



## Perancangan Roda Air Arus Bawah Sudu Bengkok Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro di Desa Tamangil

### *Design of Undershot Waterwheel Curved Blades as Picohydro Power Plant Generation in Tamangil Village*

Kristianus Jamlay<sup>1,\*</sup>, Luther Sule<sup>2</sup>, Duma Hasan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Politeknik Amamapare Timika

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Universitas Hasanuddin

Received 13 March 2016; Revised 21 March 2016; Accepted 23 March 2016, Published 23 April 2016

<http://dx.doi.org/10.21063/JTM.2016.V6.32-37>

Academic Editor: Asmara Yanto (asmarayanto@yahoo.com)

\*Correspondence should be addressed to [christianjamlay@gmail.com](mailto:christianjamlay@gmail.com)

Copyright © 2016 C. Jamlay. This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

#### Abstract

Utilization of hydropower plants picohydro recognized scale capable of meeting electricity demand, especially in areas not reached by the electricity such as rural areas. This study aims to analyze high waterfall (head), discharge and water resources available as well as the design of a water wheel undershot the current model corresponding curved blade. This research was conducted in the village of Tamangil Nuhuten the main object studied is the flow of the waterfall in the village. Primary and secondary data obtained through this study and Field and Library Research with stages such as the construction of drains, water discharge measurements, high measurement waterfall further analyzed quantitatively while the Library Research stages, namely the study of literature (book review). The results showed that the critical velocity water flow ( $v = 2.45$  m/s), effectively head of waterfall ( $h = 2$  m), the discharge of water used ( $Q = 0.0392$  m<sup>3</sup>/s), and water power are utilized ( $P_{air} = 769.65$  Watts). From the design obtained that rotation shaft ( $n_p = 78.08$  rpm), tangential velocity ( $U = 2.45$  m/s), the angular velocity of water wheel ( $\omega = 8.1724$  rad/s), the force on the water wheel ( $F = 96.18$  N), torque at the wheels of water ( $T = 28.85$  Nm), electric power that can be generated by a water wheel ( $P_{water\ wheel} = 235.80$  Watt), as well as maximum power efficiency obtained theoretical water wheel ( $\eta_{teo} = 30.59\%$ ) and the efficiency of water wheel axle ( $\eta_{pra} = 85.721\%$ ). Based on calculations assuming that there will be changes in water flow rate, it is known several important parameters including torque, mass flow rate, rotation, and power and maximum efficiency of water wheels is increasing. It was concluded that the flow of the waterfall village Tamangil Nuhuten potential to be used as a hydroelectric plant scale picohydro with water wheel undershot the current type and model of blade bent. Among torque, mass flow rate, rotation axis, and the water wheel power is proportional to the maximum efficiency. Hopefully, by the hydroelectric power plants pikohydro scale, it can meet the electricity needs of residents in the Tamangil Nuhuten village.

**Keywords:** discharge, head, power, efficiency

### 1. Pendahuluan

Pemanfaatan pembangkit listrik tenaga air (PLTA) merupakan suatu langkah kongkrit yang hingga detik ini terus dikembangkan oleh institusi pendidikan dan lembaga-lembaga riset bahkan lembaga swadaya masyarakat yang didukung oleh pemerintah pusat serta pemerintah daerah dikarenakan keterbatasan distribusi listrik yang bersumber langsung dari

PLN yang masih bersandar pada pemanfaatan energi tidak terbarukan (bahan bakar fosil).

Listrik saat ini sudah menjadi kebutuhan vital bagi manusia dalam menunjang pekerjaannya yang memerlukan energy listrik seperti memasak, mencuci, setrika, penerangan malam hari serta aktivasi alat-alat elektronik berupa TV, tape, vcd, dan lain-lain, namun sayangnya masih banyak di antara kita yang

belum dapat menikmati listrik sebagaimana layaknya, dan hal itulah yang penulis saksikan langsung di Desa Tamangil Nuhuten Kabupaten Maluku Tenggara Propinsi Maluku. Di desa ini terdapat 92 KK dimana 70 KK sudah memanfaatkan listrik PLN dengan daya maksimum 450 Watt sedangkan 22 KK tiap malamnya terpaksa tidur berselimutkan cahaya lilin bahkan untuk pekerjaan memasak, mencuci, dan lain sebagainya terpaksa dilakukan secara manual dari waktu ke waktu.

