

# Pengembangan Model Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro Tipe Turbin Cross Flow Head Rendah

Gun Gun R Gunadi<sup>1\*</sup>, Jusafwar<sup>2</sup>, Candra Damis Widiawaty<sup>3</sup>, Machfud Priyo Utomo<sup>4</sup>, Ramdana Ajie Satria<sup>5</sup>, Muhammad Raihan Abimanyu<sup>6</sup>, Adi Syuriadi<sup>7</sup>, Dianta Mustofa Kamal<sup>8</sup>, Rosidi<sup>9</sup>

<sup>1, 2,4,5,6,7,8</sup>Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta

<sup>3,9</sup>Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Cilacap

<sup>1,2,3,4,5,6,7,8,9</sup>Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, Indonesia 16425

E-mail: gungun.rg@mesin.pnj.ac.id<sup>1</sup>, jusafwar@mesin.pnj.ac.id<sup>2</sup>, candra.damis.widiawati@mesin.pnj.ac.id<sup>3</sup>, machfud.priyoutomo.tm17@mhs.pnj.ac.id<sup>4</sup>, ramdana.ajiesatria.tm17@mhs.pnj.ac.id<sup>5</sup>, muhammad.raihanabimanyu.tm17@mhs.pnj.ac.id<sup>6</sup>, adi.syuriadi@mesin.pnj.ac.id<sup>7</sup>, dianta.mustofakamal@mesin.pnj.ac.id<sup>8</sup>, rosidi@mesin.pnj.ac.id<sup>9</sup>

---

## Abstrak

---

### Info Naskah:

Naskah masuk: 18 Oktober 2021

Direvisi: 3 Juni 2022

Diterima: 15 Juni 2022

Penyediaan bahan pangan, penyediaan energi, dan penyediaan informasi dikendalikan untuk peningkatan kesejahteraan masyarakat. Pada tahun 2011, produksi listrik nasional oleh PLN 11% energi baru dan terbarukan. 6% PLTA dan 5% PLTP. PLN merencanakan PLTP menjadi 13% dan PLTA masih 6%. Ketersediaan PLTP secara mandiri banyak dibangun masyarakat. PLTP dengan penggerak kincir air berkapasitas sekitar 100 watt, hanya cukup untuk penerangan rumah saja. Padahal potensi energi hidro daerah tersebut cukup berlimpah. Pengembangan yang sudah dilakukan memiliki beberapa kelemahan; PLTP jenis turbin *plump* membutuhkan head yang masih tinggi, menjadi kendala irigasi pertanian, sedangkan PLTP type kincir air memiliki efisiensi yang rendah. Penelitian dilakukan untuk pengembangan PLTP tipe turbin *cross flow head rendah* yang lebih efisien. Pengembangan diawali dengan percobaan model turbin *cross flow* PLTP untuk mengoptimalkan rasio diameter dan lebar runner. Studi kasus pendahuluan memberikan hasil eksperimen untuk parameter torsi dan daya turbin *cross flow* pada laju aliran 0,053 m<sup>3</sup>/s. Perubahan rasio diameter dan lebar turbin, optimum pada lebar runner 10 cm.

---

## Abstract

---

### Keywords:

PhPP;

crossflow turbine;

low head;

The provision of food, energy supply, and the provision of information are The food provision, energy supply, and information delivery are controlled to improve people's welfare. In 2011, the national electricity production by PLN was 11% new and renewable energy. 6% hydropower and 5% geothermal. PLN plans the geothermal to be 13% and hydropower to be 6%. The availability of independent PhPP has been built by many communities. PhPP with a waterwheel drive provides a capacity of about 100 watts thus it is only enough for home lighting, whereas the hydro energy potential of the area is quite abundant. The development that has been carried out has several weaknesses; PhPP plump turbine type requires a high head which becomes a constraint for agricultural irrigation, in the other hand PhPP waterwheel type has low efficiency. The research was conducted to develop PhPP low head cross-flow turbine type, which is more efficient. The development begins with the experiment of the PhPP cross-flow turbine model to optimize the ratio of the diameter and width of the runner. A preliminary case study provides experimental results for a cross-flow turbine's torque and power parameters at a flow rate of 0.053 m<sup>3</sup>/s. Changes in the turbine diameter and width ratio are optimum at a runner width of 10 cm.

