

## DESAIN KONSTRUKSI TURBIN CROSSFLOW UNTUK PLTMH BERDASARKAN POTENSI SUMBER DAYA AIR DI WILAYAH TERPENCIL

Abdul Salam<sup>1)</sup>, Lewi<sup>2)</sup> dan Enny Rajab<sup>3)</sup>

<sup>1,2)</sup> Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

<sup>3)</sup> Dosen Jurusan Administrasi Bisnis Politeknik Negeri Ujung Pandang

### Abstract

Penelitian ini bertujuan mendesain konstruksi turbin crossflow untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) yang cocok/sesuai dengan potensi sumber daya air (debit air dan head) di daerah-daerah yang ada di Sulawesi Selatan. Sedangkan tujuan khusus penelitian ialah mengoptimalkan pengembangan desain dan manufacturing komponen-komponen turbin crossflow. Selain itu, mensinergikan potensi sumber daya perguruan tinggi untuk kemandirian institusi dalam peningkatan income generating, khususnya di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Metode yang digunakan dibagi atas beberapa tahapan, dimulai dari desain dimensi dan manufacturing konstruksi komponen utama turbin cross flow berdasarkan data-data potensi sumber daya air di beberapa lokasi/daerah di Sulawesi Selatan. Tahapan selanjutnya merancang bangun unit turbin cross flow dan desain sistem PLTMH yang sesuai untuk dipasang di lokasi yang telah ditentukan. Tahapan berikutnya melakukan uji coba fungsi setiap komponen sistem PLTMH, evaluasi keandalan fungsi komponen meliputi trouble shooting, perbaikan dan perawatan, serta analisis kinerja sistem meliputi efisiensi konversi energi sistem. Sebagai tahapan akhir memproduksi turbin cross flow berbagai macam daya dan pendukung instalasi sistem PLTMH sesuai kebutuhan pengguna. Hasil yang dicapai pada penelitian tahap awal ini adalah data-data potensi daya air berdasarkan pengukuran di beberapa daerah, program perhitungan Debit dan Head yang sesuai untuk bermacam-macam daya turbin, gambar desain dan dimensi komponen turbin cross flow untuk PLTMH yang akan diproduksi, serta pembuatan runner sebagai komponen utama turbin cross flow.

**Keywords:** PLTMH, potensi daya air, turbin crossflow, desain, manufacturing.

### I. PENDAHULUAN

Politeknik Negeri Ujung Pandang sebagai institusi pendidikan dan lembaga riset memiliki sumber daya manusia dan sarana penunjang yang cukup memadai untuk melakukan riset tentang energi baru dan terbarukan, khususnya yang berkaitan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Di Jurusan Teknik Mesin terdapat sarana bengkel dan laboratorium serta peralatan ukur dan pengujian kinerja unit PLTMH yang memadai untuk menunjang pembuatan dan perakitanannya (*manufacturing*).

Permasalahan utama dalam penelitian ini ialah bagaimana memenuhi ketersediaan perangkat sistem PLTMH yang saat ini banyak dibutuhkan oleh penggiat PLTMH di Sulawesi Selatan dengan permasalahan khusus ialah memenuhi kebutuhan desain konstruksi PLTMH yang cocok/sesuai dengan potensi sumber daya air yang dimiliki oleh daerah-daerah yang ada di Sulawesi Selatan. Permasalahan ini dapat diatasi dengan melakukan riset terpadu mengenai pembangunan sistem PLTMH dengan tujuan utama ialah bagaimana mendesain dan memproduksi unit-unit PLTMH yang sesuai dengan potensi sumber daya air di wilayah terpencil di Sulawesi Selatan. Penelitian ini urgen untuk dilaksanakan mengingat potensi sumber daya air yang ada di daerah-daerah cukup potensial dikembangkan untuk membangun PLTMH. Namun demikian, dibutuhkan suatu desain konstruksi PLTMH yang cocok/sesuai dengan potensi sumber daya air yang dimiliki oleh daerah-daerah yang ada di Sulawesi Selatan agar pengembangan untuk pembangunan instalasi PLTMH menjadi optimal. Manfaat bagi masyarakat terpencil di daerah adalah mereka dapat menikmati suplai listrik yang tidak dapat dijangkau jaringan PLN sehingga terjadi pemerataan yang berdampak langsung pada peningkatan pendapatan usaha mereka.

