JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Vol. 5, No. 2, Desember 2020, Hal. 221-230
Terakreditasi "**Peringkat 3"** oleh Kemenristek/BRIN, Nomor SK: 85/M/KPT/2020
DOI: 10.31544/jtera.v5.i2.2020.221-230
p-ISSN 2548-737X
e-ISSN 2548-8678

Desain dan Pengembangan Prototipe Alat Uji Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro dengan *Back Flow Water System*

Heri Suripto[#], Saiful Anwar
Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pasir Pengaraian
Jalan Tuanku Tambusai, Pasir Pengaraian, Rambah Hilir, Riau 28557 Riau, Indonesia
[#]heri.suriptodotone@gmail.com

Abstrak

Inovasi pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) terus dikembangkan mengingat kebutuhan akan energi listrik terus meningkat. Hal ini perlu didukung adanya media pembelajaran untuk mencari solusi alternatif permasalahan dalam mengatasi kebutuhan energi tersebut. Penelitian ini mendesain dan mengembangkan pembuatan PLTMH dengan *back flow water system*. Implementasi sistem berupa prototipe yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran mahasiswa dan alat uji energi alternatif hidro. Metode perancangan dan manufaktur menggunakan metode Pahl & Beitz dan pengujian menggunakan metode eksperimen dengan cara pengamatan dan pencatatan data-data yang ditunjukkan pada alat ukur. Pengujian dilakukan dua tahap, pengujian pertama pada putaran kincir dan transmisi, pengujian kedua pada putaran dinamo dan voltase. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang memiliki unjuk kerja yang baik.

Kata kunci: energi alternatif, prototipe alat uji, PLTMH *back flow water system*, putaran, voltase

Abstract

Innovation in the development of Micro Hydro Power Plant (PLTMH) continues to be developed considering the need for electrical energy continues to increase. This needs to be supported by the existence of learning media to find alternative solutions to problems in overcoming these energy needs. This study designed and developed the manufacture of PLTMH with a back flow water system. The implementation of the system is in the form of a prototype that can be used as a student learning medium and an alternative hydro energy test tool. The design and manufacturing method used the Pahl & Beitz method and the test used the experimental method by observing and recording the data shown on the measuring instrument. The test is carried out in two stages, the first test is on the wheel rotation and transmission, the second test is on the dynamo rotation and voltage. The test results show that the designed system has good performance.

Keywords: *alternative energy, test equipment prototype, back flow water system PLTMH, rotation, voltage*

I. PENDAHULUAN

Energi terbarukan dan keberlanjutan energi adalah berperan penting dalam pengembangan energi dunia melalui peningkatan sumber energi terbarukan yang bersih tanpa bahan bakar [1]. Fakta bahwa pengembangan energi terbarukan merupakan cara terbaik untuk perubahan iklim dunia [2]. Pada abad ke-20 seluruh dunia mengkhawatirkan sumber energi yang terus menipis dengan cepat. Oleh karena itu, perlu pengembangan energi terbarukan untuk energi listrik salah satunya energi terbarukan hidro. Perancangan pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) menjadi mungkin ketika sumber daya air yang ada terpenuhi, karena mikro hidro tidak memerlukan waduk atau bendungan yang besar. Investasi pembangkit listrik tenaga mikro hidro relatif kecil jika dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga air sekala besar [3]. Pemanfaatan energi hidro yang ramah lingkungan salah satunya adalah pemanfaatan kincir air sebagai penggerak generator [4]. Kincir air adalah mesin hidrolik yang banyak digunakan pada masa dulu untuk mengkonversi energi hidro menjadi energi mekanik [5]. Mikro hidro merupakan salah satu energi terbarukan tertua yang masih digunakan untuk menghasilkan tenaga listrik [6]. Berdasarkan keserbagunaannya mikro hidro ini tidak hanya

Diterima: 19 Oktober 2020; Direvisi: 23 November 2020; Disetujui: 30 November 2020

© 2020 JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Politeknik Sukabumi

untuk daerah perkotaan tapi juga cocok untuk daerah terpencil yang tidak memiliki akses jaringan listrik[7]. Sistem pembangkit listrik tenaga mikro hidro terbukti paling banyak digunakan untuk menangani kemiskinan energi terutama energi listrik [8]. Mikro hidro adalah salah satu solusi yang tepat untuk menghasilkan energi listrik pada daerah terpencil yang memiliki keterbatasan akses jalan, transportasi dan teknologi [9]. Saat ini pembangkit listrik tenaga mikro hidro penyumbang terbesar untuk memenuhi kebutuhan listrik dunia, hampir 19% popularitasnya dan memiliki efisiensi yang sangat tinggi [10]. Energi merupakan kunci pembangunan ekonomi dan sosial negara saat ini, untuk menghadapi tantangan global penyediaan teknologi yang handal, aman dan terjangkau merupakan aspek yang terpenting untuk diperhatikan [11].

