

## Kinerja Turbin Mikrohidro Tipe Cross-Flow Kapasitas 2.700 Watt

Muhammad Firdausi <sup>1)</sup>, M. Dwi Trisno <sup>2)</sup>, Dahmir Dahlan <sup>3)</sup>

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri – ISTN <sup>1,2)</sup>

Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta 12640

Phone: 0062-21-7270092, Fax: 0062-21-7866954

e-mail; mmfirdausi@istn.ac.id <sup>1)</sup>, m.dwitris@yahoo.co.id <sup>2)</sup>

Program Studi Magister Teknik Industri, Sekolah Pascasarjana – ISTN <sup>3)</sup>

Jl. PLN Duren Tiga, Pasar Minggu, Jakarta 12760

Phone: 0062-21-79195268, Fax: 0062-31-8417659

dddkamang@yahoo.com <sup>3)</sup>

**Abstrak**---Keterbatasan pemerintah dalam memenuhi perluasan jaringan listrik sampai ke daerah terpencil menjadikan pembangkit listrik tenaga air sebagai solusi alternatif. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut telah dilakukan perancangan, pembuatan dan pemasangan Turbin Air Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Desa Palasari, Kabupaten Bogor. Turbin dirancang dengan spesifikasi mampu membangkitkan daya listrik sebesar 2.700 Watt pada putaran turbin ( $n$ ) = 214 rpm, dengan tinggi efektif air ( $H_e$ ) = 2 m dan debit aliran air ( $Q$ ) = 0,2 m<sup>3</sup>/s. Untuk mengetahui kinerja turbin telah dilakukan pengujian kinerja di lokasi pemasangan. Kinerja yang dimaksud dalam kegiatan ini adalah efisiensi turbin ( $\eta_t$ ), yaitu perbandingan antara output berupa energi mekanik turbin dan input berupa energi potensial dan kinetik zat cair yang dalam hal ini air. Pengujian dilakukan dengan mengukur debit air dan pengukuran daya turbin, kemudian dilakukan perhitungan efisiensi turbin. Pengukuran debit aliran dilakukannya dengan teknik bendungan. Daya turbin ( $N_t$ ) ditentukan dengan melakukan pengukuran torsi ( $T$ ) dan putaran ( $n$ ) pada poros. Variasi debit air diperoleh dengan mengatur bukaan pintu pada saluran masuk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kondisi Head ( $H$ ) = 2 m dan pembukaan pintu saluran masuk 100% tercatat debit aliran air ( $Q$ ) = 0,20 m<sup>3</sup>/s daya turbin ( $N_t$ ) = 2.856,14 Watt pada putaran ( $n$ ) = 1356,97 rpm, diperoleh efisiensi turbin ( $\eta_t$ ) = 72,95%.

**Kata kunci:** turbin cross-flow, head, debit, daya turbin, efisiensi turbin.

**Abstract**---Micro Hydro Power Plant can be a solution to overcome the limitations in meeting the electricity needs for remote areas. To meet these needs has been carried out the design, manufacture and installation of Micro Hydro Power Plant in the village of Palasari, Bogor. The turbine is designed to the specifications able to generate power of 2,700 watts at a turbine wheel ( $n$ ) = 214 rpm, with an effective height of water ( $H_e$ ) = 2 m and flow rates ( $Q$ ) = 0.2 m<sup>3</sup> / s. To determine the performance of turbine performance testing has been done at the installation site. The performance is meant in this activity is the efficiency of the turbine ( $\eta_t$ ), which is the ratio between the output of the turbine and the input mechanical energy in the form of potential energy and kinetic liquid in this case water. Testing is done by measuring the water discharge and turbine power measurement, and then calculated the efficiency of the turbine. The dam technique used to measure the flow rate. Turbine power ( $N_t$ ) is determined by measuring the torque ( $T$ ) and rotation ( $n$ ) to the shaft. The variations in water flow can obtain by controlling the gateway at the inlet. The results show that level of Head ( $H$ ) = 2 m and the gateway opened 100%, water flow rate ( $Q$ ) = 0.20 m<sup>3</sup>/s, turbine power ( $N_t$ ) = 2856.14 Watts and rotation ( $n$ ) = 1356.97 rpm, the turbine efficiency ( $\eta_t$ ) is = 72.95%.