Satu hal yang menarik di sini bahwa di desa Tamangil Nuhuten memiliki sumber mata air pegunungan berupa terjunan yang dinilai berpotensi untuk dimanfaatkan secara produktif guna menghasilkan energy listrik. Selama ini warga di desa tersebut memanfaatkan aliran air ini hanya untuk memenuhi kebutuhan yang bersifat konsumtif saja seperti masak, cuci, mandi, dan lain-lain.

Pengujian sudu lengkung prototype roda air arus bawah dengan jumlah sudu 12 model lengkung memperoleh efisiensi daya poros sebesar 23 % [1]. Pengujian sudu rata prototype roda air arus bawah dengan jumlah sudu 12 memperoleh efisiensi daya poros sebesar 21 % [2]. Perancangan prototipe picohydro portable menghasilkan daya 211 Watt dengan efisiensi 90 % [3].

Berangkat dari permasalahan terkait ketersediaan listrik yang dihadapi warga Tamangil Nuhuten dan dengan mempertimbangkan potensi yang ada di desa tersebut serta tinjauan atas hasil penelitian sebelumnya, maka perlu dilakukan suatu kajian untuk mengetahui debit air, tinggi jatuh air, dan daya yang bisa dibangkitkan. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu merancang roda air arus bawah dengan model sudu bengkok yang sesuai melalui perhitungan-perhitungan yang sistematis secara manual dan komputasi.

## 2. Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan di Desa Tamangil Nuhuten Kecamatan Kei Besar Selatan Kabupaten Maluku Tenggara Propinsi Maluku. Jenis penelitian yang digunakan adalah *observasional* dengan menggunakan desain *cross sectional study*.

Mengingat penelitian ini merupakan penelitian berbasis perancangan serta mengarah pada jawaban atas persoalan akan layanan listrik secara langsung bagi warga di desa Tamangil Nuhuten, maka populasi dan sampel dalam penelitian ini hanya 1 yaitu aliran air terjun di desa Tamangil Nuhuten. Selain itu, di Kecamatan Kei Besar Selatan cuma terdapat

satu sumber mata air pegunungan berupa terjunan yang alirannya melalui desa Tamangil Nuhuten.

Pengumpulan data dilakukan oleh penulis secara langsung dan dibantu oleh 4 orang warga setempat selama 4 hari berturut-turut pada bulan Agustus. Adapun data yang dikumpulkan meliputi data geografis (Peta lokasi, kondisi lahan, kontur tanah) diperoleh melalui wawancara langsung antara penulis dengan pemerintah setempat serta dilakukan pula peninjauan di lapangan, pekerjaan sipil antara lain pembuatan saluran air, sistem pengalihan aliran air, penempatan saluran air pada posisinya (Gambar 1). Proses ini dilakukan oleh penulis bersama warga dengan alat dan bahan antara lain gergaji, palu, meteran pita, water-pass, karung, pasir, papan, kayu batangan, daun seng, paku serta linggis, data tinggi jatuh air yang diperoleh melalui pengukuran secara tegak lurus dari titik teratas saluran hingga titik terbawah saluran (Gambar 1). Proses ini dilakukan oleh penulis bersama warga dengan alat dan bahan yang meliputi kayu batangan, tali, paku, meteran pita, pulpen dan tabel data, data debit air, diukur berdasarkan kecepatan air dan luas penampang aliran (Gambar 1). Proses ini dilakukan oleh penulis bersama warga dengan alat dan bahan yang meliputi sebuah pelampung, meteran pita, stopwatch, pulpen dan tabel data.