Penelitian ini juga berkaitan langsung dan mengikuti Rancangan Induk Penelitian (RIP) Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP) yaitu pengembangan suplai daya PLTMH untuk mendukung Agro Industri di Sulawesi Selatan dengan tujuan khusus menjadikan hasil penelitian PLTMH sebagai penelitian unggulan di Politeknik Negeri Ujung Pandang. Penelitian ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan akan adanya suatu desain konstruksi PLTMH yang cocok/sesuai dengan potensi sumber daya air yang dimiliki oleh daerah-daerah yang ada di Sulawesi Selatan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mensinergikan potensi sumber daya perguruan tinggi dalam melaksanakan kemandirian institusi perguruan tinggi guna meningkatkan *income generating* khususnya pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Manfaat penelitian memiliki nilai strategis dan unggulan secara nasional karena memberikan peluang terbukanya usaha baru industri pabrikasi komponen-komponen turbin dan perangkat pendukung sistem PLTMH, bahkan dapat menjadi rujukan untuk mengembangkan pembuatan PLTMH berskala kecil sampai

menengah (500 W-50 kW) dengan menjadikan Politeknik Negeri Ujung Pandang sebagai pusat *manufacturing process* pembuatan komponen-komponennya.

## II. KAJIAN PUSTAKA

### A. Tinjauan Umum PLTMH

Studi tentang desain dan pembangunan sistem PLTMH telah banyak dilakukan khususnya di Pulau Jawa, Sumatera, Kalimantan, dan Irian Jaya. Sedangkan pembangunan PLTMH di daerah Sulawesi Selatan masih sangat terbatas, sementara potensi sumber daya air yang terdapat di beberapa Kabupaten di Sulawesi Selatan sangat potensial untuk pembangunan PLTMH.

Menurut Puguh A. S. (2008), yang meneliti pemanfaatan PLTMH untuk daerah terpencil, diperoleh hasil bahwa masih banyak sumber daya alam di negara kita belum dimanfaatkan secara optimal untuk pelayanan kebutuhan listrik daerah terpencil yang belum dijangkau aliran listrik. Dengan penerapan PLTMH maka daerah tersebut akan mendapatkan aliran listrik dengan perawatan yang relatif mudah dan murah. Klarifikasi air terjun dan kapasitas pembangkit hidro yang dihasilkan adalah sebagai berikut. (Febriansyah, 2010).

**Tabel 1. Tinggi Terjun dan Kapasitas Daya**

Daya (kW)	Tinggi Terjun (m)		
	Rendah	Sedang	Tinggi
5-50	1,5-15	15-50	50-150
50-500	2-20	20-100	100-250
500-5000	3-30	30-120	120-140

**Tabel 2. Definisi Daya Air berdasar Daya Output**

Nama/Istilah	Power Output	Permen ESDM Tahun 2002
<i>Pico Hydro</i>	<500 W	-
<i>Micro Hydro</i>	500 W ÷ 100 kW	< 1 MW
<i>Mini Hydro</i>	100 kW ÷ 1 MW	1 MW-10 MW
<i>Small Hydro</i>	1 MW ÷ 10 MW	-
<i>Full (large) Hydro</i>	>10 MW	-

### B. Analisa Daya PLTMH

Berdasarkan pembangkit daya listrik berskala kecil dengan memanfaatkan potensi daya air dengan tinggi terjun (H) dan debit (Q) tertentu, maka Mikro Hidro sebagai pembangkit listrik (PLTMH) dapat didesain mulai daya 500 W-100 kW dengan tinggi terjun yang paling rendah 1,5 – 15 meter.

➤ Daya hidraulik tenaga air; daya input (Issam, 2009):

$$P_{air} = \rho g Q H \tag{1}$$

Dimana:

$P_{air}$  = daya hidraulik [Watt]

$\rho$  = kerapatan masa air = 1000 kg/m<sup>3</sup>

$g$  = percepatan gravitasi = 9.81 m/det<sup>2</sup>

$Q$  = debit [m<sup>3</sup>/det]

$H$  = tinggi jatuh efektif [m], beda tinggi MA udik dan MA hilir (Hstatic) – Kehilangan Energi ( $\Delta H$ )

➤ Daya turbin yang dihasilkan; daya *output* (abdul, 2011):

$$P_T = \eta T P_{air} \tag{2}$$

Dimana:

$P_T$  = daya turbin [Watt]

