

RANCANG BANGUN TURBIN CROSS-FLOW UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) SKALA LABORATORIUM

CROSS-FLOW TURBINE DESIGN FOR LABORATORY SCALE MICRO HYDRO POWER PLANT

Wiludjeng Trisasiwi^{*1}, Masrukhi¹, Asna Mustofa¹, dan Furqon¹

*Email: wiludjengsiwi@yahoo.com

¹Program Studi Teknik Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto

Abstrak - Kabupaten Banyumas memiliki banyak sungai yang potensial untuk dikembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Konsep listrik berbasis mikrohidro dengan memanfaatkan sumber air yang berada di sekitar pemukiman. Tujuan penelitian ini membuat peta potensi sungai di wilayah Kabupaten Banyumas untuk dikembangkan PLTMH skala 100-500 kW, membuat rancangan dan prototipe PLTMH skala laboratorium serta uji performansi. Pelaksanaan penelitian meliputi: pengumpulan data iklim, pengukuran debit sungai dan ketinggian terjunan; Pembuatan prototipe turbin *cross-flow*; serta uji performansi protipe di Laboratorium Teknik Sistem Termal dan Energi Terbarukan Fakultas Pertanian Universitas Jenderal Soedirman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rancangan turbin *cross-flow* belum menunjukkan performansi optimum, tetapi peralatan transmisi dapat bekerja baik, sistem penyaluran energi bekerja cukup baik memutar turbin pada kondisi dengan maupun tanpa beban. Hasil pengujian menggunakan kekuatan motor pompa penuh didapatkan hasil 1.114,7 rpm generator; voltase 77,7 V; dan arus 0,5 A pada saat tanpa beban, serta 1.018,6 rpm generator; voltase 70,2 V, dan arus 0,5 A pada saat diberi beban lampu LED 5 W.

Kata kunci — Mikrohidro, PLTMH, turbin, *cross-flow*, transmisi

Abstract - Banyumas District has a lot of potential rivers, to develop Micro Hydro Power Plant (MHP). The concept of MHP is to utilize water sources located around the settlement. The purpose of the study are: to create a map of potential river in the district of Banyumas to develop MHP scale 100-500 kW; create a design and prototype laboratory scale; and conduct performance test laboratory. Implementation of the research include: climate data collection, measurement of flow rate and head; prototyping cross-flow turbine types, and performance test of the prototype MHP conducted at the Laboratory of Thermal Systems Engineering and Renewable Energy, Faculty of Agriculture, Unsoed. The research results of a cross-flow turbine has been designed not show a good performance, but the transmission equipment can work, and the energy distribution could turn turbines, both on the condition of using and without load. Test results using the full power of the pump motor when no load is obtained 1114.7 rpm generator; voltage of 77.7 V; and a current of 0.5 A, whereas when using the 5 W LED lamp load generated 1018.6 rpm generator; voltage of 70.2 V and a current of 0.5 A.

Keywords - Micro-hydro, turbines, cross-flow, transmission

I. PENDAHULUAN

Saat ini Rasio Elektrifikasi (RE) di Kabupaten Banyumas adalah sekitar 79 persen. Artinya, dari 1,7 juta penduduk Kabupaten Banyumas sekitar 21 persennya belum menikmati listrik PLN. Mereka yang rumahnya belum teraliri listrik rata-rata adalah

penduduk yang berada di lereng-lereng gunung, dan sebagian penduduk di beberapa gerumbul di wilayah terpencil di Kabupaten Banyumas yang sangat jauh dari jaringan listrik PLN. Permasalahan ini dapat diatasi dengan menyediakan energi listrik dengan memanfaatkan energi alternatif terbarukan salah satunya adalah dengan PLTMH.