Gambar 1. Pembuatan Saluran, Pengukuran Debit (Q) & Tinggi Air Jatuh (h)

Sumber : File Dokumentasi Lapangan (2015)

Pada awalnya data yang diperoleh di lapangan selama 4 hari berturut-turut dituliskan secara manual ke dalam tabel yang disediakan pada saat itu. Selanjutnya data-data tersebut diinput dalam tabel pada komputer (laptop) dengan bantuan program spreadsheet yang merupakan bagian dari software Microsoft Office yaitu Excel 2010. Data-data yang diinput meliputi :

- Tinggi air jatuh (H), yang dihitung dengan Persamaan (1) [4]:

$$H = h_{dinamis} + h_{statis} \quad (1)$$

- Kedalaman air di saluran (d), yang dihitung dengan persamaan:

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5}{5} \quad (2)$$

- Lebar saluran terbasahi (w), yang dihitung dengan persamaan:

$$w = \frac{w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5}{5} \quad (3)$$

- Luas penampang aliran (A), yang dihitung dengan persamaan:

$$A = w \cdot d \quad (4)$$

- Kecepatan aliran air (v), yang dihitung dengan Persamaan (5) [5]:

$$v = \frac{l}{t} \quad (5)$$

- Debit air, yang dihitung dengan persamaan kontinuitas [6]:

$$Q = A \cdot v \quad (6)$$

- Daya air ( $P_{air}$ ), yang dihitung dengan Persamaan (7) [7]:

$$P_{air} = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \quad (7)$$

- Daya roda air ( $P_{ra}$ ), yang dihitung dengan Persamaan (8) [8]:

$$P_{ra} = T \cdot \omega \quad (8)$$

- Efisiensi daya roda air teoritis ( $\eta_{teo}$ ), yang dihitung dengan Persamaan (9) [9]:

$$\eta_{teo} = \frac{P_{ra}}{P_{air}} \times 100 \% \quad (9)$$

- Diameter poros roda air ( $d_s$ ), yang dihitung dengan Persamaan (10) [10]:

$$d_s = \left[ \frac{5,1}{\tau_a} \times K_t \times C_b \times T \right]^{1/3} \quad (10)$$

Selain menganalisis data-data tersebut di atas, terdapat pula data-data lain yang dianalisis dengan program yang sama yaitu sudu roda air, kecepatan air pada sisi masuk dan sisi keluar sudu, system transmisi, serta system konversi energy yang dapat dianalisis berdasarkan prinsip dasar konversi energy [11].

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### A. Kondisi Aktual dan Ideal

Tabel 1 menunjukkan kondisi actual dan ideal data penelitian. Untuk kondisi actual., yaitu kondisi nyata hasil pengukuran di lokasi penelitian selama 4 hari berturut-turut dimana telah dihitung rata-ratanya dan belum mempertimbangkan dimensi roda air. adapun data dimaksud meliputi kedalaman air di saluran (d), lebar saluran terbasahi (w), dan kecepatan aliran air (v). Sedangkan untuk kondisi ideal., yaitu kondisi desain yang merupakan kondisi awal perancangan dimana telah mempertimbangkan dimensi roda air yang akan dirancang dan selanjutnya diperoleh data kedalaman air di saluran (d), lebar saluran terbasahi (w), dan kecepatan aliran air (v).

#### B. Kondisi Aktual dan Ideal

Tabel 2 menunjukkan hasil perancangan dimensi utama roda air arus bawah untuk digunakan sebagai pembangkit listrik di desa Tamangil Nuhuten. Untuk bahan sudu sendiri terbuat dari plat aluminium dengan tebal 2 mm dan model sudu yang dirancang adalah model sudu bengkok.

Tabel 1. Hasil Pengukuran serta Perhitungan Untuk Kondisi Aktual dan Ideal

Variabel	Ukuran		
		Aktual	Ideal
Kedalaman air disaluran	(d) =	0,0766	0,064 m
Lebar saluran terbasahi	(w) =	0,4191	0,25 m
Kecepatan air	(v) =	2,45	2,45 m/s
Luas penampang aliran	(A) =	0,0321	0,016 m <sup>2</sup>
Debit air yang tersedia	(Q) =	0,0786	0,0392 m <sup>3</sup> /s
Tinggi air jatuh	(h) =	2	2 m
Daya air	(Pa) =	1543	769,10 W