$\eta$  = Efisiensi Turbin

### C. Perkembangan Penelitian PLTMH

Studi tentang desain dan pembangunan sistem PLTMH telah banyak dilakukan oleh peneliti dan penggiat PLTMH, khususnya di Pulau Jawa, Sumatera, Kalimantan, dan Irian Jaya. Sedangkan pembangunan PLTMH di daerah Sulawesi Selatan masih sangat terbatas, sementara potensi sumber daya air yang terdapat di

beberapa kabupaten sangat potensial untuk pembangunan PLTMH. Studi potensi dan pemanfaatan air anak sungai Bungin untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) kabupaten Enrekang Sulawesi Selatan (Chaidir Buli, 2007). Hasil yang diperoleh bahwa Sub Das Bungin kabupaten Enrekang Sulawesi Selatan merupakan suatu potensi sumber daya air untuk memenuhi kebutuhan listrik desa. Curah hujan setiap tahun jumlahnya cukup besar berkisar antara 1057 mm hingga 2348 mm. Ketersediaan air rata-rata per tahunnya di Sub Das Bungin sebesar 4,70 m<sup>3</sup>/det, sedangkan kebutuhan air untuk pembangkit hanya 325 l/s dengan kapasitas daya listrik 73 kW. Hal tersebut menunjukkan bahwa masih terjadi kelebihan air di Sub Das Bungin (surplus). Lokasi rumah pembangkit PLTMH ke pusat beban terdekat di desa Tanete adalah 1000 m. Jaringan dan distribusi sepanjang 5,5 km. Penelitian tentang potensi energi baru dan terbarukan Kabupaten Enrekang Sulawesi Selatan (Administrator, 2008). Hasil yang diperoleh, di Kabupaten Enrekang Sulawesi Selatan terdapat potensi sungai yang dapat dibangun PLTA, PLTM dan PLTMH. Kapasitas sampai 300 MW (potensi PLTA Batu), PLTM Belajen (potensi 2 x 3,5 MW) hingga PLTMH 100 kW (potensi PLTMH Baraka, Enrekang) dan 20 kW (potensi PLTMH Latimojong).

Tim Lembaga Penelitian Universitas Hasanuddin bekerjasama Balitbangda Provinsi Sulawesi Selatan juga telah melakukan penelitian tentang Kajian Pemanfaatan dan Pengembangan Potensi Sumberdaya Energi Terbarukan untuk Memenuhi Kebutuhan Listrik Pedesaan di Sulawesi Selatan. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat potensi tenaga air skala besar (PLTA) sebesar 3.094,1 MW, skala mini hidro (PLTM) sebesar 102.097,1 kW dan skala mikrohidro (PLTMH) sebesar 54.288,5 kW. Seluruh potensi tenaga air yang tersedia di Provinsi Sulawesi Selatan baru sekitar 405 MW atau sama dengan 13,07% yang dimanfaatkan (Manjang, S. 2004).

#### **D. Road Map Penelitian**

Kegiatan riset mengenai pembangunan PLTMH pada dasarnya telah dilakukan oleh Perguruan Tinggi Politeknik Negeri Ujung Pandang melalui riset yang didanai oleh DP2M Dirjen Dikti melalui Hibah Strategis Nasional (Anshar, M. 2009). Namun masih terbatas dalam 5 daerah Kabupaten. Dalam uji coba pelaksanaan di lapangan masih ditemukan beberapa kendala-kendala, baik secara teknis (desain dan keandalan kinerja) maupun secara operasional (sosial kemasyarakatan) dimana PLTMH itu berada.

Penelitian mengenai rancang bangun PLTMH telah dilakukan dengan membangun PLTMH tipe *cross flow* oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang (Anshar, M. 2010) dengan daya output 5 kW di Desa Pallawa, Kabupaten Bone. Hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar/acuan untuk mendesain (rancang bangun) sistem PLTMH di daerah lainnya dan membuka peluang kerjasama dengan Pemerintah Provinsi atau Pemerintah Kabupaten di Sulawesi Selatan. Penelitian yang serupa, juga telah dilakukan sebelumnya (Sonda, L. 2007) bekerjasama dengan Pemerintah Daerah Tk.II Tana Toraja berupa Perancangan dan Pembuatan Turbin *cross flow* dengan kapasitas 10 kW untuk pembangunan PLTMH di Desa Pongbembe Kabupaten Toraja.

