

Rancang Ulang Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Portabel Tipe *Cross Flow*

Bella Maharani Marcellia Suseno^{1*}

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir Ds. Ciwaruga 1234 Bandung 40012

*Corresponding author: bella.maharani.ms@gmail.com

Artikel info Diterima: 14 Juli 2022 | Disetujui: 30 Agustus 2022 | Tersedia online: 31 Agustus 2022
DOI: 10.32722/jmt.v3i2.4619

Abstrak

Listrik merupakan salah satu kebutuhan yang terpenting dalam kehidupan sehari-hari. Kebutuhan penerangan untuk keperluan studi atau riset di lapangan yang belum terjangkau sumber listrik menjadikan Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) portabel sebagai salah satu solusi dalam mendapatkan pasokan listrik dengan memanfaatkan sumber air dengan debit dan head yang cukup kecil. Langkah yang telah dilakukan pada rancang bangun PLTPH portabel meliputi kajian terhadap PLTPH yang pernah dirancang oleh Dzulfikri (2021), dilakukan rancang ulang terhadap bagian-bagian alat PLTPH portabel seperti saluran masuk dan keluar, bentuk rumah turbin, penyangga, runner turbin, instalasi pengujian, dan luas penampang saluran nozel. Selanjutnya menyiapkan instalasi pengujian. Dilakukan proses pengujian dan dilanjutkan pembahasan hasil pengujian. Didapatkan dimensi alat dengan panjang 266,63 mm, lebar 190 mm, dan tinggi 226,88 mm yang dibuat menggunakan mesin 3D Printing yang menggunakan bahan plastik PLA. Capaian dari hasil pengujian hasil rancang ulang memiliki kecepatan putaran sebesar 794 rpm, debit sebesar 3,867 l/s, dan head 2 m, sehingga menghasilkan daya mekanik sebesar 20,13 W dan efisiensi sebesar 26,0%. Hasil tersebut menghasilkan daya dan efisiensi mekanik yang lebih besar daripada alat eksisting (daya mekanik sebesar 11,7 W dan efisiensi sebesar 23%).

Kata-kata kunci: PLTPH, Portabel, Rancang Ulang, Cross Flow

Abstract

Electricity is one of the most important needs in everyday life. The need for lighting for study or research purposes in a field that has not been reached by a power source makes a portable Pico Hydro Power Plant (PLTPH) a solution to obtaining electricity supply by utilizing a water source with a fairly small discharge and head. The steps that have been taken in the design of the portable PLTPH include a study of the PLTPH that was once designed by Dzulfikri (2021), reverse engineering of the portable PLTPH such as inlet and outlet, the shape of the turbine housing, supports, turbine runners, testing installations, and nozzle cross-sectional area. Next, prepare the test installation. The testing process was carried out and continued with the discussion of the test results. The dimensions of the tool are 266.63 mm long, 190 mm wide, and 226.88 mm high, which were made using a 3D Printing machine using PLA plastic material. The results of the reverse engineering test results have a rotational speed of 794 rpm, a discharge of 3,867 l/s, and a head of 2 m, resulting in a mechanical power of 20.13 W and an efficiency of 26.0%. These results produce greater mechanical power and efficiency than the existing equipment (mechanical power of 11.7 W and efficiency of 23%).

Keywords: Pico Hydro, Portable, Reverse Engineering, Cross Flow



1. PENDAHULUAN

Produksi energi listrik di Indonesia masih memiliki ketergantungan terhadap sumber energi batubara, tetapi secara geografis Indonesia memiliki potensi besar pada sumber energi baru terbarukan. Air merupakan salah satu energi baru terbarukan yang memiliki jumlah yang sangat melimpah. Pemanfaatan energi air sebagai salah satu sumber energi listrik di Indonesia memiliki potensi sebesar 45,379 MW dari total 75,091 MW energi yang terkandung [1]. Salah satu bentuk dari pemanfaatan energi air tersebut terdapat pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). PLTA bekerja dengan memanfaatkan energi potensial pada air yang digunakan untuk menggerakkan turbin dan energi mekanik yang berasal dari putaran turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh generator. PLTA dapat dikategorikan dalam beberapa jenis sesuai dengan daya yang dihasilkan, salah satunya yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH). PLTPH menghasilkan daya dibawah 5 kW sehingga memiliki konstruksi dan instalasi yang lebih sederhana dalam pengoperasiannya.