Kabupaten Banyumas memiliki wilayah yang potensial untuk dikembangkan energi mikrohidro baik yang skala kecil kurang dari 500 kW maupun skala menengah 500 – 1.000 kW. Sampai dengan tahun 2012 sudah ada 13 tempat yang dikembangkan yaitu: di Sungai Guwa ada dua titik dengan kapasitas 1,2 dan 3 MW; dua di Sungai Prukut dengan kapasitas 1,6 dan 4 MW; Sungai Mengaji ada dua titik dengan kapasitas 1 dan 1,5 MW; di Sungai Logawa ada lima titik dengan kapasitas 2 sampai 2,9 MW; di Sungai Banjaran dengan kapasitas 3 MW; serta di Sungai Serayu dengan kapasitas 16 MW. Ke 13 proyek tersebut dikerjakan oleh swasta di bawah koordinasi Dinas ESDM dan mencakup 9 desa serta 6 kecamatan, pentahapannya ada yang baru ijin prinsip dan lokasi, ada yang sedang feasibility study, dan ada juga yang sudah sampai perjanjian jual beli listrik. Potensi energi air di sungai yang ada di wilayah Kabupaten Banyumas untuk PLTMH terutama skala kecil kurang dari 1 MW belum ada yang dieksplorasi, padahal ini sangat potensial untuk dikembangkan. PLTMH skala kecil ini sangat cocok diaplikasikan untuk rumah tangga di pedesaan sekaligus membantu pemerintah mewujudkan Desa Mandiri Energi (DME). Salah satu tujuan utama pengembangan Desa Mandiri Energi (DME) adalah untuk mensubstitusi energi BBM. Konsep DME berbasis mikrohidro dengan memanfaatkan sumber air yang berada di sekitar pemukiman dapat dijadikan solusi untuk pengembangan ekonomi produktif di pedesaan [1].

Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam pemanfaatan energi mekanis air terjun pada sungai untuk PLTMH yaitu: (1) jumlah ketersediaan air; (2) tinggi terjunan atau beda ketinggian yang dapat dimanfaatkan; dan (3) jarak lokasi terhadap wilayah pemukiman penduduk atau jaringan transmisi [2]. Ketiga faktor tersebut mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan.

Dalam perencanaan penerapan PLTMH data yang dibutuhkan adalah data iklim berupa data curah hujan dan data debit sungai sepanjang tahun pada musim kemarau dan musim hujan selama 5 – 10 tahun; serta data kemiringan terjunan atau beda ketinggian (head) di semua titik (tempat) yang dianggap potensial untuk dikembangkan PLTMH.

Dalam pembangunan PLTMH bagian utama yang dibutuhkan berupa bangunan sipil berupa bendung, bangunan canal, forebay, rumah turbin; serta turbin. Pemilihan jenis dan rancangan turbin serta jumlah sudu turbin harus sesuai dengan debit air dan beda

ketinggian agar dihasilkan efisiensi yang tinggi, sehingga menghasilkan daya listrik yang maksimal.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut.

1. Bagaimana profil sungai di wilayah Kabupaten Banyumas kaitannya dengan tempat-tempat yang potensial untuk dikembangkan PLTMH berdasarkan curah hujan, debit sungai, dan tinggi terjunan (head).
2. Bagaimana spesifikasi turbin cross-flow seperti jenis, jumlah sudu, dimensi, dan bahan yang sesuai diterapkan untuk PLTMH skala kurang dari 500 kW.
3. Bagaimana performansi turbin cross-flow untuk PLTMH skala laboratorium yang dirancang bangun.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka tujuan penelitian adalah:

1. Membuat peta potensi wilayah sungai di Kabupaten Banyumas untuk pengembangan PLTMH skala kecil 100 - 500 kW.
2. Membuat rancangan dan prototipe PLTMH skala laboratorium.
3. Melakukan uji performansi PLTMH skala laboratorium.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahap, sebagai berikut.

1. Pengumpulan data iklim, pengukuran debit sungai, serta ketinggian (head) di sungai yang potensial untuk pengembangan PLTMH di wilayah Kabupaten Banyumas.
2. Pembuatan prototipe alat turbin air tipe cross-flow untuk PLTMH di Laboratorium Mekanisasi Pertanian dan di bengkel mesin "Ichwan" Desa Pasir, Kabupaten Banyumas.
3. Uji performansi prototipe alat PLTMH yang dirancang dilakukan di Laboratorium Teknik Sistem Termal dan Energi Terbarukan Fakultas Pertanian Unsoed.