#### **E. Penelitian yang Dilaksanakan**

Penelitian dibagi atas beberapa tahapan, dimulai dari verifikasi data potensi sumber daya air penelitian sebelumnya, studi kelayakan (*feasibility study*) untuk pembangunan PLTMH di 8 daerah/wilayah potensial yang terpencil di Provinsi Sulawesi Selatan, meliputi pengukuran dan pemetaan potensi sumber daya air (debit dan head), desain dimensi dan *manufacturing* konstruksi komponen utama turbin *cross flow* berdasarkan data-data potensi sumber daya air. Selanjutnya merancang bangun unit turbin *cross flow* dan desain sistem PLTMH yang sesuai untuk dipasang di daerah yang telah ditentukan. Tahapan berikutnya melakukan uji coba fungsi setiap komponen sistem PLTMH, evaluasi keandalan fungsi komponen meliputi *trouble shooting*, perbaikan dan perawatan, serta menganalisis kinerja sistem meliputi efisiensi konversi energi sistem PLTMH. Tahapan akhir penelitian pada tahun ke-4, memproduksi turbin *cross flow* berbagai macam daya dan pendukung instalasi sistem PLTMH untuk dipasang/install di wilayah terpencil yang membutuhkan.

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **A. Waktu, Tempat, dan Peralatan Penelitian**

Penelitian tahap pertama dilaksanakan dalam jangka waktu satu tahun. Lokasi penelitian untuk data potensi daya air dilakukan di beberapa lokasi/daerah wilayah terpencil yang paling potensial sumber daya airnya tetapi masyarakatnya belum menikmati listrik. Peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian pada tahun pertama berupa verifikasi, pengukuran, dan analisis data potensi daya air, dilanjutkan dengan perhitungan dan

analisis data untuk mendesain dimensi konstruksi komponen-komponen PLTMH, dilanjutkan pembuatan komponen *runner* sebagai komponen utama turbin cross flow sebagai berikut.

- Pengukuran Head dan Debit air
  - a. *Theodolite Topcon* Tipe TL-20 DP;
  - b. *Current meter counter* atau *current meter elektromagnetik*;
  - c. *Roll meter* (alat bantu);
  - d. *Stop watch* (alat bantu);
  - e. *Global Positioning System* (GPS) atau perangkat lunak *Google Earth*;
  - f. Kamera digital.
- Perancangan dan pembuatan Runner Turbin Cross Flow
  - a. Mesin CNC milling DAHLI MCV 720
  - b. Mesin bubut manual
  - c. Mesin las listrik dan Perlengkapan Las
  - d. Mesin gerinda tangan
  - e. Cutter Endmill Ø 4 mm
  - f. Cutter Endmill Ø 10 mm
  - g. Pahat gurdi twist drill
  - h. Pelat St 40 ukuran 350x350x4 = 2 Lbr
  - i. Pelat St 40 ukuran 1200x600x3 = 1 Lbr
  - j. Poros St 60 ukuran Ø25,4x500

## B. Data Potensi Daya Air

Parameter utama dalam penelitian ini ialah

**Tabel 1. Hasil Pengukuran dan Perhitungan Q dan H di beberapa daerah/lokasi**

Kabupaten	Desa/Kecamatan	Luas penampang sungai (A)(m <sup>2</sup> )	Kecepatan aliran air (V)(m/s)	Debit aliran air (Q) (m <sup>3</sup> /s)
Gowa	Desa Borisallo Kec.Parangloe	2,200	1,392	3,058
Sidrap	Desa Belawae Kec.Pituriase	3,720	0,149	0,554
Maros	Desa Uludaya Kec. Mallawa	0,738	0,935	0,690
Mamuju	Desa Salutiwo Kec. Bonehau	2,551	0,340	0,870
Luwu	Desa Balambano Kec. Wawondula	0,225	0,120	0,250
Sinjai	Desa Balang Kec.Sinjai Selatan	1,258	0,220	0,277
Toraja	Desa Labbo' Kec.Sanggalangi	0,557	0,350	0,195
Toraja	Desa Salu Beang Kec.Makale Selatan	0,920	0,208	0,191