Sumber : Data Lapangan dan File Perhitungan dengan Excel (2015)

Tabel 2. Hasil Perancangan Dimensi Utama Roda Air Arus Bawah

Jenis Variabel	Ukuran
Tinggi sudu	(h) 15 cm
Lebar sudu	(w) 25 cm
Jarak antar sudu	(t) 16 cm
Jumlah sudu	(N) 12
Diameter roda air	(D) 60 cm
Jari-jari roda air	(r) 30 cm
Sudut yang terbentuk oleh sudu itu sendiri	120°
Sudut yang terbentuk antara sudu dengan sumbu vertical poros	30°

Sumber : Data Lapangan dan File Perhitungan dengan Excel (2015)

### C. Komponen Pendukung Roda Air Arus Bawah

Tabel 3 menunjukkan hasil perancangan komponen pendukung roda air arus bawah. Dalam perancangan ini menghasilkan 2 system transmisi, 2 poros, 4 buah bantalan gelinding, 2 buah sabuk-V dengan selisih panjang keliling sabuk ( $\Delta L = 16,4$  mm), selisih kecepatan linier sabuk ( $\Delta v_s = 3,57$  m/s), selisih sudut kontak sabuk ( $\Delta \theta = 0,03$  rad), serta menggunakan 4 buah puli tipe B.

### D. Analisa Perubahan Kecepatan Aliran Air

Tabel 4 memperlihatkan dampak perubahan kecepatan aliran air terhadap torsi (T), laju aliran massa (m), putaran poros ( $n_p$ ), serta daya roda air ( $P_{\text{roda air}}$ ) serta efisiensi ( $\eta_{\text{teo}}$ ). Perubahan kecepatan aliran air ini disebabkan oleh bertambahnya volume air yang melewati saluran. Dari hasil perhitungan ditunjukkan perubahan kecepatan aliran air yang berdampak pada kelima variable yang disebutkan di atas yaitu berbanding lurus artinya bahwa jika kecepatan air bertambah maka terjadi peningkatan untuk kelima variable tersebut.

Tabel 3. Hasil Perancangan Komponen Pendukung Roda Air Arus Bawah

Parameter	Ukuran
Putaran poros roda air	( $n_p$ ) = 78,03 rpm
Torsi pada poros	(T) = 28,81 Nm
Daya poros rencana	( $P_d$ ) = 0,77 kW
Momen puntir	(T) = 9600,80 kg.mm
Tegangan geser yang diijinkan	( $\tau_a$ ) = 4,26 kg/mm <sup>2</sup>
Diameter poros	( $d_s$ ) = 24 mm
Tegangan geser yang bekerja	( $\tau_g$ ) = 3,55 kg/mm <sup>2</sup>
Panjang keliling sabuk (Tr. I)	( $L_1$ ) = 1559,9 mm
Panjang keliling sabuk (Tr. II)	( $L_2$ ) = 1576,2 mm
Kecepatan linier sabuk (Tr. I)	( $v_1$ ) = 1,26 m/s
Kecepatan linier sabuk (Tr. II)	( $v_2$ ) = 4,83 m/s
Sudut kontak sabuk (Tr. I)	( $\theta_1$ ) = 2,65 rad
Sudut kontak sabuk (Tr. II)	( $\theta_2$ ) = 2,68 rad
Diameter puli 1	( $d_1$ ) = 307,7 mm
Diameter puli 2	( $d_2$ ) = 80 mm
Diameter puli 3	( $d_3$ ) = 307,7 mm
Diameter puli 4	( $d_4$ ) = 92,3 mm
Kecepatan relative fluida pada sisi masuk	( $W_1$ ) = 2,45 m/s
Kecepatan relative fluida pada sisi keluar	( $W_2$ ) = 3,47 m/s
Sudut antara $W_2$ dengan $U_2$	( $\beta_2$ ) = 45°
Kecepatan tangensial	(U) = 2,45 m/s
Gaya pada roda air	( $\omega$ ) = 8,17 rad/s
Torsi pada roda air	(F) = 96,04 N
Daya roda air	(T) = 28,81 Nm
Efisiensi daya roda air	( $P_{ra}$ ) = 235,30 W
Efisiensi daya poros roda air	( $\eta_{\text{teo}}$ ) = 30,59 %
	( $\eta_{\text{pra}}$ ) = 85,721 %