A. Persiapan Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Bahan untuk pembuatan turbin air terdiri dari: acrylic, pelat *stainless steel*, baja siku, pelat baja; mangkuk *stainless steel*, bantalan karet
2. Bahan untuk pembuatan bendung skala laboratorium berupa drum plastik
3. Bahan untuk instalasi berupa generator, pipa paralon, kabel, lampu; serta
4. Bahan untuk pengujian turbin air yaitu air.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Alat untuk mengukur wilayah yang potensial dikembangkan PLTMH yaitu: GPS 60i Copyright 2002-2006 GARMIN Ltd. untuk mengukur ketinggian tempat; Theodolit untuk mengukur *head*, dan Current meter untuk mengukur kecepatan aliran sungai.
2. Alat untuk perancangan turbin, yaitu: kertas kerja, alat tulis, komputer dan software AutoCAD 2009;
3. Alat untuk pembuatan turbin air, yaitu: alat-alat perbengkelan yang digunakan untuk proses pengerjaan turbin air; dan
4. Alat untuk pengujian, yaitu: multimeter, roll meter, gelas ukur, *stopwatch*, dan alat tulis.

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan melalui beberapa kegiatan yaitu pembuatan profil potensi PLTMH, pembuatan prototipe turbin air, dan uji performansi turbin air sebagai berikut.

1. Pengumpulan data iklim, pengukuran debit sungai, serta ketinggian (*head*) di sungai yang potensial untuk pengembangan PLTMH di wilayah Kabupaten Banyumas.
2. Perancangan turbin air secara fungsional dengan bantuan computer menggunakan software AutoCAD 2009. Tahap ini untuk merencanakan fungsi dari tiap bagian alat yang meliputi: (1) sudu atau mangkuk turbin yang berfungsi sebagai penangkap air; (2) as sebagai tempat dudukan sudu; (3) roda digunakan sebagai sarana berputarnya sudu.
3. Pembuatan turbin air yang cocok digunakan untuk debit dan *head* kecil maka turbin yang dipilih untuk pembangkit listrik adalah Turbin Michell-banki type *cross-flow*, yaitu aliran air mengenai bagian luar satu sisi sudu dan masuk serta mengenai sisi sudu seberangnya lagi sehingga energi lebih efektif karena air mengenai sudu dua kali.

B. Pelaksanaan

Bila debit air sebesar Q dan tinggi terjunan adalah H , maka kecepatan air di sudu terluar adalah :

$$V = C\sqrt{2gH} \text{ dimana } C : \text{konstanta}$$

Kecepatan tangensial sudu dihitung dengan

$$U = V \cos \alpha \text{ dimana } \alpha : \text{sudut masuk air}$$

Nilai efisiensi, dihitung dengan

$$\eta = \frac{2C^2U_1}{V_1} \left(1 + \phi\right) \left(\cos \alpha_1 - \frac{U_1}{V_1}\right)$$

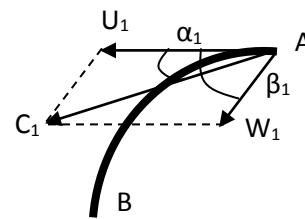
ϕ : perbandingan kecepatan tangensial masuk dan keluar sudu