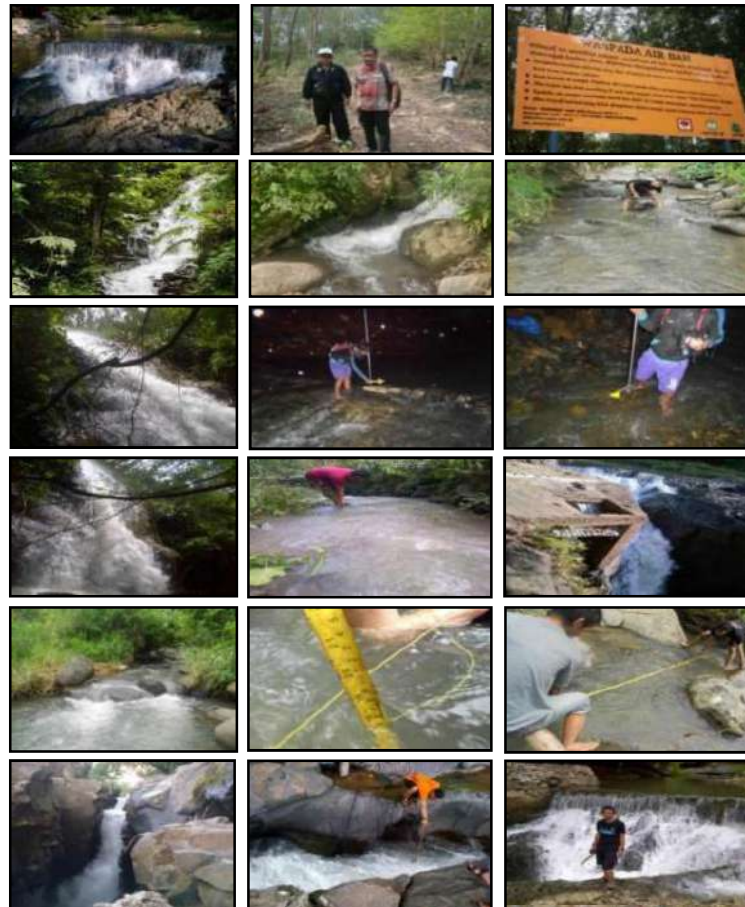
## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

laju aliran atau debit air (Q) dalam satuan m<sup>3</sup>/s dan tinggi jatuh atau head (H) dalam satuan m. Data potensi sumber daya air dilakukan dengan beberapa langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Verifikasi data potensi sumber daya air.
- b. Pengukuran debit air dengan menggunakan alat *Current meter counter*.
- c. Pengukuran kecepatan aliran air juga menggunakan *Current meter counter*.
- d. Pengukuran lebar penampang sungai dengan menggunakan roll meter. Pengukuran dilakukan di beberapa lokasi yang berbeda;
- e. Pengukuran head antara hulu sungai dengan rencana titik lokasi instalasi pembangkit (PLTMH) menggunakan *Theodolite Topcon* type TL-20 DP. Jarak antara titik dapat juga dengan menggunakan roll meter yang umum digunakan;
- f. Lokasi yang terkendala kondisi geografi yang sulit maka pengukuran jarak dapat dilakukan dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS);
- g. Penentuan daya sumber air yang tersedia dari aliran sungai dengan menggunakan persamaan (1).

Hasil yang dicapai dalam pelaksanaan penelitian awal tahun ke-1 adalah pendataan dan pengukuran debit dan head beberapa lokasi di daerah yang potensial daya airnya (tabel 1 dan gambar 1), program aplikasi perhitungan daya air untuk menentukan dimensi komponen turbin cross flow, pada beberapa variasi debit dan head yang berbeda (gambar 2), dan pembuatan komponen runner (*manufacturing*) turbin cross flow sesuai hasil perhitungan (gambar 3). Dimensi komponen runner sesuai hasil perhitungan ditunjukkan pada tabel 2.

