



## Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tipe Cross Flow dengan Variasi Jumlah Sudu

Yesung Allo Padang, Sigit Juliadi, Nurpatria\*

Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jln. Majapahit No. 62 Mataram Nusa Tenggara Barat Kode Pos : 83125, Telp. (0370) 636087; 636126; ext 128 Fax (0370) 636087.

\*Email: [sigit.klau@gmail.com](mailto:sigit.klau@gmail.com)

---

### ARTICLE INFO

---

Article History:  
Received  
Accepted  
ailable online

---

Keywords:  
Performance  
Number of Blades  
Microhydro  
Cross Flow Water Turbine  
Alternative Energy

### ABSTRACT

---

Availability of fossil energy has declined, so the price tends to rise. The increase in fossil energy prices affects the price of electricity, because most of the power plants in Indonesia use fossil energy. So with these conditions, many alternative energy systems are developed in the form of small-scale plants, commonly known as Micro-Hydro Power Projects (PLTMH). The MHP research was carried out on rice field irrigation channels in Suralaga Village, East Lombok Regency. The purpose of this study was to determine the performance of the MHP on the number of turbine blades with variations in the number of blades namely 4 blades, 5 blades and 6 blades with 210 mm blade diameter, and 300 mm width. The height used in this study is 0.69m with the velocity of water at 4.6 m /s.

The results showed that the highest performance was in the variation of the number of blades 5 pieces, with a constant water power of 1118.13 Watts, turbine power of 89.35 Watts, turbine torque of 15.67 Nm, turbine efficiency of 7.99% with turbine rotation of 46.7 rpm and system efficiency 4.60% with the specifications of the lights used which are 21 Watt 24 Volts, with these specifications, obtained generator power of 51.44 Watts, tip speed ratio 0.7740 at 84.4 rpm turbine rotation.

Meanwhile, the lowest performance was obtained in the variation of the number of blades 4 pieces, with a constant water power of 1118.13 Watt, obtained turbine power 63.83 Watts, turbine torque of 14.36 Nm, turbine efficiency of 5.71% with turbine rotation 42.1 rpm and system efficiency of 3.36% with the specifications of the lights used 21 Watts 24 Volts, from the specifications of the lights obtained by generator power 37.53 Watts, tip speed ratio 0.7337 on turbine rotation 78.0 rpm.

---

## PENDAHULUAN

Ketersediaan energi fosil belakangan ini semakin menurun, sehingga harganya cenderung naik. Kenaikan harga energi fosil mempengaruhi harga energi listrik, karena sebagian besar pembangkit listrik yang ada di Indonesia menggunakan energi fosil. Agar energi listrik tidak semakin mahal, maka perlu dilakukan upaya lain untuk mengatasinya.

Berbagai cara dan upaya terus dilakukan baik dengan mencari potensi energi baru maupun dengan mengembangkan teknologinya. Salah satu upaya yang sudah dilakukan adalah pemakaian energi air sebagai penggerak turbin. Di dalam turbin, energi kinetik air dirubah menjadi energi mekanik, dimana air memutar roda turbin. Energi puntir yang dihasilkan selanjutnya diubah menjadi energi listrik melalui generator.

Pemanfaatan energi banyak dilakukan dengan menggunakan kincir air atau turbin air yang memanfaatkan adanya suatu air terjun atau aliran air di sungai. Untuk memanfaatkan energi air sebagai PLTMH maka diperlukan turbin air yang berfungsi sebagai alat konversi energi. Jenis turbin yang umum digunakan dalam PLTMH yaitu *Cross flow*.

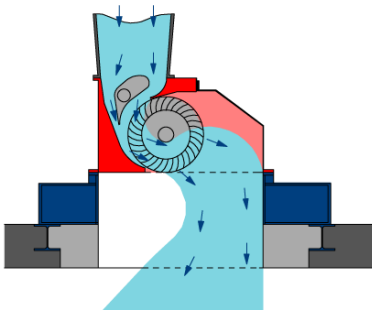
## DASAR TEORI

### Turbin Air

Turbin secara umum dapat diartikan sebagai mesin penggerak mula dimana energi fluida kerja yang digunakan langsung memutar roda turbin, fluida kerjanya yaitu berupa air, uap air dan gas. Dengan demikian turbin air dapat diartikan sebagai suatu mesin penggerak mula yang fluida kerjanya adalah air (Arismunandar, W., 2004 : 1).