Efisiensi maksimum diperoleh

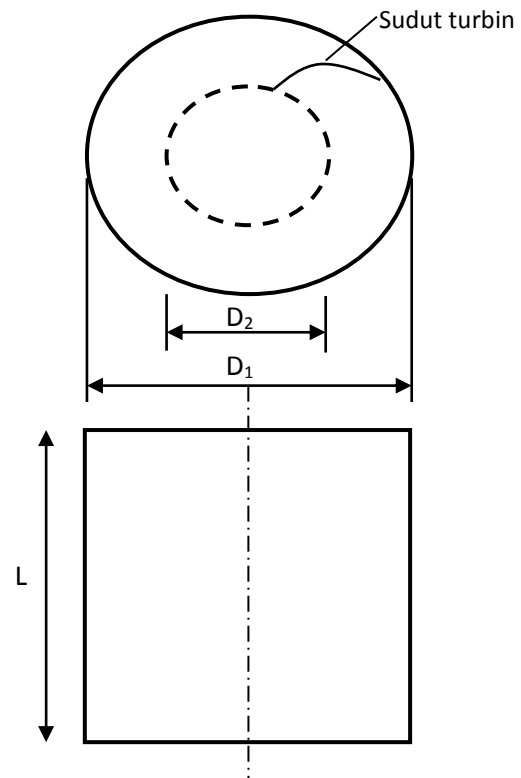
$$U_1 = \frac{V_1 \cos \alpha_1}{2}$$

Setelah dihitung secara teoritis diperoleh $C=0,98$; $\alpha_1=10^\circ$; $\psi=0,98$; $\eta_{\text{maks}}=0,878$

Maka kelengkungan sudu :



Gambar 1. Sketka Segitiga Kecepatan Sudu



Gambar 2. Kelengkungan Sudu

Kecepatan putar turbin dihitung dengan persamaan:

$$\eta = \frac{60\omega_1}{2\pi} = \frac{60U_1}{2D_1} \text{ (rpm)}$$

Jumlah sudu ditentukan dengan:

$$N = \frac{\pi D_1}{t}$$

Bila penampang power canal berupa trapesium maka luas penampang adalah:

$$A = y(b + y \cos \theta)$$

Diameter hydraulic dihitung dengan persamaan:

$$D_H = \frac{2A}{b + \frac{2y}{\sin \theta}} = 2R_h$$

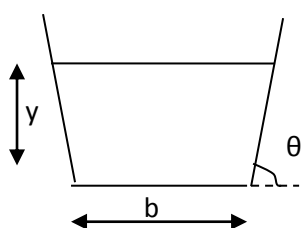
Bila saluran dengan panjang L dan sudut kemiringan φ maka:

$$S_H = \tan \varphi = \frac{hf}{L}$$

Laju aliran air persatuan waktu (debit) ditentukan dengan persamaan:

$$Q = AV = \frac{R_h^{2/3} S_b^{1/2}}{n} A$$

Perancangan bangunan sipil power canal seperti Gambar 3 berikut



Gambar 3. Desain power canal

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemilihan Lokasi Mikrohidro Di Kabupaten Banyumas

Kabupaten Banyumas mempunyai beberapa aliran sungai yang berpotensi untuk pembangkit listrik. Aliran sungai tersebut tersebar di beberapa wilayah kecamatan, data tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Air sebagai sumber penghasil energi pembangkit listrik tenaga Mikrohidro (PLTMH) termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut energi yang bersih/*clean energy* dan ramah lingkungan. Pembangkit listrik itu berskala kecil (kurang dari 200 kW), yang memanfaatkan energi aliran air. Tenaga air yang digunakan dapat berupa aliran air pada sistem sungai atau sungai yang dibendung.

Pusat Listrik Tenaga Mikrohidro pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air yang ada pada aliran di saluran irigasi, sungai, atau air terjun. Aliran air itu akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi itu ditransmisikan untuk menggerakkan generator dan menghasilkan arus listrik

Dalam perancangan PLTMH yang utama adalah studi awal dengan survei lapangan untuk memperoleh data primer mengenai debit aliran dan *head* sebagai dasar perkiraan potensi daya awal [3].

Hasil survei di Wilayah Kabupaten Banyumas diperoleh sungai/sumber air terjun yang berpotensi untuk pembangkit listrik di Kabupaten Banyumas ada dalam Tabel 2.

Tabel 1. Potensi aliran sungai untuk pembangkit listrik di Kabupaten Banyumas.

No.	Sungai	P (kW)
1	Tajum	38,760
2	Pandak Raden	10,830
3	Curug	9,849
4	Kaliomas	8,906
5	Banjaran II	8,690
6	Logawa	8,637
7	Banjaran I	6,936
8	Kertadirjan	6,906
9	Sokawera	6,789
10	Karangangka	4,535

Sumber: Dinas Airtamben Banyumas, 2004.

Tabel 2. Potensi air terjun untuk PLTMH

No	Nama Curug	Tinggi (m)	Q (lt/dt)	P (kW)
1	Curug Cipendok	90	1.500	1.324,4
2	Curug Baturraden	11	100	10,791
3	Curug Belot	8	30	2,354

Sumber: Dinas Airtamben Banyumas, 2004.