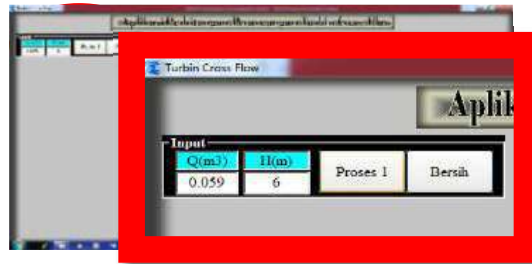
Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan A, V, dan Q maka daya air (P) maksimum dapat diperoleh dengan persamaan  $P_s = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$ . Nilai daya aktual harus dikalikan dengan efisiensi turbin ( $\eta_T$ ). Sedangkan head diperoleh melalui pengukuran dan perhitungan, secara umum nilainya bervariasi 2 – 15 meter. Berdasarkan data hasil perhitungan, daya maksimum air yang dapat dibangkitkan Turbin Cross Flow untuk PLTMH di wilayah terpencil sebaiknya 3 kW, 5 kW, 10 kW, 15 kW, 20 kW, 30 kW, 40 kW, 50 kW, dan 100 kW. Data pengukuran di Kab. Gowa meskipun daya maksimum 470 kW namun kondisi geografisnya sangat sulit untuk pemasangan PLTMH (batu-batuan terjal). Penentuan daya turbin dengan Q dan H yang berbeda, sekaligus penentuan dimensi komponen-komponen turbin Crossflow dapat dilakukan dengan membuat program aplikasi komputer. Tampilan muka dari program perhitungan daya dan dimensi turbin cross flow diperlihatkan pada gambar berikut.



**Gambar 1. Pengukuran potensi sumber daya air di beberapa daerah**

Berdasarkan perhitungan dan perolehan data-data dimensi komponen turbin, selanjutnya dibuat komponen runner. Dimensi secara desain (perhitungan) umumnya diberikan toleransi pengerjaan pada proses permesinan karena adanya keterbatasan ketelitian permesinan, alat ukur, dan kemampuan operator.





**Gambar 2. Tampilan muka Program Aplikasi Perhitungan Dimensi Turbin dan Solidworks**

Hasil pengukuran dimensi komponen runner turbin cross flow sesuai hasil perhitungan diperlihatkan pada tabel 2 berikut.

**Tabel 2. Dimensi Komponen Runner Turbin Cross Flow sesuai Hasil Perhitungan**

Komponen	Ukuran Dimensi	Demensi Desain (Toleransi)	Dimensi Aktual (Hasil Pengukuran)
Pengukuran Putar turbin	(Tol Run out)	Tol $\pm 0,8$	1,2 mm
Pengukuran Sudu Runner	Panjang	170 mm (Tol $\pm 0,5$ )	169,7 mm
	Diameter	200 mm (Tol $\pm 0,5$ )	200 mm
Pengukuran Runner	Diameter runner	200 mm (Tol $\pm 0,5$ )	200 mm
	Diameter lubang poros	40 mm Tol $-0,0+0,2$	40,1 mm
	Radius runner	R 32 mm	Alat ukur sudut
Pengukuran Poros Runner	Celah radius runner	6 mm Tol $-0,0+0,2$	6 mm
	Diameter poros	40 mm Tol $- 0,2 + 0,0$	40 mm
Sudu Turbin	Radius sudu	R 32 mm	Alat ukur sudut
	Panjang lengkungan sudu	36 mm	36 mm

**Tabel 3. Data Pengujian Kinerja Turbin Crossflow (10 kW)**

No	Pembukaan Katup Nosel	Volume air bak penampung	Luas Penampang Pipa Penstock (A)	Ketinggian/ Head (meter)	Putaran (rpm)	Tegangan Generator (V)
1	25%	2000 dm <sup>3</sup>	0,012 m <sup>2</sup>	6	360	210
2	50%	2000 dm <sup>3</sup>	0,012 m <sup>2</sup>	6	370	220
3	75%	2000 dm <sup>3</sup>	0,012 m <sup>2</sup>	6	370	225
4	100%	2000 dm <sup>3</sup>	0,012 m <sup>2</sup>	6	380	240



Pengujian kinerja turbin crossflow pada Lab. Teknik Mesin dilakukan dengan menghubungkan ke generator kapasitas 10 kW, dengan 4 (empat) macam posisi pembukaan katup nosel, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Volume air pada bak penampung (Q) 2000 dm<sup>3</sup>, Ketinggian air jatuh (Head) 6 meter, dan luas penampang pipa penstock 0,012 m<sup>2</sup>. Diperoleh hasil dimana perubahan posisi pembukaan katup berpengaruh secara linier pada putaran generator. Melalui perhitungan, diperoleh debit aliran air,  $Q = 0,16 \text{ m}^3/\text{s}$ , sehingga daya turbin teoretis (daya rencana),  $P = \rho \times Q \times H = 9,81 \times 0,16 \times 6 = 9418 \text{ Watt} \approx 9,42 \text{ kW}$ .