Kebutuhan penerangan untuk keperluan studi atau riset di lapangan yang belum terjangkau sumber listrik, umumnya menggunakan genset sebagai salah satu pilihan alternatifnya. Namun, genset masih kurang efisien dari segi harga, berat dan membutuhkan bahan bakar fosil untuk menghidupkannya.

Penelitian yang dilakukan adalah rancang ulang prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) portable dengan konstruksi tipe *cross flow*. PLTPH tersebut dibuat untuk memenuhi kebutuhan pasokan listrik dalam kegiatan di alam bebas, dengan target menghasilkan daya sebesar 12 W dengan debit minimal yang dibutuhkan 0,00437 m³/s atau 4,37 l/s serta head 4 m. Dengan memiliki berat maksimum 2 kg menjadikan alat PLTPH portabel sebagai alternatif solusi dalam mendapatkan pasokan listrik dengan memanfaatkan sumber air dengan debit dan *head* yang cukup kecil.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Dzulfikri Rakhmat (2021) telah membuat prototipe PLTMH portabel menggunakan turbin tipe *cross flow* dengan berat keseluruhan 1,1 kg dimensi alat keseluruhan dengan panjang 29,4 cm, lebar 10,36 cm, dan tinggi 21,5 cm yang dibuat menggunakan proses 3D *printing* dengan material ABS. Dari pengujian yang telah dilakukan, pada debit aliran air sebesar 2,99 l/s, kecepatan putaran turbin sebesar 816 rpm, tegangan listrik sebesar 11,4 V, arus listrik sebesar 0,42 A, dan daya luaran yang dihasilkan sebesar 4,79 W dari target yang direncanakan yaitu 12 W. [2]

Roy Hadiyanto dan Fauzi Bakri (2013) telah membuat prototipe PLTMH menggunakan turbin tipe *cross flow* yang dibuat menggunakan tipe *cross-flow* menggunakan material HDPE dan sudu turbin terbuat dari pipa PVC ¾ inci. Prototipe ini memiliki panjang dan diameter 2,5 inci dan terdiri dari 20 bilah. Pengujian prototipe dilakukan dengan mengukur arus maksimum dan tegangan keluaran maksimum generator dengan ketinggian pipa yang bervariasi pada kisaran 60 cm, 80 cm dan 100 cm. Sumber air yang digunakan adalah dari tangki dengan volume 19 liter dan ketinggian tangki sebesar 0,49 m. Dari hasil pengujian didapatkan efisiensi terbesar 5,24% pada saat menggunakan ketinggian pipa 100 cm, dengan arus maksimum sebesar 114,7 mA menggunakan resistansi 330 Ω dan tegangan maksimum sebesar 5,94 V. [3]

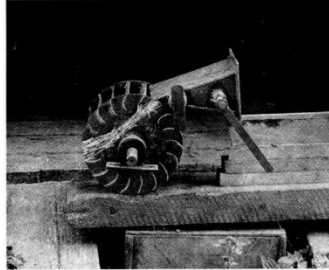
Budi Triyono, dkk (2014) telah melakukan pengembangan PLTMH portabel menggunakan turbin *propeller* tipe *open flume* yang dapat dioperasikan pada kondisi head rendah yaitu 2-3 m dan menggunakan bahan yang ringan dengan berat keseluruhan sekitar 23 kg. Alat tersebut menggunakan turbin *propeller* jenis *open flume* dengan generator 12 VDC dan dilengkapi dengan inverter untuk mengonversi menjadi tegangan 220 VAC. Hasil penelitian didapatkan bahwa memiliki daya keluaran sebesar 25 W pada 800 rpm. Daya keluaran yang dihasilkan dapat digunakan untuk menyalakan lampu, mengisi ulang baterai handphone, dan laptop [4].

Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) merupakan suatu sistem pembangkit tenaga listrik dengan daya luaran sebesar < 5 kW dan dapat beroperasi pada debit dan head rendah. Peralatan yang digunakan dalam sistem PLTPH terbilang sederhana sehingga, dapat dijadikan alternatif solusi untuk daerah yang masih sulit terjangkau aliran listrik. Selain sebagai suatu alternatif, PLTPH memiliki keuntungan lainnya yaitu, sebagai berikut: [5]

1. Biaya pembuatan termasuk rendah dan dapat digunakan untuk waktu yang lama, karena dalam prosesnya memanfaatkan aliran air sungai.
2. Turbin dapat disesuaikan dengan kebutuhan penggunaannya.
3. Konstruksi yang sederhana dan fleksibel dalam instalasi pemasangannya.

PLTPH merupakan sebuah pembangkit yang memiliki jenis *run of river* yaitu air yang dialihkan dengan menggunakan bendungan yang dibuat memotong pada aliran air, head didapatkan dari satu sisi bendungan pada tempat yang ketinggiannya telah diatur sesuai dengan rancangan.

Turbin *cross flow* memiliki arah aliran yang radial atau tegak lurus dengan sumbu turbin. Turbin ini memiliki alat pengarah sehingga, celah bebas dengan sudu-sudu di sekeliling roda hanya terdapat sedikit sudu sehingga, pada keadaan beban penuh perputaran rodanya terjadi sedikit kemacetan-kemacetan yang menimbulkan sedikit terjadinya tekanan berlebih. Turbin *cross flow* terdiri dari tiga komponen yang utama yaitu roda jalan, alat pengarah dan rumah turbin. Turbin *cross flow* dapat diaplikasikan pada pembangkit listrik kecil ataupun penggunaan sekali dengan daya sebesar ± 750 kW, head yang bisa digunakan di atas 1 m-200 m dan kapasitas antara 0,02 m³/s sampai 7 m³/s. [6]



Gambar 1. Konstruksi pada Turbin *Cross Flow* [7]

Perencanaan Turbin *Cross Flow*

Berikut merupakan perhitungan dan persamaan yang digunakan dalam merencanakan konstruksi pada turbin *cross flow*. [7]

1. Debit Air:

$$Q = \frac{P_g}{\rho \times g \times H \times \eta_t \times \eta_g} \quad (1)$$

Keterangan :

P_g = Daya generator (watt)

ρ = Massa jenis air = 1000 kg/m³

g = Percepatan gravitasi = 9,8 m/s²

H = Head ketinggian (meter)

Q = Debit air (m³/s)

η_t = Efisiensi turbin, diasumsikan = 0,1

η_g = Efisiensi generator, diasumsikan = 0,7

2. Segitiga Kecepatan

$$V_1 = C \times \sqrt{2 \times g \times H} \quad (2)$$

Keterangan :

V_1 = Kecepatan absolut (ft/s)

C = Koefisien berdasarkan nozel = 0,98

$$u_1 = C_1 + \psi(V_1 \cos \alpha_1) \quad (3)$$

Keterangan :

ψ = Koefisien empiris = 0,98

α_1 = Sudut sudu = 16°

$$w_1 = \left[\frac{V_1 \cos \alpha_1 - u_1}{\cos \beta_1} \right] \quad (4)$$

Asumsi yang digunakan :

$\alpha_1' = \alpha_2'$

$\beta_1' = \beta_2' = 90^\circ$

$V_1' = V_2'$

$u_1' = u_2'$

$w_1' = w_2'$

$\beta_1 = \beta_2$

$u_1 = u_2$

$$V_1' = u_2' \times (r_1/r_2) \quad (5)$$

$$u_2' = u_1(r_2/r_1) \quad (6)$$

Keterangan :

$$r_2/r_1 = 0,66$$

$$w_2' = w_1 \left(\frac{r_1}{r_2} \right) \sin \beta_1 \quad (7)$$

$$w_2 = \psi w_1 \quad (8)$$

$$V_2 = \sqrt{w_2^2 - u_1^2} \quad (9)$$

3. Daya Efektif Turbin

$$P_{efektif} = \frac{QH (2C^2 \left(\frac{u_1}{w_1} \right) (1 + \psi) (\cos \alpha_1 - \left(\frac{u_1}{V_1} \right))}{8,8} \quad (10)$$