**Keywords:** cross-flow turbine, head, flow, power turbine, turbine efficiency.

### 1. PENDAHULUAN

Keterbatasan pemerintah dalam memenuhi perluasan jaringan listrik sampai ke daerah terpencil menjadikan pembangkit listrik tenaga air sebagai solusi alternatif. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut telah dilakukan perancangan, pembuatan dan pemasangan Turbin Air Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Desa Palasari, Kabupaten Bogor, Propinsi Jawa Barat. Unit turbin dirancang untuk mampu dibawa dan dipindahkan

dengan mudah, mampu dipasang dan dioperasikan dengan mudah, dengan perawatan yang minimal.

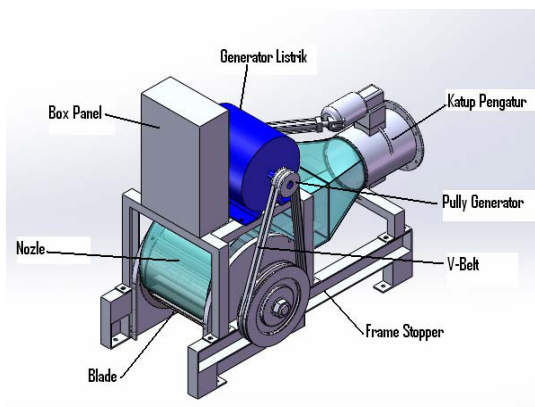
Instalasi tersebut dirancang untuk membangkitkan daya listrik sebesar 2700 Watt pada putaran 214 rpm, dengan tinggi efektif air  $H_e$  = 2 m dan debit aliran air  $Q$  = 0,2 m<sup>3</sup>. Secara skematik, instalasi tersebut dapat dilihat pada gambar-1 dan foto pada gambar-2. Bagian-bagian utama instalasi terdiri dari:

1). Sebuah kolam air, berasal dari aliran sebuah bak

- penampung air.
- 2). Sebuah *pipa pesat* yang dilengkapi dengan pintu pengatur debit aliran,
  - 3). Sebuah turbin air jenis *cross-flow*, dan
  - 4). Sebuah generator

Air yang ditampung di kolam berfungsi sebagai sumber energi potensial, yang kemudian dikonversikan menjadi energi kinetic melalui pipa pesat. Sisa terkecil energi potensial dan energi kinetic inilah yang kemudian digunakan untuk memutar turbin. Melalui sistem transmisi berupa roda turbin melalui poros turbin, daya turbin ditransmisikan ke generator untuk menghasilkan listrik.

Kegiatan ini dilakukan, untuk memvalidasi data-data diatas. Oleh sebab itu, kegiatan ini ditujukan untuk menguji kinerja instalasi tersebut. Kinerja yang dimaksud dalam kegiatan ini adalah efisiensi turbin, yaitu perbandingan antara output berupa energi mekanik turbin dan input berupa energi potensial dan kinetic zat cair yang dalam hal ini air.



Gambar-1. Diagram skematik turbin air



Gambar-2. Instalasi PLT- Mikrohidro, Palasari, Bogor

## 2. METODA

Perubahan energi potensial air menjadi energi akhir yang menggerakkan turbin secara skematik dapat dilihat seperti gambar-3, sehingga efisiensi

turbin ( $\eta_t$ ) yang sesungguhnya dapat didekati dengan hubungan :

$$\eta_t = \frac{N_t}{EP_2 + Ek_2} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

$N_t$  : Daya turbin (W)

$EP_2$  : Daya potensial air pada titik 2

$$EP_2 = mgH_2 \text{ (W)} \dots\dots\dots (2)$$

$EK_2$  : Energi kinetik air pada titik 2

$$EK_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 \text{ (W)} \dots\dots\dots (3)$$

$m$  : laju aliran massa air =  $Q \cdot \rho$  (kg/s) ..... (4)

$H_2$  : tinggi muka air di titik 2 (m)

$g$  : percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

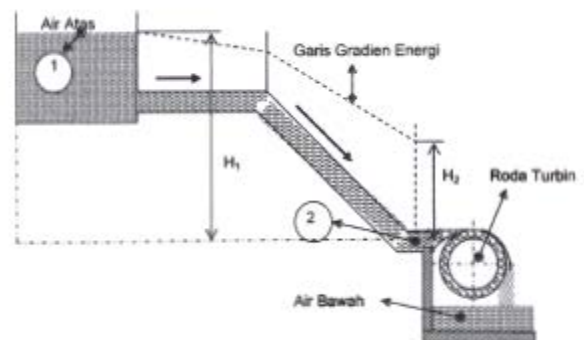
$Q$  : debit aliran air ( $m^3/s$ )

$\rho$  : massa jenis air ( $kg/m^3$ )

$V_2$  : kecepatan air di titik 2 =  $Q/A_2$  (m/s) ..... (5)

$A_2$  : Luas penampang saluran pipa pesat di titik 2 ( $m^2$ )

Persamaan-1 hanya bisa digunakan bila penampang saluran di titik 2 selalu dipenuhi oleh air, mengingat perhitungan harga kecepatan didefinisikan pada persamaan-5. Kondisi ini akan menyulitkan mengingat pada pengujian debit rendah, sangat diragukan apakah penampang 2 seluruhnya dipenuhi air atau tidak.