## V. KESIMPULAN

1. Data pengukuran potensi sumber daya air di beberapa lokasi/daerah wilayah terpencil yang potensial sumber daya airnya dengan alat ukur *current meter* dan alat bantu rol meter dapat dijadikan referensi untuk pembangunan PLTMH.
2. Kapasitas daya maksimum air yang dapat dibangkitkan, P (kW) untuk rancang bangun Turbin Crossflow sudah dapat dibuat dan penentuan dimensi komponen-komponen Turbin Crossflow lainnya untuk Debit dan Head yang bervariasi dapat diketahui melalui program aplikasi komputer yang telah dibuat. Rancangan awal daya turbin sebaiknya: 3 kW, 5 kW, 10 kW, dan 20 kW (daerah Toraja, Sinjai, dan Luwu); 30 kW, 50 kW, dan 100 kW (daerah Sidrap, Maros, Mamuju, dan Gowa).
3. Pembuatan komponen runner berdasarkan perhitungan perancangan untuk desain konstruksi turbin crossflow di desa Balang Kab. Sinjai, diperoleh Diameter luar runner 200 mm Toleransi  $\pm 0,5$ , Diameter dalam runner 128 mm Toleransi  $\pm 0,5$ , Jumlah sudu-sudu 28 buah, Sudut sudu 32<sup>0</sup>, Panjang lengkungan sudu 36 mm, Diameter poros 40 mm Toleransi -0,2 +0.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Tim pelaksana mengucapkan terima kasih kepada DRPM Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah memberikan kesempatan dan bantuan dana. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Direktur dan Ketua UPPM Politeknik Negeri Ujung Pandang, Ketua Jurusan Teknik Mesin serta Kepala Bengkel Mekanik dan Bengkel Produksi/CNC yang telah mengizinkan penggunaan fasilitas yang sangat mendukung kegiatan penelitian ini.

## REFERENSI

- Puguh A. S., Puslitbang Iptekhan Balitbang Dephan. Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) untuk Daerah Terpencil. 2008. <http://elkace.wordpress.com/2008/01/14/I/> (diakses 25 November 2010)
- Febriansyah. Kapasitas Pembangkit dan Rancangan Anggaran Biaya Pembangunan PLTM Di Singai Damar PT. Adhisatya. Semarang: UNDIP. 2013.
- Issam Salhi dan Said Doubabi. Fuzzy controller for frequency regulation and water energy save on microhydro electrical power plants. International Renewable Energy Congress. Sousse Tunisia. 2009.
- Abdul A.H. dan Lily M. Design of Micro Hydro Electrical Power at Brang Rea River In West Sumbawa of Indonesia. Journal of Applied Technology in Environmental Sanitation, Volume 1, Number 2, Page: 177-183. ISSN 2088-3218 (2011).
- Chaidar, Buli. Studi Potensi dan Pemanfaatan Air Anak Sungai Bungin Untuk Pembangkit Listrik Mikrohidro (PLTMH) Kab. Enrekang Prop. Sulawesi Selatan. 2007. <http://digilib.itb.ac.id/> (diakses 25 November 2010).
- Administrator. Potensi Energi Terbaharukan Kabupaten Enrekang Sulawesi Selatan, 2008. <http://www.enrekangkab.go.id/> (diakses 25 November 2010)
- Manjang, . dkk. Kajian Pemanfaatan Pengembangan Potensi Sumberdaya Energi Terbarukan Untuk Memenuhi Kebutuhan Listrik Pedesaan di Sulawesi Selatan. 2004. <http://www.litbangda-sulsel.go.id/> (diakses 25 Novemeber 2010).
- Anshar, M. Kajian Pemanfaatan Potensi Aliran Irigasi Sebagai PLTMH Dalam Memenuhi Kebutuhan Listrik Petani di Sulawesi Selatan. Laporan Penelitian Strategis Nasional. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang. 2009.
- Anshar, M. Pemanfaatan Potensi Aliran Irigasi Unyi sebagai PLTMH untuk memenuhi kebutuhan listrik di desa Pallawa, Kabupaten Bone Sulawesi Selatan. Laporan Penelitian Strategis Nasional. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang. 2010.
- Sonda, L Perancangan dan Pembuatan Turbin Cross Flow dengan Kapasitas 30 kW untuk Instalasi PLTMH di Desa Pongbembe Kabupaten Tana Toraja. 2010