Berdasarkan penelitian sebelumnya [12], mengembangkan evaluasi reliabilitas pembangkit listrik tenaga hidro berdasarkan air limbah kota menyimpulkan sistem pembangkit listrik tenaga mikro hidro sangat stabil dan murah mampu memproduksi tenaga yang handal, karena menggunakan *back up* oleh pompa yang berbasis air limbah kota yang tersedia. Selanjutnya [13] meneliti tentang desain dan implementasi sistem manajemen *smart energy* mikro hidro yang berdiri sendiri menyimpulkan dengan implementasi SEMS rasio dari DLC control dengan *system micro grid* meningkatkan efisiensi secara *real time* pada energi yang efektif. Selanjutnya penelitian [14] tentang sistem mikro hidro *low head* untuk daerah pedesaan menyimpulkan penerapan teknologi mikro hidro *low head* sangat tepat untuk daerah pedesaan karena memiliki potensi untuk dibuat pembangkit listrik tenaga mikro hidro *low head*. Penelitian [15] tentang pengembangan dan optimalisasi *low-speed and high-efficiency* generator magnet permanen untuk pembangkit sistem listrik mikro hidro menyimpulkan pengembangan *low head permanent magnet* pada sistem mikro hidro dapat menghasilkan efisiensi yang optimal sebesar 86,4 % dan dapat menghasilkan generator berkecepatan rendah. Penelitian [16] tentang pemanfaatan aliran irigasi untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga mikro hidro menyimpulkan melalui teknologi yang tepat aliran irigasi dapat dimanfaatkan untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga mikro hidro. Penelitian [17] tentang perancangan dan pengembangan sistem pembangkit listrik mikro hidro dengan menggunakan penyediaan air rumah tangga menyimpulkan pemanfaatan pembangkit listrik melalui aliran air rumah tangga dimanfaatkan untuk mengisi baterai yang akan digunakan untuk penerangan, dan kebutuhan rumah tangga lainnya. Penelitian [18] tentang perancangan turbin air untuk sistem mikro hidro *low head* menyimpulkan perancangan pembangkit listrik tenaga hidro *low head* cocok untuk masyarakat ekonomi rendah yang mengkonsumsi daya listrik sekitar 1 kw. Penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga hidro *low head* ini memanfaatkan aliran air tetap dimana air yang jatuh ke turbin akan dinaikkan kembali menggunakan pompa listrik pada saat jam *off-peak*.

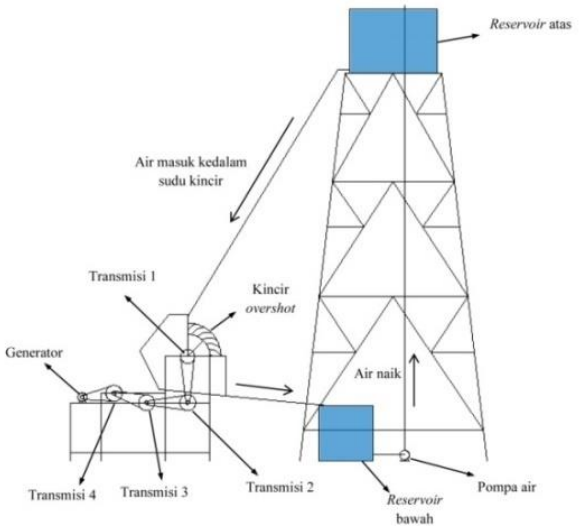
Inovasi dan penelitian pengembangan pembangkit listrik tenaga air terus dikembangkan mengingat kebutuhan akan energi listrik terus meningkat. Hal ini perlu didukung adanya media pembelajaran untuk mencari solusi alternatif permasalahan dalam mengatasi kebutuhan energi tersebut. Penggunaan media pembelajaran dalam proses belajar mengajar dapat membantu dan meningkatkan minat belajar, menambah motivasi, dan memberikan pengaruh positif dari psikologis pelajar. Pemanfaatan dan penggunaan media belajar sangat membantu dan efektif untuk proses pembelajaran serta penyampaian pesan dan isi pelajaran secara real, hal ini dapat meningkatkan pemahaman karena menyajikan informasi secara menarik dan terpercaya [19].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendesain dan mengembangkan alat uji pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan *back flow water system* dengan implementasi berupa prototipe. Metode perancangan dan manufaktur menggunakan metode Pahl & Beitz dan pengujian dengan menggunakan metode eksperimen. Alat ini nantinya akan difungsikan sebagai media pembelajaran dan alat uji energi alternatif pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan memanfaatkan sistem aliran balik. Diharapkan dengan adanya pembuatan pembangkit listrik tenaga air dengan sistem aliran balik (*back flow water system*) dapat menambah wawasan dan pengetahuan mahasiswa dalam proses belajar mengajar terkait energi alternatif hidro.