Gambar-3. Skematik diagram konversi energi air

Dalam hal kondisi tersebut dijumpai dalam pengujian, maka kinerja turbin ditentukan dengan hubungan:

$$\eta_t = \frac{N_t}{EP_1} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

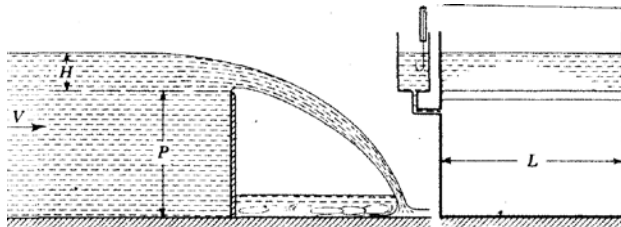
$EP_1$  : adalah daya potensial air pada titik 1

$$EP_1 = m \cdot g \cdot H_1 \dots\dots\dots (7)$$

Persamaan -6 dan 7 dapat digunakan dengan asumsi bahwa daya kinetik air pada titik 1 dan kerugian sepanjang pipa pesat (dan titik 1 s/d 2 ) dapat diabaikan.

**Pengukuran Debit Air.**

Pada instalasi yang sudah terpasang, dan disesuaikan kondisi aktual di lapangan, pengukuran debit aliran yang praktis dan mungkin dilaksanakan adalah dengan teknik bendungan seperti ditunjukkan pada gambar-4.



**Gambar-4. Pengukuran debit dengan teknik bendungan [1]**

Dengan metoda tersebut, menurut [1] besarnya debit aliran Q dapat didekati dengan hubungan :

$$Q = 1,84 LH^{3/2} \text{ (m}^3\text{/s)} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana,

L : lebar bendung (m)

H : tinggi muka air terhadap tinggi bendung (m)

**Kalibrasi Dinamometer.**

Daya turbin *Nt* ditentukan dengan melakukan pengukuran torsi *T* dan putaran *n* pada poros, sehingga daya turbin dapat dihitung:

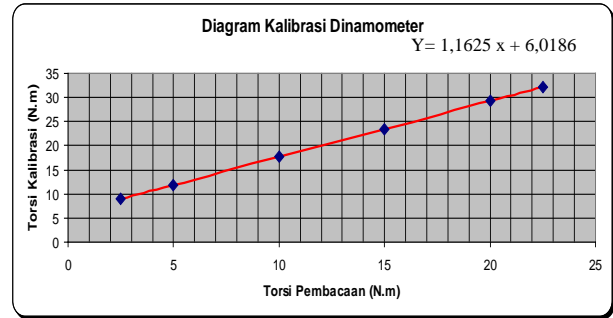
$$Nt = T \frac{2\pi n}{60} \text{ (W)} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana:

T: torsi poros (N.m)

n: putaran poros (rpm)

Dalam pengujian ini, pengukuran dilakukan pada poros yang merupakan sambungan dengan poros generator. Pengukuran torsi dilakukan dengan menggunakan *Hydraulic Dynamometer* dimana simulasi pembebanan dilakukan dengan memvariasikan debit pompa air, sedangkan putaran diukur dengan *Stroboscop*. Torsi yang dihasilkan langsung dapat dibaca pada torsimeter yang terkalibrasi. Diagram kalibrasi ditunjukkan pada gambar-5.



**Gambar-5. Diagram Kalibrasi Dinamometer**

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Data Pengujian**

Dengan mengacu pada gambar-3, data-data pengukuran pada setiap pengujian dapat dilihat pada tabel-1.