Sumber : Data Lapangan dan File Perhitungan dengan Excel (2015)

Tabel 4. Analisa perubahan kecepatan aliran air

Kecepatan (v)	Torsi	Laju aliran massa	Putaran poros	Daya roda air	Efisiensi teoritis ( $\eta_{\text{teo}}$ )
$v_0 = 2,45$ m/s	28,85 Nm	39,2 kg/s	78 rpm	235,80 W	30,64 %
$v_1 = 2,55$ m/s	31,21 Nm	40,8 kg/s	81 rpm	265,30 W	33,14 %
$v_2 = 2,65$ m/s	33,71 Nm	42,4 kg/s	84 rpm	297,75 W	35,79 %
$v_3 = 2,75$ m/s	36,30 Nm	44,0 kg/s	88 rpm	332,75 W	38,54 %
$v_4 = 2,85$ m/s	38,99 Nm	45,6 kg/s	91 rpm	370,39 W	41,40 %

Sumber : Data Lapangan dan File Perhitungan dengan Excel (2015)

Sebagaimana diketahui bahwa dalam perancangan pembangkit listrik tenaga air skala picohydro, minihydro, small hydro, mikrohydro, medium hydro, bahkan large hydro, hal yang paling dibutuhkan adalah debit air dan tinggi air jatuh. Debit air ( $Q$ ) diperoleh melalui perkalian luas penampang basah ( $A$ ) dengan kecepatan aliran air ( $v$ ) dimana luas penampang basah diketahui dari perkalian lebar sudu ( $w$ ) dengan kedalaman sudu yang tercelup ( $d$ ) sedangkan kecepatan aliran air diketahui melalui perbandingan jarak dengan waktu tempuh benda uji dan untuk tinggi air jatuh diperoleh melalui pengukuran langsung di lokasi penelitian. Dari penjelasan singkat di atas, jelas menunjukkan bahwa dimensi dari suatu roda air berdampak signifikan terhadap debit air dan daya air yang diperoleh. Selain itu, kecepatan aliran air juga ikut memberikan dampak yang signifikan terhadap perubahan beberapa variabel penting dalam perancangan sebuah roda air yang akan dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga air skala picohydro seperti torsi, laju aliran massa, putaran poros, daya roda air, dan efisiensi.

Dari sekian variabel yang telah dijelaskan sebelumnya, kecepatan air ( $v$ ) merupakan salah satu kondisi aliran yang berperan penting dalam perancangan pembangkit listrik tenaga air dimana kecepatan air akan mempengaruhi debit capaian, daya air yang tersedia dan daya roda air itu sendiri sehingga secara tidak langsung mempengaruhi efisiensi maksimum yang diperoleh. Hal tersebut dikarenakan kecepatan aliran air dapat berubah terhadap waktu (kapan saja) serta kejadiannya relative singkat dan perubahan kecepatan aliran itu sendiri dipengaruhi langsung oleh kondisi cuaca.

Dalam pengambilan data awal khususnya berkaitan dengan media pengukuran, kami akui adanya beberapa hal yang menjadi kelemahan di sini antara lain saluran air sebagai konstruksi sipil dalam pengukuran kecepatan aliran air masih menggunakan bahan sederhana yaitu papan dimana dengan menggunakan bahan papan masih memungkinkan terjadinya resapan air yang tentunya mempengaruhi aliran air tersebut dan rembesan air pun masih terlihat di beberapa titik. Pembuatan saluran dengan konstruksi papan tentunya beralasan antara lain bahannya mudah diperoleh dari sekitar lokasi penelitian dan tidak memerlukan biaya pengadaannya karena disumbangkan dan didatangkan langsung oleh warga sekitar, pekerjaannya tidak membutuhkan waktu yang lama, biaya pekerjaan sangat kompetitif, tidak ada jalur darat yang menghubungkan kota

kabupaten dengan lokasi penelitian sehingga sulit mendatangkan bahan lain seperti logam aluminium, baja tipis, fiberglass atau sejenisnya sebagai bahan dasar saluran, bahkan jika menggunakan bahan dasar semen pastinya membutuhkan waktu pengerjaan yang lama mulai dari persiapan lahan hingga pengecorannya.