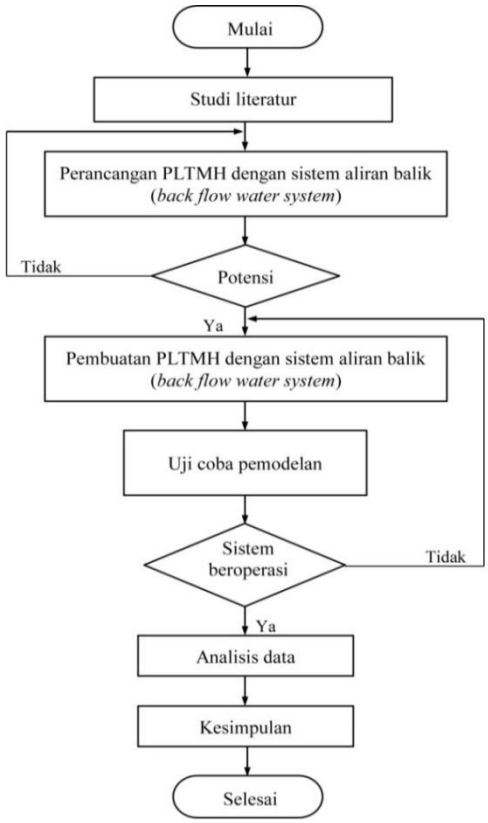
II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan mendesain dan mengembangkan prototipe alat uji pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan sistem aliran balik (*back flow water system*) seperti pada Gambar 1.

Perancangan dan pembuatan sistem ini menggunakan metode Pahl & Beitz dan pengujian dengan menggunakan metode eksperimen. Setelah alat dirancang dan dibuat, maka dilakukan pengujian pada pembangkit tersebut dengan cara pengamatan dan pencatatan data-data yang ditunjukkan pada alat ukur.



Gambar 1. *Layout* PLTMH *back flow water system*



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Proses penelitian mengikuti diagram alir seperti terlihat pada Gambar 2. Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur yang bertujuan untuk mencari referensi yang sesuai dan memiliki keterkaitan dengan penelitian. Selanjutnya, dilakukan perancangan PLTMH dengan sistem aliran balik (*back flow water system*), kegiatan ini meliputi perhitungan kecepatan aliran, perancangan kincir air, perancangan diameter poros, perancangan sistem transmisi, perhitungan kebutuhan pompa air, pembuatan sketsa gambar 2D dan 3D. Selanjutnya dilakukan pembuatan PLTMH dengan sistem aliran balik (*back flow water system*), kegiatan ini meliputi pembuatan kincir air, pembuatan poros, pembuatan tower, serta perakitan sistem pembangkit berbasis pada seleksi material dengan mengikuti pendekatan dari metode Pahl & Beitz [20]. Selanjutnya dilakukan uji coba prototipe kegiatan ini meliputi pengamatan dan pencatatan data-data yang diukur pada alat ukur dengan berbasis metode eksperimen. Selanjutnya analisis data, kegiatan ini meliputi analisis uji coba putaran kincir, putaran transmisi, tegangan, ampere, serta daya kebutuhan pompa untuk menaikkan air dari *reservoir* bawak ke *reservoir* atas. Kemudian data dianalisis untuk mendapatkan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

A. Perancangan Alat

Besarnya energi potensial air sebanding dengan *head* [21] dan memenuhi persamaan berikut.

$$P = Q\ x\ H\ x\ \rho\ xg \qquad (1)$$

dengan Q adalah debit air (m^3/s), H adalah ketinggian air (m), g adalah gravitasi dan ρ adalah densitas air. Nilai Q sebesar 1 liter/s, nilai H = 1 m, nilai ρ = 1000 kg/m, nilai g = 10 m/s^2, dan efisiensi maksimum kincir air *overshot* sebesar 85% [22]. Hasil perhitungan diperoleh bahwa energi potensial air yang tersedia adalah sebesar 847 Watt.

Diameter luar kincir dapat dihitung dengan persamaan [22].

$$h = \frac{\frac{1}{3}.D_1}{2} \qquad (2)$$

dengan h adalah tinggi *blade* atau h = d dimana nilai d = 0,08 – 0,15 m [18]. D_1 adalah diameter luar kincir air (m). Hasil perhitungan diperoleh bahwa diameter luar kincir D_1 adalah sebesar 0,937 m dengan besar h = d yang diambil sebesar 0,15 m

Untuk mengetahui bentuk sudu kincir maka perlu diketahui parameter sebagai berikut.

a. *Pitch* lingkaran kincir [24]

$$p = 0{,}36\ x\ r1 \qquad (3)$$

dengan $r1$ adalah jari-jari luar kincir = 0,469 m. Hasil perhitungan yang diperoleh bahwa besar *pitch* lingkaran kincir yang diperlukan adalah sebesar 0,16 m.

b. Radius lingkaran *pitch*

$$ro = 0{,}73\ x\ r1 \qquad (4)$$

dengan $r1$ adalah jari-jari luar kincir = 0,469 m. Sehingga hasil perhitungan yang diperoleh untuk radius lingkaran *pitch* adalah sebesar 0,20 m.

c. Jumlah sudu yang direncanakan sebanyak 24 sudu untuk kincir air *overshot* dengan ketinggian kurang dari 1,3 m [23]. Dengan kemiringan maksimal sebesar 30^o [25].
d. lebar sudu

$$b = \frac{Q}{V.\ \varepsilon.\ d} \quad (5)$$

dengan Q adalah debit air (m^3/s), v adalah kecepatan (m/s), d adalah kedalaman sudu = 0,08 – 0,15 (m), $\varepsilon = 0{,}5$ [18]. Nilai Q adalah 0,001 m^3/s, nilai v adalah sebesar 0.0013 m/s. Hasil perhitungan yang diperoleh untuk lebar sudu kincir adalah sebesar 0,15 m.