**Tabel 1. Data pengujian**

No.	Debit, Q (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>1</sub> (m)	H <sub>2</sub> (m)	Torsi, T <sub>p</sub> (N.m)	Putaran, n (rpm)	Pembukaan Katup (%)
1	0.1	2.00	0.18	6.06	733.94	25%
2	0.1	1.98	0.22	6.06	1188.4	50%
3	0.1	1.96	0.27	7.27	1192.1	75%
4	0.1	1.92	0.35	10.30	1250.9	100%
5	0.2	1.94	0.47	12.12	1356.9	100%
6	0.1	1.98	0.24	12.12	1153.3	75%

**Perhitungan Daya Input**

Berdasarkan hasil pengamatan selama pengujian, asumsi bahwa penampang saluran pada titik 2 selalu dipenuhi air dan ketelitian pengukuran H<sub>2</sub> sangat diragukan. Untuk itu sebagai daya input digunakan daya potensial air pada titik 1. Contoh perhitungan untuk pengujian No. 5:

- Laju aliran massa air,  
 $m = Q \times \rho = 0,2 \text{ (m}^3\text{/s)} \times 997,8 \text{ (kg/m}^3\text{)}$   
 $= 199,56 \text{ (kg/s)}$
- Daya potensial air,  
 $Ep_1 = m \times g \times H_1$   
 $= 199,56 \text{ (kg/s)} \times 9,81 \text{ (m/s}^2\text{)} \times 2 \text{ (m)}$   
 $= 3915,3672 \text{ (W)}$

**Perhitungan Daya Output**

Daya output adalah daya turbin yang dihitung dari hasil pengukuran torsi T<sub>p</sub> yang sudah dikalibrasi menurut gambar 5, dan putaran poros. Contoh perhitungan untuk pengujian No. 5:

- Torsi kalibrasi, T<sub>K</sub>  
 $= 1,1625 \times T_p + 6,0186$   
 $= 1.1625 \times 12,12 \text{ (N.m)} + 6,0185$   
 $= 20,11 \text{ (N.m)}$

- Daya turbin,  $N_t$   
 $= (T_k \times 2 \cdot \pi \cdot n) / 60$   
 $= (20,11 \text{ (N.m)} \times 2 \times 3.14 / 1356,97) / 60 \text{ (s}^{-1}\text{)}$   
 $= 2856.14 \text{ (W)}$

**Perhitungan Efisiensi Turbin**

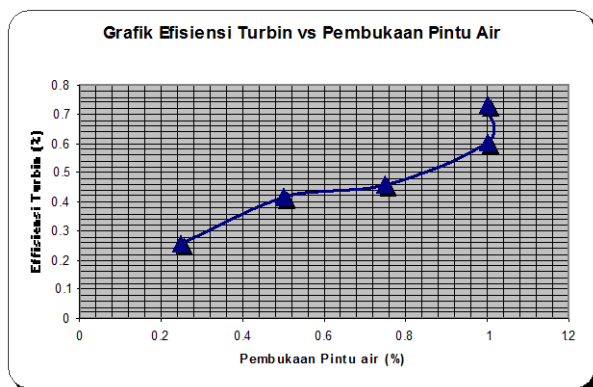
Efisiensi turbin adalah perbandingan daya output dan input  
 Contoh perhitungan untuk pengujian No. 5:

- Efisiensi turbin,  $TH$   
 $= N_t / Ep_t = 2856.14 \text{ (W)} / 3915,3672 \text{ (W)} \times 100\%$   
 $= 72.95\%$

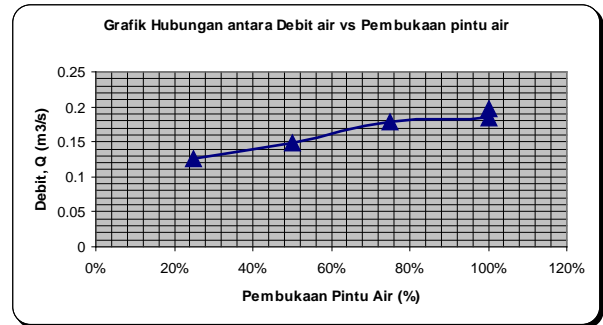
Dengan cara yang sama, hasil-hasil perhitungan untuk setiap pengujian dapat dilihat pada table-2, gambar-6 dan gambar-7.

**Tabel 2. Perhitungan hasil pengujian**

No	Pemb. Katup (%)	Debit, Q (m <sup>3</sup> /s)	H <sub>1</sub> (m)	Torsi Kal. T <sub>k</sub> (N.m)	Putaran, n(rpm)	Daya Turbin Nt.(W)	Efisiensi i (%)
1	25%	0.13	2.00	6.06	733.94	1003.57	25.63 %
2	50%	0.15	1.98	6.06	1188.48	1625.10	41.51 %
3	75%	0.18	1.96	7.27	1192.12	1805.89	46.12 %
4	100%	0.18	1.92	10.30	1250.91	2356.17	60.18 %
5	100%	0.20	1.94	12.12	1356.97	2856.14	72.95 %
6	75%	0.18	1.98	12.12	1153.33	2427.53	62.00 %