### Turbin Cross Flow

Turbin *cross flow* merupakan turbin aliran radial, nama lainnya turbin aliran silang atau *banki turbine* merupakan juga jenis turbin *atmosphere radial flow*, yaitu daerah kerjanya pada tekanan atmosfer, sehingga akan mudah dalam perakitannya karena tidak membutuhkan seal-seal kedap udara (Khomsah,A., 2015).



Gambar 1 Turbin *cross flow* aliran vertikal

Turbin *cross-flow* terdiri dari tiga bagian utama yaitu roda jalan, alat pengarah dan rumah turbin. Dalam aplikasinya turbin *cross-flow* baik sekali digunakan untuk pusat tenaga air yang kecil dengan daya kurang lebih 750 kW. Tinggi air jatuh yang bisa digunakan diatas 1 m sampai 200 m dan kapasitas antara 0,02 m<sup>3</sup>/s sampai 7 m<sup>3</sup>/s (Dietzel, F., 1993).

Untuk mengetahui daya pada turbin yang digunakan, maka menggunakan rumus dibawah ini (Prasetyo dkk, 2016).

$$P_t = T \times \omega$$

Dimana,

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60}$$

### Torsi Turbin

Torsi adalah ukuran kemampuan turbin untuk melakukan kerja, jadi torsi adalah suatu energi. Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya

$$T = m \times g \times r_p$$

Metode pengukuran torsi ini menggunakan prinsip dinamometer yaitu dengan memberi beban yang berlawanan terhadap arah putaran sampai putaran mendekati 0 rpm, beban ini nilainya adalah sama dengan torsi poros. Pengukuran torsi pada poros ( rotor) dengan prinsip pengereman dengan dikenai beban sebesar F. Untuk mengukur torsi turbin pada poros diberi beban yang disambungkan dengan tali pengereman atau pembebanan. Pembebanan diteruskan sampai poros turbin hampir berhenti berputar. Beban maksimum yang terbaca adalah gaya pengereman yang besarnya sama dengan gaya putar poros turbin F. Dari definisi disebutkan bahwa perkalian antara gaya dengan jaraknya/jari-jari poros adalah sebuah torsi.

### Kecepatan Aliran Air

Untuk menghitung debit aliran air menggunakan rumus sebagai berikut:

Dimana,

$$v = \frac{Q}{A}, \text{ sehingga}$$

$$Q = v \times A$$

### Tip speed ratio ( $\lambda$ )

*Tip speed ratio* (rasio kecepatan ujung) adalah perbandingan kecepatan pada ujung rotor terhadap kecepatan air (Ulyy dkk, 2017). *Tip speed ratio* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut

$$\lambda = \frac{\pi \times D \times n}{60 \times v}$$

### Daya air ( P<sub>w</sub> )

Untuk mengetahui daya masuk/daya air (Dietzel, F., 1993) digunakan rumus sebagai berikut:

$$P_w = \rho \times g \times H \times Q$$

### Daya output generator

Untuk menghitung daya output generator menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_g = V \times I$$

### Torsi pada generator

Torsi biasa disebut juga momen atau gaya yang menyatakan benda berputar pada suatu sumbu. Torsi juga bisa didefinisikan ukuran keefektifan gaya tersebut dalam menghasilkan putaran atau rotasi mengelilingi sumbu tersebut (Uly dkk, 2017). Besar torsi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$T_g = \frac{P_g}{2 \times \pi \times \frac{n_g}{60}}$$

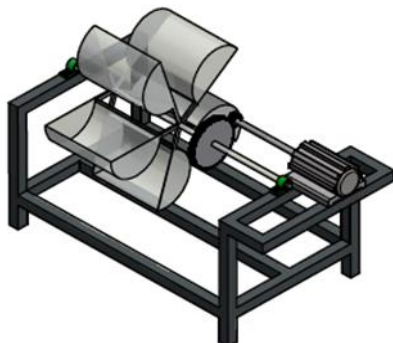
### Efisiensi Turbin

Untuk menyatakan performansi suatu mesin biasanya dinyatakan dalam efisiensi yang merupakan perbandingan antara efek manfaat yang digunakan dengan pengorbanan yang dilakukan (Uly dkk, 2017). Rumus efisiensi adalah sebagai berikut

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_w} \times 100\%$$

## METODE PENELITIAN

### Desain Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro



Gambar 2 Mesin PLTMH Pada Bagian Ini Dilakukan Penggambaran Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Menggunakan Software Autodesk

*Inventor 2016 Student Version*, Yang Berupa Dimensi, Jenis, Bentuk, Dan Jumlah Sudu, Bentuk Rangka Dan Tata Letak Dari Bagian-Bagian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Digunakan Supaya Tepat Dan Menghasilkan Daya Maksimal Dari Ukuran Mesin Yang Digunakan. Gambar mesin pembangkit listrik tenaga mikrohidro pada gambar 2 di atas.