---

\*Penulis korespondensi:

Gun Gun R Gunadi

E-mail: gungun.rg@mesin.pnj.ac.id

## 1. Pendahuluan

Penyediaan bahan pangan, penyediaan energi, dan penyediaan informasi merupakan pilar masyarakat teknologi. Ketersediaan pasokan ketiga hal tersebut akan meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Peningkatan penggunaan energi tidak bisa dihindari. Berdasarkan data kementerian ESDM produksi listrik nasional mengalami peningkatan. Tahun 2007 mencapai 140.000 GWh, sejalan dengan bertambahnya konsumsi listrik nasional yang mencapai sekitar 120.000 GWh.

Selama semester I tahun 2010, konsumsi listrik Jawa-Bali tumbuh 10,5%. Realisasi produksi listrik pada semester I tahun 2010 mencapai 83,3 *Terra Watt hour* (TWH) [1]. Permasalahan energi karena semakin tipisnya cadangan sumber energi takterbarukan dan masih mahalnya teknologi pengembangan energi terbarukan, mendorong peningkatan pencarian sumber energi baru dan pengembangan teknologi guna meningkatkan efisiensi penggunaan energi.

Pada tahun 2011, produksi listrik nasional oleh PLN 11% energi baru dan terbarukan. 6% PLTA dan 5% PLTP. PLN merencanakan, PLTP menjadi 13% dan PLTA masih 6% [2]. Ketersediaan PLTP secara mandiri banyak dibangun masyarakat. Seperti di daerah Kec. Pamijahan Kab. Bogor Propinsi Jawa Barat dibangun PLTP dengan penggerak kincir air berkapasitas sekitar 100 watt, hanya cukup untuk penerangan rumah saja. Padahal potensi energi hidro daerah tersebut cukup berlimpah.

Instalasi PLTP Tipe Kincir Air sudah dikembangkan dengan peningkatan efisiensi dan penambahan sistem proteksi. Akan tetapi masih memiliki kelemahan disisi pengendalian aliran air, sebagai sumber energi penggerak kincir. Ketika beban penggunaan listrik menurun aliran air masih tetap pada kondisi maksimum. Kondisi tersebut bisa mengakibatkan generator kelebihan masukan energi yang bisa mengakibatkan *over speed*, hingga menurunkan umur atau merusak generator. Sebaliknya ketika beban naik pasokan air tetap, dapat menyebabkan generator kelebihan beban hingga menyebabkan generator terbakar [3].

Pengembangan lanjutan instalasi PLTP Type Kincir Air dengan penambahan Bak Kontrol pada *Headtank* (Bak Penenang), dapat menjaga kesetabilan elevasi air dan menghindarkan *overflow* pada kincir ketika curah hujan tinggi. Rangka dudukan kincir air dan generator terbuat dari beton dengan bantalan kayu, sebagai penopang poros kincir air dapat menjaga dan menekan vibrasi. Penambahan sistem proteksi kelistrikan dengan penambahan *Automatic Circuit Breaker* dan penangkal petir untuk melindungi generator dari kelebihan beban penggunaan listrik dan kelebihan arus karena petir. Daya beban baru mencapai 1000 watt dengan tegangan yang kurang stabil. Tegangan stabil pada pembebanan 146-283,5 watt. Diatas 283,5 tegangan turun dibawah 220 volt. Efisiensi pembangkitan meningkat seiring peningkatan daya pembangkitan [4].

Pengembangan dilakukan pada *penstock* dengan cara meluaskan kontak antara aliran air dan kincir air, serta penurunan momentum aliran akibat penurunan kecepatan aliran. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa setiap peningkatan luasan sebesar 1/5 lebar maksimum *penstock*

dengan saluran terbuka, meningkatkan daya rerata sebesar 0,7% [5].