Perencanaan Runner Turbin *Cross Flow*

1. Kecepatan putaran maksimal turbin (N)

$$N = \frac{862}{D_1} \times \sqrt{H} \quad (11)$$

2. Luas penampang nozel (A)

$$A = \frac{Q}{V_1} \quad (12)$$

3. Tebal semburan nozel (S_0)

$$S_0 = \frac{144 \times A}{L} \quad (13)$$

4. Jumlah sudu (n)

$$n = \frac{\pi \times D_1}{t_1} \quad (14)$$

Daya Hidrolis (Ph)

$$P_h = \rho \times g \times H \times Q \quad (15)$$

Torsi (τ)

$$\tau = F \times R \quad (16)$$

Kecepatan Sudut (ω)

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (17)$$

Daya Mekanik (Pm)

$$P_m = \omega \times \tau \quad (18)$$

Efisiensi Turbin Mekanik (η_T)

$$\eta_T = \frac{P_m}{P_h} \quad (19)$$

3. METODE PENELITIAN

Melalui penelitian ini akan dilakukan rancang ulang alat PLTPH portabel dengan menggunakan turbin tipe *cross flow* yang ringan dan memudahkan dalam instalasi pemasangan. Komponen rumah turbin, runner turbin, dan transmisi menggunakan bahan yang ringan agar meminimalkan bobot totalnya.

Kajian Produk Eksisting

Hasil kajian yang diperoleh dari kajian alat eksisting alat PLTMH portabel milik Dzulfikri sudah dapat memenuhi fungsi utamanya yaitu dapat menghasilkan daya keluaran. Namun, alat PLTPH portabel tersebut masih memiliki beberapa kekurangan yang masih dapat ditingkatkan lagi. Kekurangan tersebut yaitu daya yang dihasilkan tidak mencapai target yang direncanakan karena bentuk saluran masuk dan saluran keluar yang tidak praktis dan keandalan runner yang rendah, sistem instalasi perpipaan, dan instrumen ukur yang kurang optimal menyebabkan daya luaran yang dihasilkan masih di bawah target yang direncanakan.

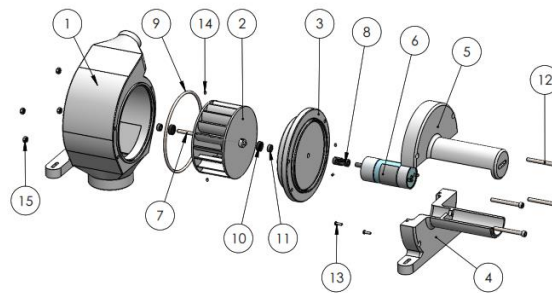
Perancangan Konsep

Hasil perhitungan pada rancangan konsep alat PLTPH portabel terlihat pada tabel 1 berikut. Hasil perhitungan tersebut dijadikan acuan dalam melakukan proses perancangan,

Tabel 1. Hasil perhitungan

No.	Perhitungan	Simbol	Nilai	Satuan
1.	Debit Air	Q	0,0044	m^3/s
2.	Daya Air Hidrolis	P_h	172,7	W
3.	Kecepatan absolut luar awal	V_1	8,68	m/s
4.	Kecepatan tangensial luar awal	u_1	4,13	m/s
5.	Kecepatan relatif luar awal	w_1	27,3	m/s
6.	Kecepatan tangensial dalam	u_2'	2,75	m/s
7.	Kecepatan absolut dalam	V_1'	5,24	m/s
8.	Kecepatan relatif dalam	w_2'	40,93	m/s
9.	Kecepatan absolut luar akhir	V_2	26,42	m/s
10.	Kecepatan relatif luar akhir	w_2	26,74	m/s
11.	Daya efektif turbin	P_e	48,8	W
12.	Luas Penampang Nozel	A	714,14	mm^2