Rencana tempat yang layak untuk dikembangkan PLTMH (hasil *scale up* dari prototype PLTMH skala laboratorium yang dibuat), dari beberapa tempat yang potensial adalah di kawasan wisata Baturraden. Pemilihan lokasi ini merupakan hasil diskusi dengan Dinas ESDM berdasarkan pertimbangan daya listrik yang dihasilkan, kemudahan untuk diakses, dan manfaat yang didapat. Hasil PLTMH ini nantinya diharapkan dapat dijadikan sebagai laboratorium lapangan dan sekaligus untuk wisata teknologi.

B. Perancangan PLTMH

Perancangan PLTMH yang dilakukan sebagian besar masih menggunakan data asumsi berdasarkan data debit aliran sesaat, hasilnya untuk merancang PLTM menggunakan turbin *cross-flow* skala laboratorium. Untuk keperluan pembangunan PLTMH di lapangan nanti dapat menggunakan hasil penelitian ini dengan melakukan *scale up*. Tabel 3 menunjukkan data awal sebagai perancangan PLTMH.

Berdasarkan data pada Tabel 3 dilakukan analisis teknik untuk menentukan dimensi desain turbin yang

akan dibuat sesuai dengan kebutuhan di skala laboratorium.

$$L = \frac{Q}{c \times 4.43 \times \sqrt{H}} = 0.027 \text{ m}$$

Tabel 3. Data awal perancangan

Spesifikasi	Nilai	Satuan
Volume penampung (bendungan)	250	liter
Ketinggian air jatuh (H) <i>gross</i>	2	m
Faktor koreksi untuk kecepatan air	0,98	
Gravitasi (g)	9,8	m/s
Ketinggian air jatuh (H) <i>netto</i>	1,3	m
Panjang pipa pesat	2,36	m
Putaran turbin (n)	250	rpm
Diameter pipa pesat	1	inci

Berikut adalah beberapa perhitungan yang dibutuhkan dalam perancangan turbin :

- Luas penampang (A) pipa
 $1 \text{ inch} = \pi r^2 = 0,000507 \text{ m}^2$
- Kecepatan aliran air dihitung dengan persamaan
 $v = C\sqrt{2gH} = 5.31 \text{ m/s}$
- Kecepatan keliling aliran masuk air dihitung dengan $v = 0.48 \times v = 2.55 \text{ m/s}$
- Sedangkan untuk mengukur seberapa besar diameter luar pada turbin digunakan persamaan
 $D = \frac{u \times 60}{\pi \times n} = 0.195 \text{ m}$
- Menghitung debit air dengan persamaan
 $Q = v \times A = 0.002693 \text{ m}^3/\text{s}$

Ketebalan pancaran air dan jarak antara sudu turbin yang akan digunakan perlu diketahui untuk mendapatkan berapa banyak sudu yang digunakan,

- Ketebalan pancaran air dihitung dengan persamaan $s = 0.087 \times D = 0.017 \text{ m/s}$
- Dengan sudut turbin ($\beta = 20^\circ$) maka jarak antar sudu dapat dihitung dengan persamaan
 $t = \frac{s}{\sin \beta} = m/s$
- Setelah ketebalan pancaran air dan jarak antara sudu dapat dihitung maka jumlah sudu yang dibutuhkan oleh turbin dihitung dengan persamaan
 $n = \pi \left(\frac{D}{t} \right) = 32.97 \approx 33$
- Selain itu, kelengkungan antar sudu perlu untuk diketahui, dapat dihitung dengan persamaan
 $y = 0.326 \times r = 0.032 \text{ m/s}$
- Sehingga dapat dihitung lebar sudu turbin yang akan digunakan dengan persamaan

Hasil perhitungan beberapa komponen dalam perancangan turbin dikompilasi dalam Tabel 4 sebagai spesifikasi perancangan turbin.