Pengembangan juga dilakukan di PLTP type Turbin *Plump*. Hasil simulasi menunjukkan pada sudut serang impeler 20° dengan debit 0,02353 m/s, sudah terjadi separasi. Pengembangan yang dilakukan pada debit 0,02353 m/s harus dengan sudut serang impeler < 20°. Pengujian model turbin, menunjukkan efisiensi naik sebanding kenaikan beban, dengan efisiensi optimum sebesar 11,9% pada sudut sudu impeler 18° [6]. Pengembangan yang sudah dilakukan memiliki beberapa kelemahan; PLTP type kincir air memiliki efisiensi yang rendah. Sedangkan PLTP type Turbin *Plump* membutuhkan head yang masih tinggi, menjadi kendala irigasi dimasyarakat untuk pengairan sawah dan pertanian. Pengembangan PLTP head rendah menjadi sangat penting.

Pra-eksperimen, banyak penelitian turbin diawali dengan *modeling* CFD. Berikut beberapa penelitian untuk pengembangan turbin dengan *modeling* CFD dan pengembangan *modeling* CFD pada turbin: Optimalisasi algoritma turbin hidro [7]. CFD debit masuk dalam turbin [8]. Simulasi numerik pada *aerofoil* [9]. Analisa aliran turbulen pada *runner cross flow* [10]. Penilaian model turbulensi untuk simulasi numerik turbin *cross flow*. Tiga variabel yg dibandingkan error, waktu per iterasi dan rata-rata iterasi hingga konvergen [11]. Optimasi *inverse-prandtl* disipasi pada model turbulensi k-ε standar untuk medan aliran udara pada turbin *cross flow* [12][13]. Optimasi *inverse-prandtl* disipasi pada model turbulensi k-ε standar untuk medan aliran air pada turbin *cross flow*. Nilai konstanta  $\sigma_\epsilon=0,47$  dan  $\sigma_k=1$  direkomendasikan untuk mendapatkan nilai simpangan yang kecil [14].

Penelitian PLTP type turbin *cross flow* head rendah sudah diawali dengan *modeling* CFD untuk optimasi rasio diameter dan lebar runner [15]. Untuk peningkatan akurasi hasil penelitian PLTP type turbin *cross flow* head rendah, perlu dilakukan eksperimen. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka perlu dilakukan penelitian lanjut, eksperimen instalasi PLTP type turbin *cross flow* head rendah yang lebih efisien dengan optimasi rasio diameter dan lebar runner.

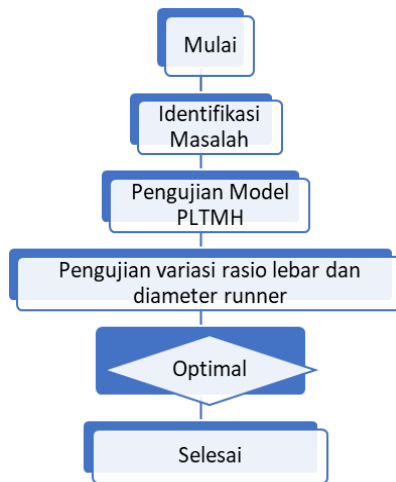
## 2. Metode

### 2.1 Identifikasi Masalah

Jaringan listrik PLN yang belum terhubung di beberapa wilayah masyarakat, mendorong dikembangkannya PLTP secara mandiri berupa kincir air sederhana dengan generator DC tanpa menggunakan proteksi. Kapasitas PLTP yg ada sekitar 100 watt dengan konstruksi yang mudah rusak karena gangguan alam, seperti: rangka kincir rusak dan atau generator yang terbakar, serta pemeliharaan yang memerlukan pengawasan yang tinggi, dan lainnya. Generator terbakar karena sumber daya berlebih disebabkan air yang tiba-tiba berlebih karena curah hujan yang tinggi, karena sambaran petir, karena kelebihan beban, atau energi sumber berupa aliran air turun.