Putaran kincir dapat dihitung dengan persamaan berikut [21].

$$N = \frac{60\ x\ U1}{\pi\ .\ D_1} \quad (9)$$

Besar kecepatan relatif U_1 dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut [25].

$$U_1 = \omega\ .r_1 \quad (10)$$

Besar kecepatan sudut (ω) dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut [25].

$$\omega = \frac{20\ x\ \sqrt{H}}{r_1} \cdot \frac{2\pi}{60} \quad (11)$$

dengan U_1 adalah kecepatan relatif (m/s). Hasil perhitungan diperoleh bahwa kecepatan sudut adalah sebesar 4,5 rps, nilai U_1 adalah sebesar 2 m/s dan N adalah sebesar 40 rpm.

Diameter poros dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [21].

$$d_s = \left[\frac{5{,}1}{\tau_a}\ x\ K_t\ x\ C_b\ x\ T\right]^{\frac{1}{3}} \quad (12)$$

$$T = 9{,}74\ x\ 10^5 x\ \frac{p_d}{N} \quad (13)$$

dengan *Kt* adalah beban dikenakan dengan kejutan = 1,5, *Cb* adalah pemakaian beban lentur = 1,45, *T* adalah torsi (N.m), τ_a adalah tegangan geser yang diijinkan (kg/mm^2). Hasil perhitungan yang diperoleh bahwa besar torsi jika P_d sebesar 0,847 kW, dan nilai N sebesar 40 rpm maka besarnya torsi adalah sebesar 20.649 N.m. Sehingga hasil perhitungan diameter poros dengan nilai τ_a sebesar 5,7 kg/mm^2 diperoleh sebesar 30 mm.

Sistem transmisi yang digunakan adalah transmisi puli dengan persamaan sebagai berikut [26].

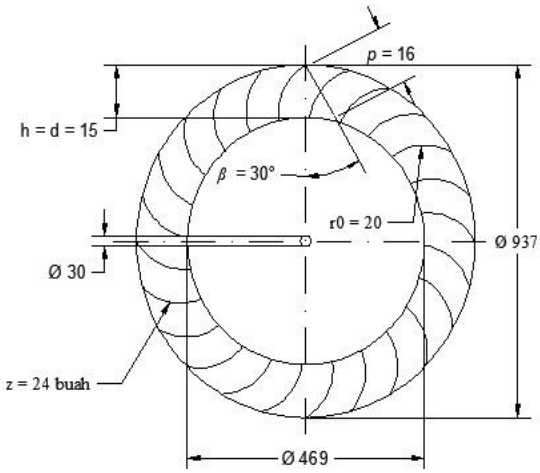
$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \quad (14)$$

dengan n_1 adalah putaran puli 1 (rpm), dan n_2 adalah putaran puli 2 (rpm), sedangkan d_1 adalah diameter puli 1 (m) dan d_2 adalah diameter puli 2 (m). Hasil perhitungan yang diperoleh dengan nilai n_1 = 40 rpm, n_2 150 rpm, d_1 = 0,3 m maka untuk d_2 adalah sebesar 0,08 m.

Gambar desain perancangan 2 dimensi kincir air *overshot* dapat dilihat pada Gambar 3 dengan *layout* 3 dimensi pada Gambar 4 dan sistem transmisi pada Gambar 5.

B. Proses Pembuatan Alat

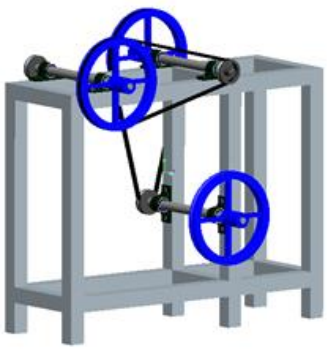
Konsep yang telah dipilih yang akan dibuat dengan mempertimbangkan beberapa komponen material yang telah ditentukan. Adapun desain sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 6 dengan daftar morfologi bahan disajikan pada Tabel 1.



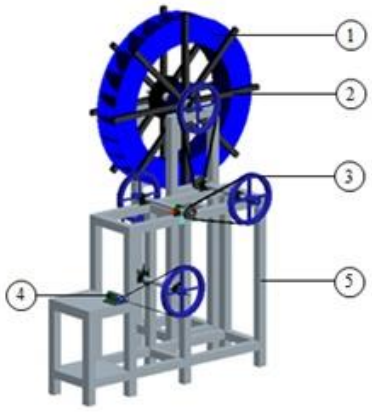
Gambar 3. Layout kincir air hasil perancangan



Gambar 4. Kincir *overshot* tampak samping



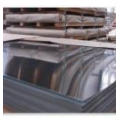
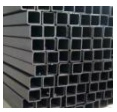
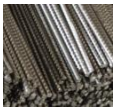
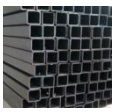
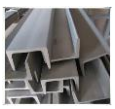
Gambar 5. *Layout* transmisi



Gambar 6. *Layout* awal

Keterangan gambar: (1) Sudu kincir, (2) Jari-jari kincir, (3) Transmisi, (4) Dinamo, dan (5) Kerangka.