Tabel 4. Spesifikasi rancangan turbin

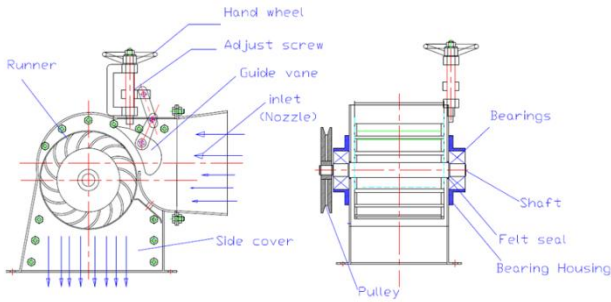
Spesifikasi	Nilai	Satuan
kecepatan aliran air (v)	5,313733	m/s
kecepatan keliling aliran (u)	2,550592	m/s
debit air (Q)	0,002693	m ³ /s
diameter luar turbin	0,194851	m
tebal pancaran air	0,016952	m
Beta	20	°
jarak antar sudu (t)	0,018569	m
banyak sudu (n)	32,96669	buah
Jari-jari (r)	0,097425	m
kelengkungan sudu (y)	0,031761	
Lebar sudu turbin (L)	0,027271	m

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan dalam tahap perancangan, dilakukan fabrikasi prototipe tersebut. Turbin yang dibuat merupakan tipe crossflow namun belum sempurna dikarenakan besar sudut dan jumlah sudu yang dibuat belum sesuai dengan hasil perancangan. Turbin hasil fabrikasi ditampilkan dalam Gambar 3.

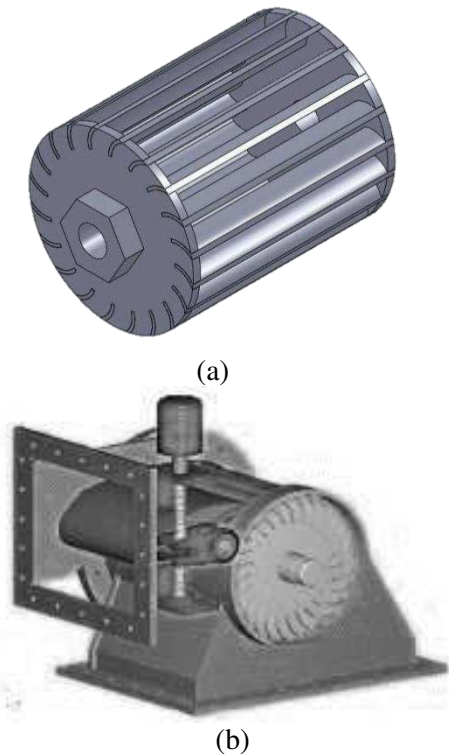
Pemakaian jenis Turbin *Cross-Flow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikro hidro lainnya. Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50% dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama. Penghematan ini dapat dicapai karena ukuran Turbin *Cross-Flow* lebih kecil dan lebih kompak dibanding kincir air [4].

Mekanisme penyaluran daya mekanis yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan set sproket (rantai dan gear) yang memiliki torsi besar sehingga mampu memutar generator sesuai dengan yang diharapkan. Mekanisme penyaluran daya menggunakan perbandingan gear 1:3 yang dilipatkan sebanyak dua kali sehingga total dalam penyaluran daya mekanis memiliki perbandingan 1:9. Lipat ganda dalam sistem transmisi tersebut dilakukan agar rpm yang dihasilkan putaran turbin akibat head mampu ditingkatkan sehingga rpm yang dihasilkan dalam generator menjadi tinggi (Gambar 4). Hasil

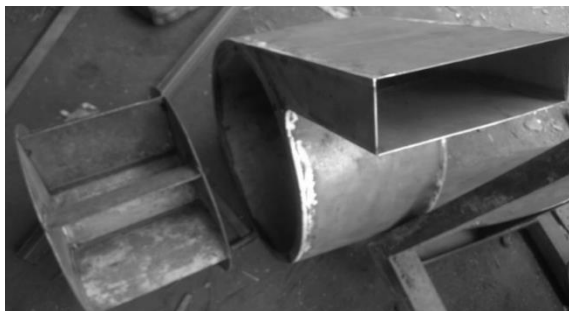
spesifikasi rancangan turbin digambarkan dalam desain piktorial sebagai berikut:



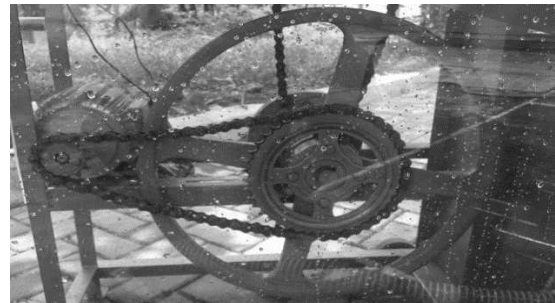
Gambar 4. Turbin tipe *cross-flow* tampak depan dan samping kanan



Gambar 5. (a) bentuk sudu tampak piktorial, (b) turbin *crossflow* 3D tampak piktorial



Gambar 6. Turbin hasil fabrikasi yang diterapkan dalam prototipe mikrohidro



Gambar 7. Mekanisme penyaluran daya mekanis

C. Pengujian kapasitas aliran

Pengujian kapasitas aliran debit dilakukan dalam laboratorium menggunakan pompa sebagai tenaga penggerak untuk menaikkan air dalam pipa pesat yang diasumsikan sebagai head dalam aplikasinya. Persamaan yang digunakan untuk menghitung debit adalah:

$$\text{debit} = \frac{\text{volume bak}}{\text{waktu untuk memenuhi bak}}$$

Pengukuran debit dilakukan dengan 4 bukaan pompa untuk mengetahui pengaruh bukaan pompa pada head yang terjadi pada prototipe. Bukaan 1 untuk pompa dalam kondisi terbuka 25%, bukaan 2 untuk pompa dalam kondisi terbuka 50%, bukaan 3 untuk pompa dalam kondisi terbuka 75%, dan pompa terbuka 100% untuk bukaan 4. Hasil pengukuran rata-rata yang dilakukan ditampilkan dalam Tabel 5.

Hasil pengukuran menunjukkan hal tersebut sangat berpengaruh terhadap air yang dialirkan dari pompa sehingga debit yang masuk dalam turbin juga terpengaruh, demikian juga pada performansi prototipe mikrohidro. Dengan asumsi *head* yang terukur adalah 1,3 m, maka dapat dihitung daya yang dapat dihasilkan dari masing-masing bukaan gas mesin pompa.

Tabel 5. Hasil pengukuran debit rata-rata pada berbagai bukaan pompa

	Bukaan 1	Bukaan 2	Bukaan 3	Bukaan 4
Debit	5,6	6,3	9,45	11,19

Persamaan yang digunakan untuk menghitung daya adalah $P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$. Hasil perhitungan daya yang dihasilkan seperti yang ditampilkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Data hasil perhitungan daya

	Buka - an 1	Buka - an 2	Buka - an 3	Buka - an 4
Daya (Watt)	71,41	80,34	120,51	142,70

D. Uji performansi

Uji performansi pada prototipe mikrohidro dilakukan dengan dua tahap, yang pertama uji performansi tanpa beban dan kedua uji performansi dengan beban.

1. Uji performansi tanpa beban

Uji performansi tanpa beban dilakukan dengan maksud untuk mengetahui stabilitas komponen dalam bekerja dan kemampuan maksimum dari generator dalam membangkitkan listrik yang diukur langsung dengan multimeter. Tabel 7 menunjukkan hasil uji performansi mikrohidro tanpa beban yang dilakukan.

Tabel 7. Hasil uji performansi tanpa beban

Kete-rangan	Tanpa Beban			
	1	2	3	4
RPM (rpm)	269	460	862	1115
Voltase (Volt)	19	33	61	78
Ampere (A)	0,5	0,5	0,5	0,5

2. Uji performansi dengan beban

Beban yang digunakan adalah lampu LED 5 Watt disusun secara seri. Penyusunan lampu secara seri dapat memperbesar daya yang didapatkan [6]. Hasil pengukuran RPM, Voltase, Ampere, dan indikator penyalakan lampu saat prototipe diberikan beban ditampilkan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Hasil uji performansi turbin dengan beban lampu