### Variabel Penelitian

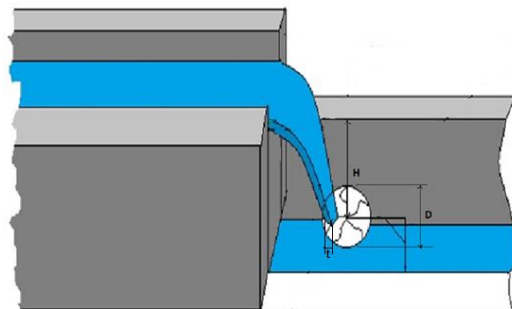
Adapun variabel dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Jumlah sudu 4 buah;
- Jumlah sudu 5 buah;
- Jumlah sudu 6 buah;

\* dengan catatan diameter sudu tetap.

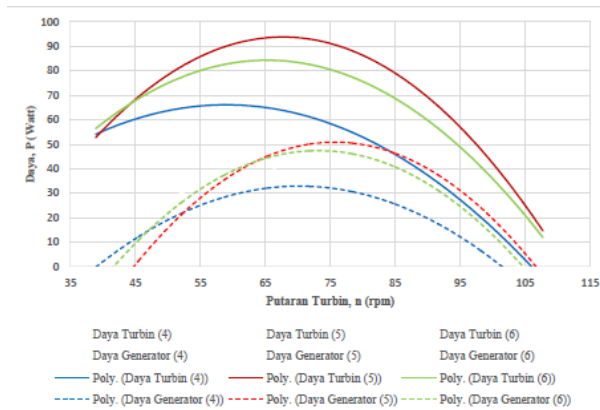
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter-parameter yang diukur dalam penelitian ini antara lain adalah seperti  $v$  atau kecepatan aliran air (m/s) yang diukur menggunakan *current meter*, kemudian beban pengereman yaitu pemberian beban massa (m) yang diperoleh menggunakan hasil pembacaan dari timbangan digital 1 dan timbangan digital 2 (Kg), kemudian pengukuran arus  $I$  (ampere) dan tegangan  $V$  (volt) yang diperoleh dari hasil pembacaan alat *multimeter*. Dalam penelitian ini tujuan yang ingin dihitung adalah daya air (watt), torsi (Nm), dan daya turbin (watt), untuk mendapatkan hasil dari efisiensi turbin adalah menghitung daya air yang dihasilkan dengan daya turbin yang dihasilkan,



Gambar 3 Posisi pengambilan data dimensi pada saluran irigasi dan mesin PLTMH

Dimana pada gambar 3 di atas terdapat  $t$  adalah tebal air yang digunakan untuk menghitung luas kontak air dengan sudu dikali dengan panjang sudu yaitu  $p$ ,  $H$  adalah ketinggian yang digunakan pada penelitian ini, dan  $D$  merupakan diameter turbin tetap.



Gambar 4 Hubungan putaran turbin dengan daya turbin dan daya generator pada jumlah sudu.

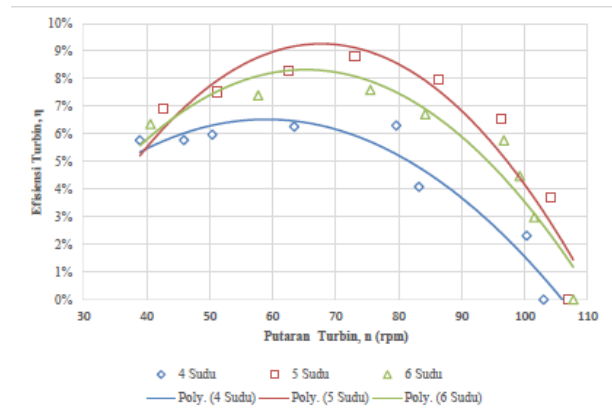
Data yang didapatkan disetiap variasi jumlah sudu pada turbin memiliki daya turbin lebih tinggi daripada daya generator, namun daya air yang didapatkan jauh diatas daya turbin yaitu 118,13 Watt. Variasi turbin dengan jumlah 4 buah, daya turbin yang tertinggi adalah 63,83 Watt pada putaran turbin 79,6 rpm dan torsi 7,66 N.m, sedangkan daya generatornya yang tertinggi adalah 37,53 Watt dengan torsi generator 0,70 N.m,

Pada variasi sudu 5 buah memiliki daya turbin yang tertinggi 89,35 Watt pada putaran turbin 73,0 rpm dan torsi 11,69 N.m, daya generatornya yang tertinggi adalah 51,44 Watt dengan torsi generator 1,00 N.m.

