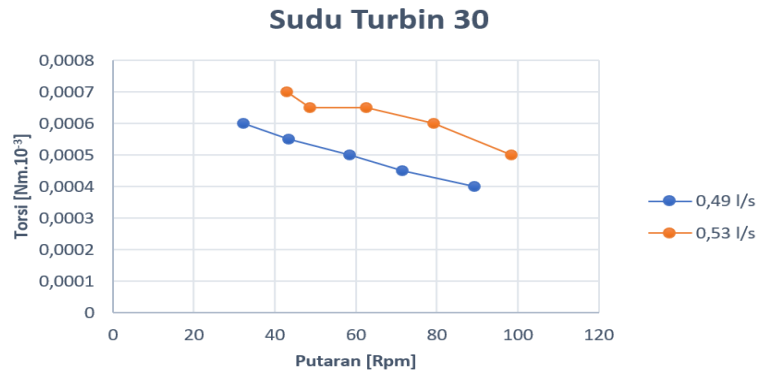
Jumlah sudu Turbin	Q (l / s)	Beban (kg)	N (rpm)	T (n.m)	(P _t)
30	0,49	0,040	89.3	0,00040	0,0037
		0,045	71.5	0,00045	0,0034
		0,050	58.5	0,00050	0,0031
		0,055	43.4	0,00055	0,0025
		0,060	32.2	0,00060	0,0020
	0,53	0,050	98.4	0,00050	0,0051
		0,060	89.3	0,00060	0,0056
		0,065	62.5	0,00065	0,0043
		0,065	48.7	0,00065	0,0033
		0,070	42.9	0,00070	0,0031

Data tabel 2 dan 3 dijadikan dalam bentuk grafik, untuk melihat hubungan antara putaran dan torsi pada jumlah sudu yang berbeda. Berdasarkan tabel 2 - 3 data hasil penelitian menunjukkan bahwa gaya pengereman yang terjadi pada jumlah sudu 15 dan 30 berbeda dengan debit yang sama.



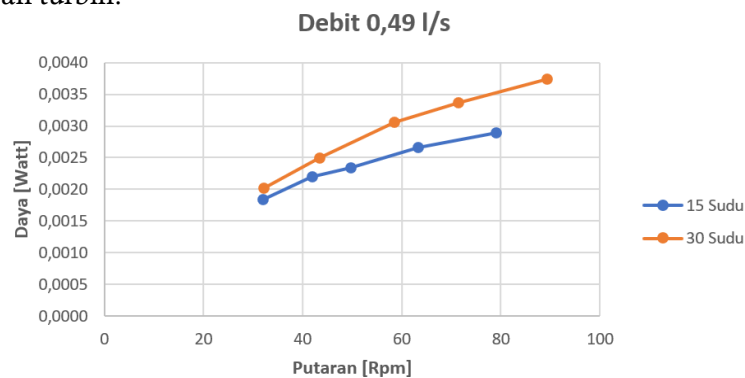
Gambar 9. Kinerja putaran turbin terhadap torsi jumlah sudu 15

Pada data gambar 9. Perbandingan antara torsi dan putaran turbin terhadap jumlah sudu menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran turbin maka torsi yang dihasilkan semakin menurun secara proposional seperti yang terlihat pada grafik garis orange 0.53 l/s dan biru 0.49 l/s . hal tersebut terjadi karena gaya pengereman mempengaruhi nilai torsi turbin. Kemudian perbandingan torsi dan putaran dengan sudu 30 ditunjukkan gambar 10.



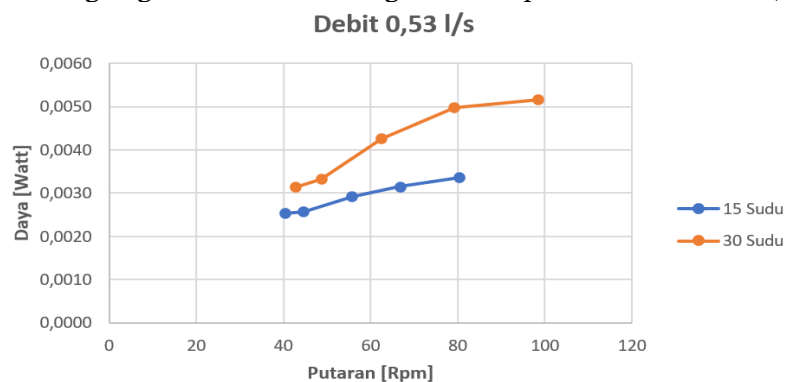
Gambar 10. Kinerja putaran turbin terhadap torsi jumlah sudu 30

Data dua variasi jumlah sudu 15 dan 30 ditampilkan pada gambar 9 dan 10. Daya turbin dipengaruhi oleh besarnya torsi dan kecepatan sudut, sedangkan besarnya kecepatan sudut dipengaruhi putaran turbin.