Tabel 1. Matriks morfologi bahan

Sub fungsi		Varian		
		1	2	3
1	Bahan kincir	 Plat Aluminium 0,8 mm	 Plat besi 0,8 mm	 Plat stainless 0,8 mm
2	Jari-jari kincir	 Besi holo 2 mm x 2o mm x 1 mm	 Besi as bulat 10 mm	 Besi strip 2x1 mm
3	Transmisi	 Roda gigi	 Rantai & Gear	 Sabuk & Puli
4	Dinamo	 Dinamo AC	 Dinamo DC	
5	Rangka	 Besi siku 50 mm x 50 mm x 5 mm	 Besi holo 50 mm x 50 mm x 1,2 mm	 Besi kanal C 60 mm x 40 mm

Tabel 2. Alat uji dan bahan yang diuji

No	Alat uji	Bahan yang diuji	Spesifikasi/ ukuran
1	Tachometer rpm	Kincir dan transmisi	D_0 Kincir = 937 mm Z = 24 Diameter puli 1 300 mm dan diameter puli 2 80 mm
			Digital Tachometer DT-2236B photo tach: 2,5 to 99.999 rpm
2	Volt meter dan Ampere meter	Dinamo ampere	T120s non injeksi 12V-65A-5S

C. Pengujian Alat

Pengujian dilakukan untuk mengetahui fungsi dan sistem operasi alat. Pengujian dilakukan dengan 3 tahap bukaan katup aliran air masuk ke sudu turbin. Jika kerja alat belum optimal maka dilakukan modifikasi agar alat dapat beroperasi dengan baik. Parameter yang diukur dalam pengujian adalah putaran kincir, putaran transmisi, daya tegangan, serta arus yang dihasilkan. Kemudian dilakukan pengujian untuk menaikkan air dari reservoir bawah ke reservoir atas dengan menggunakan kombinasi pompa hidram dan pompa listrik. Adapun alat yang digunakan dalam pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Desain Alat

Setelah melakukan desain perancangan maka tahap selanjutnya adalah pembuatan alat yang digunakan untuk proses pengujian. Hasil perancangan dapat dilihat pada Tabel 3. Pada tahap realisasi pembuatan alat, pemilihan bahan serta beberapa parameter alat dapat dilihat pada Gambar 7 dengan rincian parameter alat dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil rancang bangun alat terdiri dari beberapa bagian yaitu kerangka dudukan turbin, transmisi dinamo, kincir air, sistem transmisi, *reservoir* atas, *reservoir* bawah, saluran masuk, saluran keluar, tower air dan sistem perpompaan.

Tabel 3. Parameter kincir air *overshot*

No	Parameter	Symbol	Nilai	Satuan
1	Diameter luar kincir	D_0	937	mm
2	Tinggi blade (sudu)	h	150	Mm
3	Jumlah sudu	z	24	pcs
4	*Pitch* lingkaran kincir	*p*	160	mm
5	Radius lingkaran *pitch*	r_0	200	mm
5	Sudut sudu	β	30	(^{o})
6	Diameter poros	d_s	300	mm
7	Lebar kincir	b	150	mm



Gambar 7. *Layout* prototipe PLTMH

Tabel 4. Komponen realisasi alat

No	Parameter	Bahan
1	Kincir air *overshot*	Aluminium 0,8 mm
2	Sistem transmisi sabuk dan puli	Sabuk dan puli
3	Rangka dudukan kincir, transmisi dan dinamo	Besi holo 50 mm x 50 mm x 1,2 mm
4	Alat pengukur voltase dan ampere	Voltmeter 4 digital mini DC 0-100V 10A
5	Dinamo ampere	T120s non injeksi 12V-65A-5S

Berdasarkan Tabel 1 matriks morfologi bahan, varian yang dipilih adalah sebagai berikut:

1. Bahan kincir menggunakan varian 1, ringan dan tidak mudah korosi.
2. Jari-Jari kincir menggunakan varian 2, lebih kuat untuk struktur.
3. Transmisi menggunakan varian 3, karena daya yang bangkitkan dinamo tidak lebih dari 1 kW, dan untuk operasi yang tenang (tidak berisik).
4. Dinamo menggunakan varian 2, murah dan sederhana, mudah perawatan, untuk aplikasi berdaya rendah.
5. Rangka menggunakan varian 2, lebih kuat untuk struktur.

B. Proses Manufaktur

Proses manufaktur diawali dengan mempersiapkan peralatan yang digunakan, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan kincir air, pembuatan rangka dudukan kincir, rangka dudukan transmisi, rangka dudukan dinamo, dan pembuatan tower air. Setelah komponen dibuat dan dipersiapkan maka selanjutnya adalah proses perakitan komponen dengan tahapan (1) Perakitan kincir air, (2) Perakitan transmisi sabuk dan puli, (3) Perakitan dinamo, (4) Perakitan alat ukur tegangan dan arus, (5) Perakitan tower air, (6) Perakitan reservoir atas dan reservoir bawah, (7) Perakitan saluran masuk dan saluran keluar aliran air, (8) Perakitan sistem perpompaan dalam hal ini pompa yang digunakan adalah kombinasi pompa listrik dan pompa hidram. Untuk menambah putaran pada dinamo maka sistem transmisi dibuat sebanyak 3 tingkatan transmisi.