Sedangkan, variasi sudu 6 buah memiliki daya turbin tertinggi yaitu 76,90 Watt pada putaran turbin 75,5 rpm dan torsi turbin 9,73 N.m, daya generatornya yang tertinggi adalah 48,39 dan torsi generator 0,97 N.m.

Dari grafik pada gambar 4.5 daya turbin dan generator yang tertinggi terletak pada variasi 5 sudu dan daya turbin serta daya generator yang terendah terletak pada variasi 4 sudu.

Jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sugiri.A menghasilkan daya maksimum sebesar 191 Watt pada jumlah sudu turbin 20 buah, dan penelitian Padang.Y.A.dkk menghasilkan daya maksimum generator sebesar 29,25 Watt, maka daya yang dihasilkan pada penelitian ini terletak dibawah Sugiri.A dan diatas penelitian Padang.Y.A.dkk, hal ini disebabkan karena pada penelitian Sugiri.A memiliki head yang jauh lebih tinggi yaitu 2,5 m, dan pada penelitian Padang.Y.A.dkk memiliki daya output generator yang lebih kecil disebabkan head pada penelitian ini sama dengan nol. Sehingga terlihat head disini sangat berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga mikrohidro tipe cross flow ini.



Gambar 5 Hubungan putaran turbin dengan efisiensi turbin pada variasi jumlah sudu.

Pembuatan turbin air cross flow ini diaplikasikan sebagai pembangkit listrik mikrohidro dimana daya yang dihasilkan dengan kapasitas yang rendah. Gambar 4.9 menjelaskan perbedaan besar efisiensi turbin pada setiap jumlah sudu yang diuji. Kisaran tingkat efisiensi maksimum pada masing-masing diameter yaitu 0 – 7,99%. Efisiensi terbesar terletak pada variasi 5 sudu yaitu 7,99% terletak pada putaran turbin 73,0 rpm, pada variasi 6 sudu efisiensi terbesar terletak pada putaran turbin 75,5 rpm yaitu 6,88%, variasi sudu 4 buah terletak pada putaran turbin 79,6 rpm yaitu 5,71 %, sehingga dari ketiga variasi jumlah sudu digunakan, yang memiliki efisiensi terbesar yaitu variasi 5 sudu dan diikuti variasi 6 sudu dan 4 sudu. Hal ini terkait jumlah sudu lebih sedikit akan memiliki putaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin yang memiliki jumlah sudu yang lebih banyak, karena beban yang diputar oleh energi dari air lebih kecil.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sugiri.A memiliki efisiensi sebesar 76% dan penelitian yang dilakukan oleh Padang.Y.A.dkk memiliki efisiensi terbaik sebesar 0,47%. Terlihat pada hasil dari penelitian Sugiri.A memiliki efisiensi yang jauh lebih tinggi, hal ini disebabkan pada penelitian Sugiri.A head yang digunakan lebih tinggi sehingga akan berpengaruh terhadap kecepatan aliran air dan bisa memutar turbin dan generator dengan lebih tinggi sampai dengan efisiensi terbaik generator.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan di atas, maka hasil penelitian ini bisa disimpulkan sebagai berikut:

1. Unjuk kerja tertinggi pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah pada variasi jumlah sudu 5 buah, pada kondisi itu daya turbin 89,35 Watt, *tip speed ratio* 0,7740, torsi turbin 15,67 N.m, efisiensi turbin 7,99% dan efisiensi sistem

4,60%. Unjuk kerja yang terendah terletak pada variasi jumlah sudu 4 buah yaitu daya turbin 63,44 Watt, *tip speed ratio* 0,33733, torsi turbin 14,36 N.m, efisiensi turbin 5,71% dan efisiensi sistem 3,36%.

2. Potensi pengembangan pembangkit listrik tenaga mikrohidro layak untuk dikembangkan, karena pada penelitian ini dengan dimensi mesin yang ada sudah mampu menyalakan 4 lampu, hanya saja 3 lampu yang bisa terang dengan lampu 21 watt.