Gambar 11. Kinerja putaran turbin terhadap daya pada debit 0.49 l/s

Perbandingan antara putaran (rpm) terhadap daya turbin dengan variasi jumlah sudu memperlihatkan kondisi operasi turbin air, daya terbesar untuk sudu 30 ditampilkan dengan garis berwarna orange pada gambar 11. Terdapat pada putaran 89,3 rpm dengan daya turbin 0.0037 dengan jumlah sudu 30 dan daya terendah pada putaran 32 rpm yakni 0.0018 dengan jumlah sudu 15 ditunjukkan dengan garis berwarna biru gambar 11 pada kondisi debit 0,49 l/s.



Gambar 12. Kinerja putaran terhadap daya turbin pada debit 0.53 l/s

Daya terbesar terdapat pada putaran 98.4 rpm dengan daya sebesar 0,0051 ditunjukkan dengan garis warna orange pada jumlah sudu 30 dan daya terendah pada putaran 40.4 rpm dengan daya 0,0025 ditunjukkan dengan garis warna biru pada debit 0.53 l/s dengan jumlah sudu 15 yang ditampilkan pada gambar 12.

KESIMPULAN

Terdapat pengaruh jumlah sudu terhadap torsi dan daya turbin air, sehingga dapat disimpulkan, sudu 30 dari turbin crossflow mempunyai torsi yang lebih besar dari sudu 15. Adapun variabel jumlah sudu memberikan nilai daya mekanis turbin air dimana seiring bertambahnya debit dan jumlah sudu. Semakin besar debit air maka kecepatan air semakin meningkat, sehingga menambah kecepatan anguler dan memperbesar aliran yang menumbuk sudu kemudian memperbesar gaya yang terjadi.

Daftar Pustaka

- Boli, Rahmat, Abdul Makhsud, Mahmuddin Tahir, and Mahmuddin Tahir. 2018. "Analisis Daya Output Dan Efisiensi Kincir Air Sudu Miring Yang Bekerja Pada Saluran Horizontal." *Gorontalo Journal of Infrastructure and Science Engineering* 1(2): 1.
- Dixon, J. 1891. "Rencana Umum Energi Nasional." *Notes and Queries* s7-XI(287): 508.
- Maidangkay, Adrian, Rudy Soenoko, and Slamet Wahyudi. 2014. "Pengaruh Sudut Pengarah Aliran Dan Jumlah Sudu Radius Berengsel Luar Roda Tunggal Terhadap Kinerja Turbin Kinetik." *Jurnal Rekayasa Mesin* 5(2): 149–56.
- Nishi, Yasuyuki, Yuichiro Yahagi, Takashi Okazaki, and Terumi Inagaki. 2020. "Effect of Flow Rate on Performance and Flow Field of an Undershot Cross-Flow Water Turbine." *Renewable Energy* 149: 409–23.
- Pietersz, R., Soekono, R., & Wahyudi, S. 2013. "Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Kinetik Roda Tunggal." *urnal Rekayasa Mesin Vol.4, No.3 Tahun 2013*: 220-226 4(3): 220–26.
- Setyawan, E. Y. et al. 2019. "Design of Low Flow Undershot Type Water Turbine." *Journal of Science and Applied Engineering* 2(2): 50.
- Sule, Luther, Andi Amijoyo Mochtar, and Onny Sutresman. 2020. "Performance of Undershot Water Wheel with Bowl-Shaped Blades Model." *International Journal of Technology* 11(2): 278–87.
- Vidian, Fajri, Deli Huda Putra, and Abdul Kholis. 2020. "A Short Review and Development of Rope Brake Dynamometer for Measurement of Brake Power on Small Scale Engine." *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments* 43(2): 144–53.
- Wariito et al. 2018. "Effect of Blades Number on Undershot Waterwheel Performance with Variable Inlet Velocity." *Proceedings - 2018 4th International Conference on Science and Technology, ICST 2018* (November).
- Yani, Ahmad. 2017. "Rancang Bangun Alat Praktikum Turbin Air Dengan Pengujian Bentuk Sudu Terhadap Torsi Dan Daya Turbin Yang Dihasilkan." *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin* 6(1).