Secara teknis kondisi tersebut terjadi karena tidak ada sistem proteksi mekanik yang mampu mengatur energi aliran supaya jumlahnya ada pada rentang yang diijinkan dan proteksi elektrik yang mampu melindungi sistem

kelistrikan dari beban berlebih atau beban tiba-tiba. [16]. Pengembangan PLTPH jenis turbin *plump* dan type kincir air dengan penambahan sistim proteksi kelistrikan dan mekanik (*governing valve*) masih memiliki beberapa kelemahan; PLTPH jenis turbin *plump* membutuhkan head yang masih tinggi, menjadi kendala irigasi dimasyarakat untuk pengairan sawah dan pertanian, sedangkan PLTPH type kincir air memiliki efisiensi yang rendah.



Gambar 1. Diagram alir proses pengembangan model PLTPH turbin *cross flow*

Pada Gambar 1 merupakan tahapan penelitian yang dilakukan. Hasil review artikel, variable uji yang perlu dikembangkan adalah rasio diameter dan lebar turbin *cross flow*, laju aliran fluida (debit), serta head.

Penelitian PLTPH type turbin *cross flow* head rendah sudah diawali dengan pendekatan *modeling* CFD. Perlu dilakukan penelitian lajnut dengan eksperimen, untuk meningkatkan akurasi nilai hasil optimalisnya. Pengujian Model PLTPH dilakukan untuk uji keandalan dan kalibrasi sistem ukur.

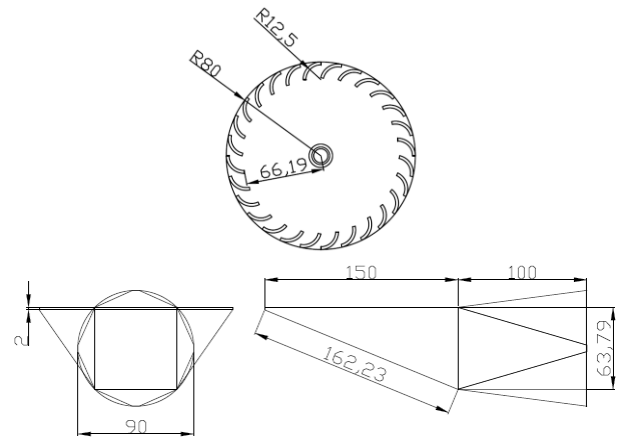
## 2.2 Pengujian Variasi Rasio Lebar dan Diameter Runner

Pengembangan PLTPH type Turbin *cross flow* head rendah dapat meningkatkan efiesi sistem dengan optimasi rasio diameter dan lebar turbin *cross flow*, laju aliran fluida (debit), dan head. Pengembangan dilakukan dengan eksperimen model PLTPH untuk optimalisasi rasio lebar dan diameter runner. Pengujian model PLTPH disesuaikan dengan sumber energi aktual, untuk optimalisasi energi yang dibangkitkan dan kehandalan dengan perbaikan kelemahan hasil pengujian.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Pengujian Model PLTPH

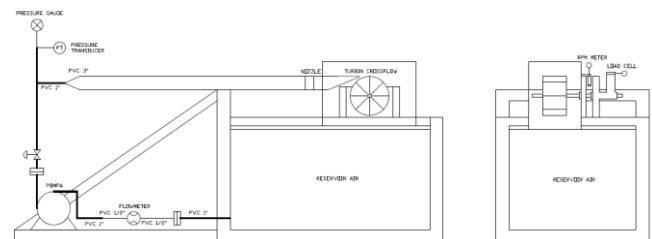
Model uji turbin *cross flow* ditunjukkan dengan Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.



Gambar 2. Model turbin *cross flow*



Gambar 3. Model uji turbin *cross flow*



Gambar 4. Instrumen pengukuran model uji turbin *cross flow*

Pengujian Model PLTPH diawali dengan mempersiapkan sumber energi dengan pompa dan katup. Proses dilakukan untuk menguji kehandalan system model PLTPH tersebut. Kemudian dilanjutkan dengan instalasi dan kalibrasi sistem ukur.