### Saran

Untuk penelitian selanjutnya diharapkan sudu yang dibuat sebaiknya dilas dengan rapi dan kuat sehingga pada saat penelitian tidak terjadi kerusakan pada sudu yang diakibatkan kuatnya air yang jatuh pada sudu.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang membantu baik berupa materi maupun pikiran sehingga penelitian dan paper ini dapat terselesaikan. Yang kedua penulis mengapresiasi Jurusan Teknik Mesin atas fasilitas yang dipergunakan dalam penelitian ini.

### DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

|           |                                                                        |
|-----------|------------------------------------------------------------------------|
| $P_t$     | = daya pada turbin (Watt);                                             |
| $T_t$     | = Torsi pada turbin (N.m);                                             |
| $\omega$  | = kecepatan angular (rad/s).                                           |
| $\pi$     | = phi                                                                  |
| $n_t$     | = Putaran turbin (rpm)                                                 |
| $m$       | = massa putaran turbin yang diukur menggunakan timbangan gantung (kg); |
| $g$       | = percepatan gravitasi 9,81 m/s <sup>2</sup> ;                         |
| $r_p$     | = jari-jari poros (m).                                                 |
| $Q$       | = debit aliran air (m <sup>3</sup> /s)                                 |
| $v$       | = kecepatan aliran air (m/s)                                           |
| $A$       | = luas penampang kontak turbin dengan air (m <sup>2</sup> )            |
| $\lambda$ | = <i>tip speed ratio</i>                                               |
| $D$       | = diameter rotor (m);                                                  |
| $P_w$     | = daya air (Watt);                                                     |
| $\rho$    | = kerapatan massa air (kg/m <sup>3</sup> );                            |
| $H$       | = ketinggian air (m)                                                   |
| $P_g$     | = daya generator listrik (Watt),                                       |
| $V$       | = tegangan generator listrik (Volt),                                   |
| $I$       | = kuat arus listrik generator (Ampere).                                |
| $T_g$     | = torsi pada generator (N.m);                                          |
| $n_g$     | = putaran generator (rpm).                                             |
| $\eta_t$  | = efisiensi turbin (%)                                                 |
| $\eta_s$  | = efisiensi sistem (%)                                                 |

### DAFTAR PUSTAKA

- Dietzel, F., Sriyono, Dakso, 1993, *Turbin Pompa dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta.
- Irawan, H. dan Iskendar. (2016), Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Roda Jalan Terhadap Unjuk Kerja Turbin Air Cross flow dengan Metode Taguchi, *Jurnal Teknik Mesin UNISKA* Vol. 02 No. 01. Kalimantan.
- Khomsah Ali dan Efrita Arfah Zuliari. (2015). *Analisa Teori : Performa Turbin Cross Flow Sudu Bambu 5" sebagai Penggerak Mula Generator Induksi 3 Fasa*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III 2015, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. ISBN 978-602-98569-1-0.
- Padang, Y.A., Okariawan, I. D. K. dan Wati, M., 2014, *Analisis Variasi Jumlah Sudu Berengsel Terhadap Unjuk Kerja Turbin Cross Flow Zero Head*, *Journal of Dinamika*, Universitas Mataram, ISSN: 2088-088X, Volume 4 No. 1.
- Prasetyo, A. D. N. B., Priyo, H. A., 2016, *Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Banyak Sekat pada Sudu terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Reaksi Cossflow Poros Vertikal dengan Sudu Setengah Silinder*, *JTM*, Universitas Negeri Surabaya, Volume 04 Nomor 03, 461-468.
- Sugiri, A., (2011), *Pengaruh Jumlah Sudu Roda Jalan Terhadap Efisiensi Turbin Aliran Silang (Cross Flow)*, *Journal of Mechanical*, Universitas Bandung, Volume 2, Nomor 1.
- Ully, D.N., Bernadus, W., Purnawarman, G., 2017, *Pengaruh Pemasangan Sudu Pengarah dan Variasi Jumlah Sudu Rotor Terhadap Performance Turbin Angin Savonius Tipe L*, *Journal of Flywheel*, PNK, Volume 8, Nomor 1, p. 27-28.
- Winardi, dkk. (2004), *Pengaruh Jumlah Sudu Roda Jalan terhadap Unjuk Kerja Turbin Aliran Silang*, *Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada*. Yogyakarta.