C. Proses dan Hasil Pengujian

Proses pengujian dilakukan untuk mengetahui hasil manufaktur dapat beroperasi dengan baik. Jika ditemukan ketidaksesuaian pengujian terhadap perancangan dan manufaktur maka akan dilakukan perbaikan komponen hingga ditemukan hasil yang sesuai. Proses tahapan pengujian dapat dibagi menjadi 3 tahapan diantaranya: Tahap pertama pengujian dengan bukaan katup aliran masuk sudu dengan putaran ½ putaran. Tahap kedua pengujian dengan bukaan katup aliran masuk sudu dengan ¾ putaran. Tahap ketiga pengujian dengan bukaan katup aliran masuk sudu dengan bukaan penuh. Untuk mengetahui hasil pengujian putaran dapat dilihat pada Tabel 5. Hasil pengujian menunjukan bahwa putaran mengalami penurunan pada transmisi ke 3, penurunan ini disebabkan karena besarnya gesekan pada puli sehingga putaran kincir yang dihasilkan tidak mampu memutar sampai ke transmisi 3. Uji coba telah dilakukan dengan 3 variasi jenis *belt*, diantaranya adalah *belt* jenis *belt* V-B, *belt* V-A dan jenis *belt flat*. Sehingga untuk pengujian voltase maka sistem transmisi yang digunakan hanya 2 sistem transmisi. Tabel 6 menunjukan hasil pengujian putaran dinamo terhadap besar voltase dan arus yang dihasilkan dinamo.

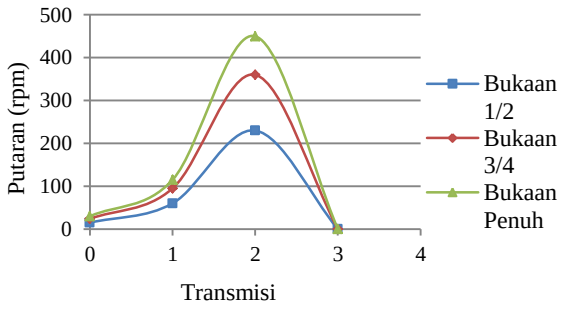
Tabel 5. Pengujian putaran

Bukaan katup	Parameter	Nilai	Satuan
½ putaran	Putran kincir	15	rpm
	Putaran transmisi 1	55	rpm
	Putaran transmisi 2	200	rpm
	Putaran transmisi 3	0	rpm
¾ putaran	Putaran kincir	24	rpm
	Putaran transmisi 1	85	rpm
	Putaran transmisi 2	300	rpm
	Putaran transmisi 3	0	rpm
Bukaan penuh	Putaran kincir	30	rpm
	Putaran transmisi 1	105	rpm
	Putaran transmisi 2	375	rpm
	Putaran transmisi 3	0	rpm

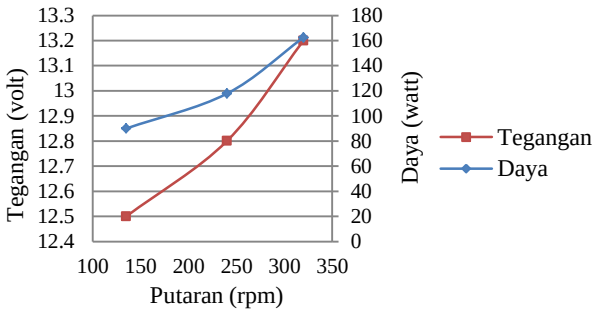
Table 6. Pengujian tegangan dan arus pada dinamo

Bukaan katup	Parameter	Nilai	Satuan
½ putaran	Lampu DC 30 watt	3	pcs
	Putaran dinamo	135	rpm
	Voltase	12,5	volt
	Arus	7,2	ampere
	Daya	90	watt
¾ putaran	Lampu DC 30 watt	4	pcs
	Putaran dinamo	240	rpm
	Voltase	12,8	rpm
	Arus	9,2	rpm
	Daya	117,76	watt
Bukaan penuh	Lampu DC 30 watt	5	pcs
	Putaran dinamo	320	rpm
	Voltase	13,2	volt
	Arus	12,5	ampere
	Daya	162,5	watt

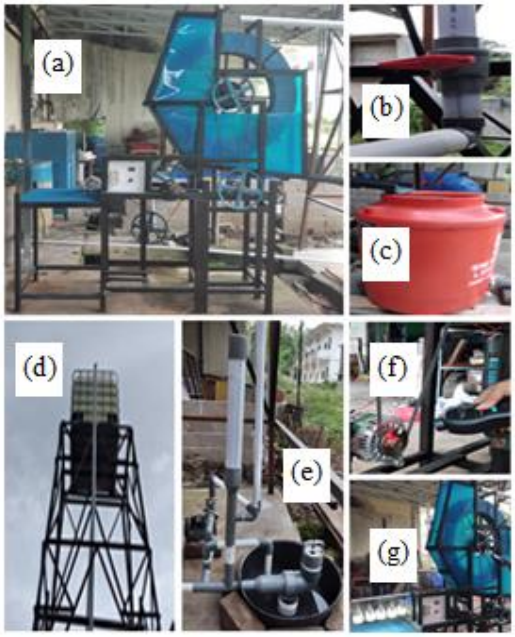
Gambar 8 menunjukan *trend* fluktuasi bahwa *trend* meningkat kemudian menurun, penurunan selalu ditunjukkan pada transmisi 3. Banyak faktor yang menyebabkan penurunan putaran pada transmisi 3 diantaranya besar gesekan *belt* terhadap puli yang menyebabkan transmisi 3 tidak berputar, serta besarnya debit air yang masuk ke sudu kincir.