Perancangan konsep rancangan ulang alat menggunakan *software* CAD dan mengacu kepada dimensi dan spesifikasi prototipe PLTPH sebelumnya kemudian, dilakukan pembuatan alat hasil rancang ulang dengan menggunakan *3D printing* dan dilakukan proses perakitan seluruh komponen agar menjadi suatu alat. Berikut merupakan konsep rancangan konstruksi alat PLTPH portabel dalam bentuk *3D modelling* yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Rancangan Modifikasi Alat PLTPH Portabel

Keterangan:

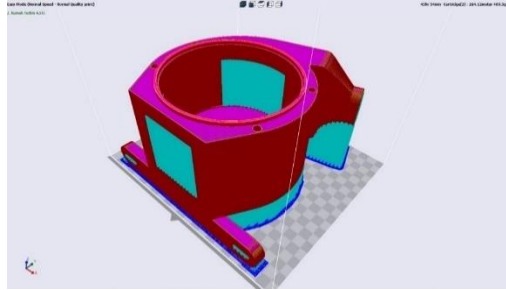
- | | | |
|----------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1. Rumah turbin | 5. Casing generator atas | 12. Baut M5 × 120 |
| 2. Sudu Turbin | 6. Generator | 13. Baut M5 × 12 |
| 3. Tutup rumah turbin | 7. Poros | 14. Baut inbus M3 × 8 |
| 4. Dudukan generator bawah | 8. Kopel/ koping | 15. Mur M5 |
| | 9. O-ring | |
| | 10. Oil seal | |
| | 11. Bantalan | |

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap-tahap kegiatan rancang ulang alat PLTPH portabel meliputi tahap kajian, perancangan, pembuatan komponen, perakitan, dan pengujian.

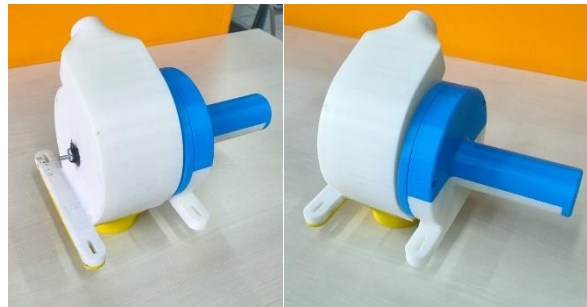
Tahap Pembuatan Alat dan Perakitan

Proses pembuatan komponen prototipe alat dilakukan menggunakan mesin 3D *printing* dengan material yang digunakan yaitu plastik PLA. Menggunakan *software* Sindoh 3DWOX *Dekstop* dalam melakukan proses pembuatan *gcode* (*slicing*).



Gambar 3. Proses pembuatan alat

Setelah seluruh komponen telah dibuat, maka dilakukan proses selanjutnya yaitu proses perakitan sesuai dengan rancangan konsep konstruksi turbin yang telah dibuat.



Gambar 4. Proses perakitan alat

Tahap Pengujian

Alat PLTPH portabel yang telah dirakit, akan dilakukan proses pengujian terhadap *head* dan debit tertentu sesuai dengan rancangan alat. Pengujian dilakukan dengan mengukur torsi yang dihasilkan oleh alat. Selanjutnya, dilakukan perhitungan terhadap daya mekanik turbin yang dihasilkan oleh alat tersebut. Pengujian juga dilakukan dengan mengukur kecepatan putaran yang dihasilkan oleh alat. Pengujian ini dilakukan dengan skala laboratorium menggunakan instalasi pengujian.



Gambar 5. Memasang turbin pada instalasi pengujian



Gambar 6. Melakukan pengukuran torsi

Dari hasil pengujian diperoleh data pengukuran seperti diperlihatkan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil pengujian