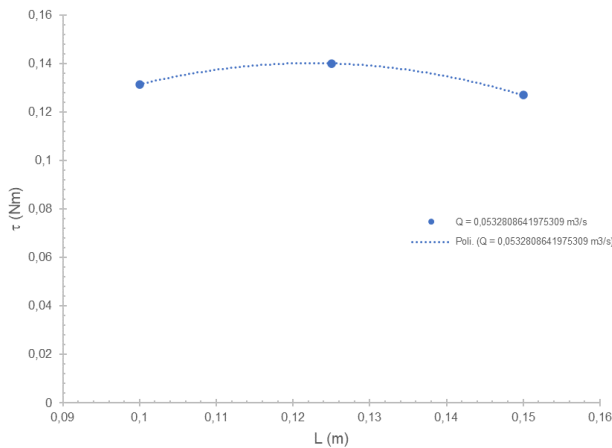
### 3.2 Pengujian Variasi Rasio Lebar dan Diameter Runner

Perubahan rasio diameter dan lebar turbin, laju aliran fluida (debit), dan head dilakukan pada eksperimen lanjut. Variabel rasio diameter dan lebar turbin dilakukan pada lebar 0,10 m, 0,13 m, 0,15 m, dengan debit 0,053 m<sup>3</sup>/s. Data rata-rata hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

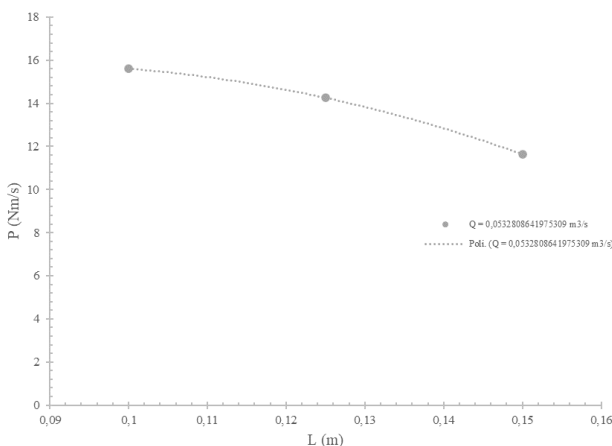
Tabel 1. Data pengujian daya mekanik turbin untuk variabel rasio diameter dan lebar turbin

| No | L<br>m | $\tau$<br>Nm | $\omega$<br>rad/s | $\tau \cdot \omega$<br>Nm/s |
|----|--------|--------------|-------------------|-----------------------------|
| 1  | 0,10   | 0,131        | 118,8             | 15,61                       |
| 2  | 0,13   | 0,140        | 101,8             | 14,25                       |
| 3  | 0,15   | 0,127        | 91,7              | 11,64                       |

Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan kurva torsi dan daya turbin *cross flow* hasil uji untuk perubahan rasio diameter dan lebar turbin. Kurva hasil uji menunjukkan bahwa titik optimum daya untuk debit 0,053 m<sup>3</sup>/s ada pada lebar runner turbin *cross flow* 10 cm.



Gambar 5. Kurva torsi turbin *cross flow* hasil uji untuk perubahan rasio diameter dan lebar turbin



Gambar 6. Kurva daya turbin *cross flow* hasil uji untuk perubahan rasio diameter dan lebar turbin

### 4. Kesimpulan

Pengembangan eksperimen model PLTPH tipe turbin *cross flow* head rendah dengan fluida air pada parameter torsi dan daya, memberikan hasil untuk debit 0,053 m<sup>3</sup>/s perubahan rasio diameter dan lebar turbin optimum pada lebar runner turbin *cross flow* 10 cm.

Penelitian ini perlu dikembangkan lagi dengan variasi sumber energi, untuk menghasilkan grafik rasio optimum untuk variasi sumber energi.