**Gambar -6. Grafik Efisiensi Turbin Hasil Pengujian**



**Gambar -7. Grafik Hubungan antara Debit vs Bukaannya saluran masuk hasil pengujian**

**Pembahasan**

Berbagai kendala di lapangan memberikan hasil pengujian yang tidak sepenuhnya memuaskan. Berikut ini beberapa penjelasan berkaitan dengan kondisi di lapangan selama proses pengujian:

**Pengukuran Debit Air**

Pengukuran debit aliran dengan teknik bendungan idealnya dilakukan pada kondisi aliran yang relatif tenang (berkembang penuh). Untuk itu letak bendungan harus cukup jauh dari keluaran turbin. Kondisi ini memerlukan kanal yang cukup panjang, yang hampir tidak mungkin dilaksanakan. Dalam kondisi seperti ini ketelitian pengukuran sangat tergantung pada ketajaman visual pengamatan.

**Pengukuran Torsi**

Pengukuran torsi pada satu seri pengujian sebaiknya dilakukan pada suatu harga kecepatan putaran dan tinggi muka air di kolam H<sub>1</sub> yang tetap, khususnya pada harga kecepatan putaran operasional (214 rpm).

Dalam pengukuran torsi banyak kendala-kendala yang dialami seperti;

- tinggi muka air di kolam H<sub>1</sub> yang fluktuatif yang berakibat pada fluktuasi harga kecepatan putaran,
- tidak tersedianya mekanisme untuk mempertahankan tinggi muka air kolam H<sub>1</sub> pada harga yang konstan,
- adanya kebocoran minor pada bendungan, sehingga permukaan air cepat menurun.
- pembukaan pintu saluran masuk dengan cara manual yang ketelitiannya cukup diragukan sehingga pengujian repetitif tidak mungkin dilakukan,

Namun demikian, dengan segala keterbatasan yang ada, hasil-hasil pengujian menunjukkan besaran-besaran yang cukup komprehensif dan *reasonable*.

**4. SIMPULAN**

Dengan variasi bukaan pintu saluran masuk

(25%, 50%, 75% dan 100%) diperoleh variasi debit air. Berdasarkan data debit air dan daya turbin yang dihasilkan, diperoleh nilai efisiensi turbin antara 25,63% (bukaan 25%) dan 72,95% (bukaan 100%).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kinerja turbin sudah baik sesuai dengan rujukan yang ada.

Setiap seri pengujian tidak bisa dilaksanakan pada harga *head* statik yang konstan, karena tidak tersedianya mekanisme pengaturan tinggi muka air di kolam. Untuk pengembangan selanjutnya perlu ditambahkan sistem pengaturan debit dan tinggi muka air pada instalasi adalah agar turbin beroperasi pada kondisi yang aman sesuai dengan kondisi desain.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Arismunandar, Wiranto, *Penggerak Mula Turbin*, ITB, Bandung 1980.
- [2]. Celso Penche, *Laymans's Handbook on How to Develop a Small Hydro Site*, U.Politécnica de Madrid, Second Edition, European Commission, June 1998.
- [3]. Dietzel, Fritz, Sriono, Dakso, *Turbin, Pompa dan Kompresor*, Erlangga., Jakarta, 1993.
- [4]. Ernes, Son, *Hutte Des Ingeniers Taschenbuch*, Verlag Von Wilhem, Berlin Germany, 1955.
- [5]. K. Meewarth, *Wassserkraft Maschinen*, Springer Verlag Berlin Heidelberg., New York, 1972. Nechleba, Miroslav, *Hydraulics Turbines Their Design and Equipment*, Artia Paragua, Chzecko- slovakia, 1957.
- [6]. Pfleiderer/Petennann, *Stromungmaschinen*, Springer Verlag Berlin Heidelberg, New York, 1972.
- [7]. Sularso., Kiyokatsu Suga., *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1991.
- [8]. Trisno, M. D., Firdausi, M., dan Dahlan, D., *Perancangan Turbin Pembangkit Tenaga Listrik Mikrohidro Tipe Cross-Flow Kapasitas 2.700 Watt*, Prosiding Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI-7) 2012, ISBN; 978-602-98109-1-2, Universitas Tarumanegara, Jakarta, 2012.
- [9]. Victor L. Streeter, E. Benjamin Wylie, dan Arko Priyono, *Mekanika Fluida*, Edisi Delapan, Jilid 2, Erlangga, 1991.