Oleh karena mengingat bahwa air merupakan fluida incompressible (tak termampatkan), maka dalam pembuatan saluran sangat penting untuk memperhitungkan bahan yang akan digunakan untuk saluran tersebut dan jauh lebih baik jika bahan saluran air yang digunakan memiliki koefisien kekasaran permukaan terkecil sehingga kecepatan aliran air yang bermuara pada tercapainya debit air maksimum dapat dipertahankan selama pengukuran bahkan pengujian prototipe roda air yang dirancang.

#### 4. Simpulan

Penulis menyimpulkan bahwa pengukuran dan pengambilan data di awal sangat menentukan tahapan selanjutnya dalam perancangan pembangkit listrik tenaga air skala picohydro yang memanfaatkan roda air arus bawah dengan tinggi air jatuh yang rendah. Debit air ( $Q$ ) dan daya air ( $P_{air}$ ) secara actual jauh lebih tinggi dibanding secara ideal, hal tersebut dipengaruhi oleh variable pengukuran dimana secara actual belum mempertimbangkan dimensi roda air sedangkan secara ideal telah memperhitungkan dimensi roda air. Perubahan kecepatan aliran air tentunya memberikan dampak yang signifikan terhadap perubahan torsi ( $T$ ), laju aliran massa ( $m$ ), putaran poros ( $n_p$ ), daya roda air ( $P_{roda\ air}$ ) dan efisiensi. Mengingat pentingnya hal ini maka sebelum melakukan pengukuran dan pengambilan data di awal perlu dipersiapkan terlebih dahulu saluran air dengan bahan dan dimensi yang lebih baik serta diakhir perancangan perlu dilakukan pengujian secara langsung di lapangan.

#### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Staf Jurusan Teknik Mesin Politeknik Amamapare Timika dan Universitas Hasanuddin yang telah memberikan kontribusi sehingga artikel ini dapat diselesaikan.

#### Referensi

- [1] E. S. Sihombing (2009), "Pengujian Sudu Lengkung Prototipe Turbin Air Terapung Pada Aliran Sungai", Jurnal

- Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara.
- [2] D. H. Siahaan (2009), “*Pengujian Sudu Rata Prototipe Turbin Air Terapung Pada Aliran Sungai*”, Jurnal Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara.
- [3] T. Shantika T & M. Ridwan (2013), “*Perancangan Prototipe Picohydro Portable 200 Watt*”, Bandung: Prosiding Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional.
- [4] L. Sule (2011), “*Perilaku Aliran Roda Air Arus Bawah Plat Bungkuk dengan Variasi Jumlah Sudu*”, Makassar: Jurnal Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin.
- [5] Prayatmo (2007), “*Turbin Air*”. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [6] B. R. Munson (2003), “*Mekanika Fluida (terjemahan)*”. Jakarta: Edisi ke-IV, Erlangga.
- [7] L. Sule, I. N. G. Wardana, R. Soenoko & S. Wahyudi (2014), “*Angled and Curved Blades of Deep-Water Wheel Efficiency*”. AENSI Journals: Australian Journal of Basic and Applied Sciences.
- [8] L. Sule (2012), “*Kinerja Roda Air Plat Arus Bawah dengan Variasi Jumlah Sudu*”. Makassar: Jurnal Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin.
- [9] A. Mangkau (2013), “*Analisis Kinerja Roda Air Aliran Bawah Sudu Lengkung 180° Untuk Pembangkit Listrik*”. Makassar: Prosiding Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin.
- [10] Sularso & K. Suga (2008), “*Dasar-dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*”, Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- [11] S. Himran (2006), “*Dasar-Dasar Merencana Turbin Air*”. Makassar: CV Bintang Lamumpatue.