### Daftar Pustaka

- [1] Kontan, "Sepanjang 2010, konsumsi listrik nasional meningkat," <http://www.kontan.co.id>, 2012. .
- [2] Alkindo, "PLN Tingkatkan Produksi Listrik Dari Energi Terbarukan," <http://www.alkindo.org>, 2012. .
- [3] G. G. R. Gunadi, A. Syuriadi, Fachruddin, and S. Prasetya, "Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Type Kincir Air," in *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M) 2011*, 2011, pp. 59–64.
- [4] G. G. R. Gunadi, Jusufwar, A. Syuriadi, and D. M. Kamal, "Development of Hydraulic Governing Valve For Micro Hydro Power Plant Type Waterwheel," in *Proceeding of Annual South East Asian International Seminar (ASAIS) 2013*, 2013, pp. 233–240.
- [5] G. G. R. Gunadi *et al.*, "Developing a Low Cost Penstock for Waterwheel Type Micro Hydro Power Plant in Rural Area," *Politeknologi*, vol. 13, no. 3, 2014.
- [6] G. G. R. Gunadi, C. D. Widiawaty, Fachruddin, Jusufwar, A. Syuriadi, and J. Ali, "Developing a Runner for Axial Turbine Type Micro Hydro Power Plant with Low Head," in *Proceeding of Annual South East Asian International Seminar (ASAIS) 2016*, 2016, pp. 45–54.
- [7] R. Eisinger and A. Ruprecht, "Automatic Shape Optimisation of Hydro Turbine Components Based on CFD," *Task Q.*, vol. 6, no. 1, pp. 101–111, 2002, [Online]. Available: <http://www.bop.com.pl>.
- [8] M. Sinagra, V. Sammartano, C. Aricò, A. Collura, and T. Tucciarelli, "Cross-flow Turbine Design for Variable Operating Conditions," *Procedia Eng.*, vol. 70, pp. 1539 – 1548, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.02.170.
- [9] G. G. R. Gunadi, "Simulasi Aliran Lewat Aerofoil dengan 'Slotted Flap' Menggunakan Metode Vorteks," *Politeknologi*, vol. 9, no. 3, pp. 35–44, 2010.
- [10] S. Darmawan *et al.*, "Turbulent Flow Analysis in Auxiliary Cross-Flow Runner of a Proto X-3 Bioenergy Micro Gas Turbine Using RNG k- $\epsilon$  Turbulence Model," *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 16, pp. 7086–7091, 2015.
- [11] A. I. Siswantara, Budiarmo, A. P. Prakoso, G. G. R. Gunadi, Warjito, and D. Adanta, "Assessment of Turbulence Model for Cross-Flow Pico Hydro Turbine Numerical Simulation," *CFD Lett.*, vol. 10, no. 2, pp. 38–48, 2018.
- [12] G. G. R. Gunadi, A. I. Siswantara, and B. Budiarmo, "Turbulence Models Application in Air Flow of Crossflow Turbine," *Int. J. Technol.*, vol. 9, no. 7, p. 1490, Dec. 2018, doi: 10.14716/ijtech.v9i7.2636.
- [13] G. G. R. Gunadi, A. I. Siswantara, B. Budiarmo, H. Pujowidodo, C. D. Widiawaty, and D. Adanta, "Analysis of Inverse-Prandtl of Dissipation in Standard K-E Turbulence Model for Predicting Flow Field of Crossflow Wind Turbine," *CFD Lett.*, vol. 12, no. 4, pp. 68–78, Apr. 2020, doi: 10.37934/cfdl.12.4.6878.
- [14] C. D. Widiawaty *et al.*, "Optimization of inverse-Prandtl of Dissipation in standard k- $\epsilon$  Turbulence Model for Predicting Flow Field of Crossflow Turbine," *CFD Lett.*, vol. 14, no. 1, pp. 112–127, 2022, doi: 10.37934/cfdl.14.1.112127.

- [15] G. G. R. Gunadi *et al.*, “Development of a Micro Hydro Power Plant Model With a Low Head Cross Flow Turbine,” in *Proceeding of Annual South East Asian International Seminar (ASAIS) 2020*, 2020, pp. 33–38.
- [16] J. Croockewit, *Handbook for Developing MICRO HYDRO In British Columbia*. BC Hydro, 2004.