Head (m)	Tekanan (PSI)	Flow (l/s)	Kecepatan (rpm)	Kecepatan Sudut (rad/s)	Berat (kg)	Gaya (N)	Torsi (Nm)	Panjang Lengan (m)	Daya Poros Turbin (W)	Daya Hidrolis (W)	Efisiensi Turbin (%)
1	1,422	2,700	562	58,8	0,000	0,000	0,00	0,065	0,00	31,69	0,0
		2,607	407	42,6	0,307	3,012	0,20		8,34	30,59	27,3
		2,514	315	33,0	0,403	3,957	0,26		8,48	29,50	28,7
		2,462	228	23,9	0,580	5,690	0,37		8,83	28,90	30,5
		2,431	141	14,8	0,722	7,080	0,46		6,79	28,53	23,8
		2,390	48	5,0	1,235	12,115	0,79		3,96	28,05	14,1
		2,319	0	0,0	1,577	15,467	1,01		0,00	27,22	0,0
2	2,844	3,867	794	83,1	0,000	0,000	0,00	0,065	0,00	83,21	0,0
		3,813	622	65,1	0,348	3,417	0,22		14,46	82,04	17,6
		3,781	536	56,1	0,552	5,415	0,35		19,75	81,36	24,3
		3,757	476	49,8	0,634	6,216	0,40		20,13	80,85	24,9
		3,606	256	26,8	1,159	11,370	0,74		19,80	77,58	25,5
		3,537	218	22,8	1,360	13,345	0,87		19,79	76,10	26,0
		3,501	196	20,5	1,404	13,770	0,90		18,36	75,32	24,4
		3,378	75	7,9	1,652	16,203	1,05		8,27	72,69	11,4

Pembahasan Hasil Perancangan

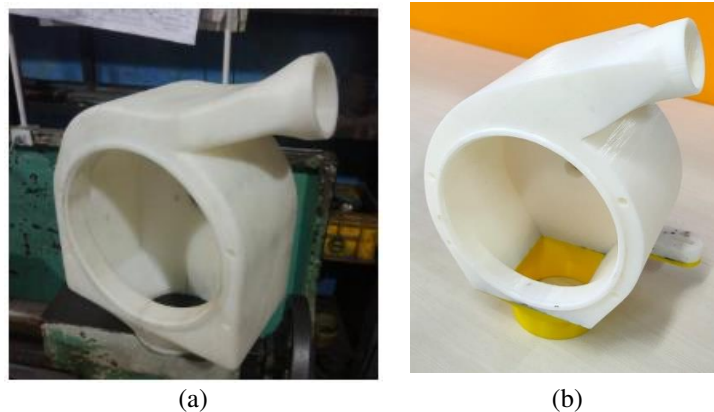
Dari hasil pengujian yang telah dilakukan diketahui bahwa turbin dapat mencapai kecepatan putaran turbin terbesar yaitu 794 rpm pada head 2 m. Hasil dari alat tersebut sudah melebihi besar kecepatan putaran rancangannya sebesar 694 rpm pada head 4 m. Didapatkan pula debit terbesar yaitu 3,867 l/s pada head 2 m.

Tabel 2. Perbandingan kinerja turbin

No	Parameter	Eksisting	Rancang ulang	Kenaikan
1.	Luas Penampang Nozel	503,2	714,14	42%
2.	Debit	2,532	3,867	53%
3.	Torsi terbesar	0,50	1,05	110%
4.	RPM terbesar	839	794	-5%
5.	Daya pada 2 m	11,7W	20,13W	72%
6.	RPM daya terbesar 2 m	366	476	30%
7.	Efisiensi pada 2 m	23%	26%	13%
8.	RPM Eff terbesar 2 m	366	218	-40%

Alat hasil rancang ulang memiliki torsi lebih besar daripada alat eksisting dengan kenaikan sebesar 110%. Hal tersebut dikarenakan oleh desain saluran masuk air yang lebih besar pada alat rancang ulang sebesar 714,14 mm² dibandingkan dengan alat eksisting sebesar 503,2 mm² sehingga, debit air yang memasuki turbin menjadi

lebih besar dengan kenaikan 53% yang dapat mempengaruhi gaya yang memasuki turbin menjadi semakin besar dan membuat torsi yang dihasilkan semakin besar sesuai dengan rumus $T = F \times L$.