Gambar 8. Grafik hubungan transmisi dan putaran berdasarkan debit masuk ke sudu kincir



Gambar 9. Grafik hubungan daya, tegangan terhadap putaran



Gambar 10. a) Hasil rancangan kincir, transmisi dan dinamo b) katup kran aliran masuk c) reservoir bawah d) reservoir atas e) sistem perpompaan f) pengujian dinamo g) pengujian putaran kincir

Gambar 9 menunjukan *trend* yang meningkat, dimana peningkatan *trend* akan dipengaruhi oleh putaran kincir, bertambah besar putaran kincir maka *alternator* akan menghasilkan voltase dan daya yang besar pula. Gambar 10 merupakan hasil implementasi dari sistem yang dirancang.

D. Analisis Sistem Aliran Balik

Pada pengujian sistem aliran balik teknik yang digunakan adalah dengan mengembalikan air yang jatuh dari reservoir atas ke reservoir bawah, dengan kombinasi teknologi pompa listrik dan pompa hidram. Hasil pengujian untuk menaikkan air *reservoir* atas butuh waktu 12 menit menggunakan pompa air kapasitas 0,3 liter per detik, dan daya yang dibutuhkan sebesar 125 watt. Daya yang dibangkitkan pembangkit listrik dari pengujian tidak lebih dari 200 watt sehingga pengoperasian pompa disarankan ketika kondisi jam *off-peak* atau menggunakan arus listrik eksternal.

IV. KESIMPULAN

Desain dan pengembangan alat uji pembangkit listrik tenaga mikro hidro dengan *back flow water system* telah berhasil dilakukan dan diterapkan dalam bentuk prototipe. Pengujian dilakukan dengan 2 tahap, tahap pertama pengujian dilakukan pada putaran kincir dan transmisi dimana putaran kincir maksimum menghasilkan putaran sebesar 30 rpm, dan putaran transmisi maksimum sebesar 375 rpm. Tahap kedua pengujian pada putaran dinamo, dimana voltase maksimum dihasilkan pada putaran sebesar 240 rpm sebesar 13 volt, dan arus sebesar 12,5 ampere untuk Daya sebesar 162,5 watt. Teknologi yang digunakan untuk menaikkan air dengan kombinasi teknologi pompa listrik dan pompa hidram dimana dioperasikan pada saat off peak atau dengan arus eksternal. Hasil pengujian untuk menaikkan air *reservoir* atas butuh waktu 12 menit menggunakan pompa air kapasitas 0,3 liter per detik, dan daya yang dibutuhkan sebesar 125 watt. Daya yang dibangkitkan pembangkit listrik dari pengujian tidak lebih dari 200 watt sehingga pengoperasian pompa disarankan ketika kondisi jam *off-peak* atau menggunakan arus listrik eksternal. Untuk meningkatkan daya pembangkit ini perlu adanya modifikasi sistem transmisi yang ada, gunakan transmisi yang kecil mengalami gesekan seperti sistem transmisi rantai dan gear, serta mengkombinasikan dengan pembangkit listrik tenaga surya. Penelitian selanjutnya yang dapat dikembangkan adalah dengan mengkombinasikan PLTA *back flow water system* dengan pembangkit listrik tenaga surya menuju energi *hybrid*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada LPPM Universitas Pasir Pengaraian dalam pelaksanaan hibah penelitian Kemenristek DIKTI No. 8/EI/KPT 2020, /LPPM-UPP/KP/PDP-DRPM/2020, serta tim *technical support* laboratorium Universitas Pasir Pengaraian yang turut berpartisipasi dalam fasilitasi laboratorium untuk penelitian.

REFERENSI

[1] R. R. Singh, B. A. Kumar, D. Shruthi, R. Panda, and C. T. Raj, "Review and experimental illustrations of electronic load controller used in standalone Micro-Hydro generating plants," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 21, no. 5, pp. 886–900, 2018.

[2] E. B. K. Signe, B. Bogno, M. Aillerie, and O. Hamandjoda, "Performance in feasibility studies of micro hydro power plants. New software development and application cases in Cameroon," *Energy Procedia*, vol. 157, pp. 1391–1403, 2019.

[3] L. Jasa, A. Priyadi, and M. H. Purnomo, "Experimental Investigation of Micro-Hydro Waterwheel Models to Determine Optimal Efficiency," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 776, pp. 413–418, 2015.