Kete-rangan	Dengan Beban			
	1	2	3	4
RPM	267	444	805	1019
Voltase (Volt)	19	33	57,8	70,2
Ampere (A)	0,5	0,5	0,5	0,5
Daya (VA)	9,6	16,5	28,9	35,1
Lampu LED 5 Watt	Tidak nyala	Re-dup	Nya-la	Nya-la

Dibandingkan dengan hasil penelitian [7] tentang turbin air tipe cross-flow dengan diameter runner 400 mm dengan head 40 m, rpm 630, debit 400 dm³/s, menghasilkan daya 156,96 kW; maka hasil penelitian disain turbin ini masih kurang optimum. Hal ini disebabkan head pada penelitian ini hanya

1,3 m dan debit maksimum hanya 11,19 dm³/s. Hasil penelitian [8] dengan debit sebesar 0,5 m³/detik, head 10 m, dan kecepatan putar 420,6 rpm; didapatkan daya 34,3 kVA; demikian juga dengan hasil penelitian [9] head 2 m, menghasilkan daya 260,7 kW.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Hasil rancangan turbin yang dibuat belum dapat bekerja secara optimum karena *head* dan debit aliran terlalu kecil.
2. Lipat ganda pada transmisi penyaluran daya cukup baik memutar turbin dengan beban.
3. Pengujian dengan kekuatan penuh motor pompa dihasilkan 1.114,7 rpm generator; voltase 77,7 V; dan arus 0,5 A pada saat tanpa beban, serta 1.018,6 rpm; voltase 70,2 V, dan arus 0,5 A pada saat diberikan beban lampu LED 5 W.

B. Saran

Sebelum dilakukan *scale up* prototype alat, PLTMH harus dilakukan lebih banyak lagi uji performansi dengan lebih banyak variabel ukur dan beban yang lebih bervariasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini kami menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dinas Pengairan Pertambangan dan Energi Kabupaten Banyumas yang menyediakan lokasi survei dan bantuan data dukung dalam penelitian,
2. Kemenristek DIKTI melalui LPPM Unsoed yang telah menyediakan dana dalam penelitian skim Hibah Bersaing.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Y. Aris Purwanto1,2), Lilik B. Prasetyo2), Ellyn K. Damayanti2), dan Rais Sonaji2), Model Desa Mandiri Energi Berbasis Mikrohidro di Sekitar Taman Nasional, Kongres Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia, 8-9 Agustus 2009, Universitas Mataram, NTB
- [2]. Abdullah, K., A.K. Irwanto, N. Siregar, S.E. Agustina, A.H. Tambunan, E. Hartulistiyoso dan Y.A. Purwanto. 1990. Energi dan Listrik Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- [3]. Damastuti, A.P. 1997. Pembangkit Tenaga Listrik Mikro Hidro. Jurnal Wacana Teknologi Edisi 8. Diakses 24 Juni 2014.

- [4]. Haimerl, L.A. 1960. The Cross-Flow Turbine. *Water Power*. Vol. 12, No. 1, pp. 5-13.
- [5]. Masrukhi, W. Trisasiwi, dan A. Mustofa. 2014. Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) untuk Mendukung Program Desa Mandiri Energi (DME) di Kabupaten Banyumas. Laporan Penelitian Hibah Bersaing.
- [6]. Sholihah, F.H. dan J. Prastilastarso. 2012. Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Tugas Akhir PENS-ITS Surabaya.
- [7]. Susatyo, A. 2003. Pengembangan Turbin Air Type Cross-Flow Diameter Runner 400 mm. Pemaparan Hasil Litbang. Kedeputian Ilmu Pengetahuan Teknik. Pusat Penelitian Informatika - LIPI. Bandung 29-30 Juli 2003.
- [8]. Yanziwar. 2007. Perencanaan Turbin Cross-Flow. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol 4, No. 1, Juni 2007.
- [9]. Tirono, M. 2012. Pemodelan Turbin Cross-Flow Untuk Diaplikasikan Pada Sumber Air Dengan Tinggi Jatuh Dan Debit Kecil. *Jurnal Neutrino* Vol.4, No. 2 April 2012.