Gambar 7. Perbedaan desain penampang saluran nozel (a) alat eksisting (b) alat hasil rancang ulang

Besarnya daya yang dihasilkan sangat bergantung pada besarnya torsi dan kecepatan sudut. Sedangkan kecepatan sudut dipengaruhi oleh putaran turbin dan putaran turbin sangat tergantung dari massa aliran yang menumbuk sudu pada runner turbin. Debit air dipengaruhi oleh kecepatan air dan mempengaruhi gaya, massa aliran, kecepatan putaran, torsi, dan daya poros turbin. Semakin besar debit maka daya mekanis yang dihasilkan akan semakin besar pula dikarenakan adanya penambahan kecepatan dan massa aliran yang menumbuk sudu sudu turbin sehingga, gaya tangensial yang dihasilkan meningkat dan mempengaruhi torsi dan daya poros turbin.

Alat PLTPH portabel yang telah dirancang memiliki daya dan efisiensi yang lebih besar daripada alat eksisting dengan besar kenaikan daya sebesar 72% dan efisiensi sebesar 13%. Efisiensi turbin dipengaruhi oleh daya poros turbin dan daya hidrolis. Daya hidrolis dipengaruhi oleh tekanan dan debit yang mengalir memasuki turbin. Sedangkan, daya poros turbin sangat bergantung pada torsi dan kecepatan sudut yang bergantung pada massa aliran yang menumbuk sudu turbin.

Sehingga, berdasarkan keseluruhan hasil rancang ulang yang didasarkan mengenai permasalahan-permasalahan utama pada alat yang sebelumnya, menunjukkan hasil yang baik. Kecepatan putaran turbin, debit, daya poros turbin, dan efisiensi yang dihasilkan dari alat hasil rancang ulang telah menunjukkan hasil yang lebih baik. Namun hasil pengujian belum dapat dilakukan pada ketinggian 3 dan 4 m atau pada ketinggian maksimal dikarenakan masih terdapat beberapa faktor kesalahan. Pengujian kinerja turbin belum dapat dilakukan pada pengujian kelistrikan untuk menghasilkan tegangan dan arus dikarenakan beberapa faktor seperti, generator yang kurang sesuai, instalasi kelistrikan yang kurang optimal, dan pembebanan yang belum bekerja dengan baik.

5. KESIMPULAN

Rancang ulang alat Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) portabel tipe *cross flow* yang telah dirancang memiliki dimensi dengan panjang 266,63 mm, lebar 190 mm, tinggi 226,88 mm dan berat 1,30 kg. Dengan spesifikasi rancangan memiliki daya luaran sebesar 12 W, pada head 4 m dan debit aliran sebesar 4,4 l/s dengan kecepatan aliran masuk turbin sebesar 8,7 m/s.

Hasil pengujian alat rancang ulang memiliki kecepatan putaran sebesar 794 rpm, debit sebesar 3,867 l/s, dan head 2 m, sehingga menghasilkan daya poros sebesar 20,13 W dan efisiensi sebesar 26,0%. Sedangkan, hasil pengujian pada alat eksisting memiliki kecepatan putaran sebesar 839 rpm, debit sebesar 2,532 l/s, dan head 2 m, sehingga menghasilkan daya poros sebesar 11,7 W dan efisiensi sebesar 23,0%. Sehingga, alat hasil rancang ulang memiliki kenaikan daya poros sebesar 72% dan efisiensi mekanik sebesar 13% dibandingkan alat eksisting.

Hasil rancang ulang alat PLTPH portabel menghasilkan daya poros dan efisiensi yang lebih besar daripada alat eksisting. Hal tersebut dikarenakan pada alat hasil rancang ulang memiliki torsi lebih besar daripada torsi yang dihasilkan oleh alat eksisting, dikarenakan oleh desain saluran masuk air yang lebih besar sehingga, debit air yang memasuki turbin menjadi lebih besar dan mempengaruhi daya dan efisiensi yang dihasilkan.

REFERENSI

1. M. G. Rianta, IndonesiaRe (2021).
2. M. D. Rakhmat, (2021).
3. R. Hadiyanto and F. Bakri, **14**, 14 (2013).
4. B. Triyono, Haryadi, and P. Nurega, Jur. Tek. Mesin 172 (2014).
5. M. ELVISA, (2017).
6. F. Dietzel and D. Sriyono, *Turbin, Pompa Dan Kompresor* (Penerbit Erlangga, Jakarta, 1988).
7. C. A. Mockmore and F. Merryfield, Bull. Ser. 2 (1949).