[4] F. U. Khan, A. Ahmed, U. K. Jadoon, and F. Haider, "Modeling, Simulation and Fabrication of an Undershot Floating Waterwheel," *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 34, no. 2, pp. 55–69, 2015,

[5] C. Vidali, S. Fontan, E. Quaranta, P. Cavagnero, and R. Revelli, "Experimental and dimensional analysis of a breastshot water wheel," *J. Hydraul. Res.*, vol. 54, no. 4, pp. 473–479, 2016.

[6] N. K. Hira Singh Sachdev, Ashok Kumar Akella, "Analysis and evaluation of small hydropower plants: A bibliographical survey.," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51:1013 –, 2015.

[7] K. Y. L. Nima Izadyar, Hwai Chyuan Ong, W.T. Chong, "Resource assessment of the renewable energy potential for a remote area: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 62:908 – 9.

[8] P. A. M. C.P. Jawahar, "A review on turbines for micro hydro power plant," . *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 72:882 – 8, 2017.

[9] R. Marliansyah, D. N. Putri, A. Khootama, and H. Hermansyah, "Optimization potential analysis of micro-hydro power plant (MHPP) from river with low head," *Energy Procedia*, vol. 153, pp. 74–79, 2018.

[10] A. Tapia, D. G. Reina, and P. Millán, "Optimized micro-hydro power plants layout design using messy genetic algorithms," *Expert Syst. Appl.*, vol. 159, p. 113539, 2020.

[11] M. Binama, W. T. Su, X. Bin Li, F. C. Li, X. Z. Wei, and S. An, "Investigation on pump as turbine (PAT) technical aspects for micro hydropower schemes: A state-of-the-art review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 79, no. April 2016, pp. 148–179, 2017.

[12] R. K. Saket, "Design, development and reliability evaluation of micro hydro power generation system based on municipal waste water," *2008 IEEE Electr. Power Energy Conf. - Energy Innov.*, 2008.

[13] V. Valsan and P. Kanakasabapathy, "Design and implementation of smart energy management

system for stand-alone micro-hydro systems," *Proc. 2017 IEEE Int. Conf. Technol. Adv. Power Energy Explor. Energy Solut. an Intell. Power Grid, TAP Energy 2017*, pp. 1–6, 2018.

[14] F. M. Tamiri, M. A. Ismail, and W. K. Muzammil, "Low head micro hydro systems for rural electrification," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 834, no. 1, 2020.

[15] L. Wei, T. Nakamura, and K. Imai, "Development and optimization of low-speed and high-efficiency permanent magnet generator for micro hydro-electrical generation system," *Renew. Energy*, vol. 147, pp. 1653–1662, 2020.

[16] J. Jamal and L. Lewi, "Utilization of irrigation flow for the construction of micro-hydro power plant," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1977, 2018.

[17] A. . C. Gunjan Yadav, "Design and Development of Pico Micro Hydro System By Using House Hold Water Supply," *Int. J. Res. Eng. Technol.*, vol. 03, no. 22, pp. 114–119, 2014.

[18] A. Zaman and T. Khan, "Design of a Water Wheel For a Low Head Micro Hydropower System," *J. Basic Sci. Technol.*, vol. 1, no. 3, pp. 1–6, 2012,.

[19] F. Elfinurfadri, R. Rasyid, and H. Nasbey, "Pengembangan Miniatur Pembangkit Listrik Tenaga Uap Sebagai Media Pembelajaran Fisika Sekolah Menengah Atas (SMA)," *Semin. Nas. Fis. Univ. Negeri Jakarta*, pp. 129–133, 2013.

[20] G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen, and K. H. Grote, Engineering Design, Third. Springer, 2007.

[21] I. G. A. D. Unggul Wibawa, Hari Santoso, "Perancangan kincir air pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) desa bendosari kecamatan pujon kabupaten malang," *J. Elektro Vol. 7 No. 1 Juli 2014*, vol. 1, no. 1, pp. 1–14, 2014.

[22] Wariito, D. Adanta, S. A. Arifianto, S. B. Nasution, and Budiarso, "Effect of Blades Number on Undershot Waterwheel Performance with Variable Inlet Velocity," *Proc. - 2018 4th Int. Conf. Sci. Technol. ICST 2018*, no. 4749, pp. 1–6, 2018.

[23] E. Quaranta and R. Revelli, "Gravity water wheels as a micro hydropower energy source: A review based on historic data, design methods, efficiencies and modern optimizations," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 97, no. November 2017, pp. 414–427, 2018.

[24] H. Suripto *et al.*, "Analisis Kecepatan Masuk Sudut Runner Turbin Cross flow dengan Simulasi CFD," no. 1, pp. 39–44, 1949.

[25] H. Suripto and S. Anwar, "Optimasi Perancangan Turbin Crossflow Terhadap Sudut Masuk Blade Runner Untuk Micro Hydro Power Plant Dengan Analisis Cfd," *Rotasi*, vol. 22, no. 1, pp. 48–54, 2020.

[26] R. Effendi and M. Khumaidi, "Perancangan Mesin Perajang Bawang Serbaguna Berpenggerak Motor Listrik Dengan Kapasitas 55 Kg/Jam," *J. POLIMESIN*, vol. 16, no. 2, p. 47, 2018.