

# PENGUJIAN KARAKTERISTIK UNJUK KERJA TURBIN MIKROHIDRO DI DESA CIASMARA

Bambang Teguh P.<sup>1,2)</sup>, M. D. Trisno<sup>3)</sup> dan Joni Petot<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Balai Termodinamika, Motor dan Propulsi, BPPT., <sup>2)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin, FTI, Trisakti

<sup>3)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin, FTI, ISTN

e-mail : [Prasetyo@doctor.com](mailto:Prasetyo@doctor.com)

**ABSTRACT :** *Experimental study of performance characteristic of micro-hydro water turbine has been done in Kabupaten Bogor. In this study performance is defined as a turbine efficiency which is represented by ratio between mechanical energy provided by turbine and an available potential energy of water at a various conditions of flow. The study was limited only at several variation of water flow rate because the turbine installation is only equipped by conventional control system. Water level in the basin was measured by level water meter with the precision is around 10%, while water flow rate was measured by bridge flow meter. Mechanical energy is calculated from measurement of rotational moment and rotation of shaft. The moment was measured by calibrated hydraulic dynamometer and the shaft rotation was measured by stroboscope. Based on the test results, at the full capacity (0.305 m<sup>3</sup>/s flow rate and 3.17 m head) the turbine showed a good performance with the efficiency is around 59%.*

**Keywords:** *water turbine, micro-hydro, performance, efficiency, experimental.*

## PENDAHULUAN

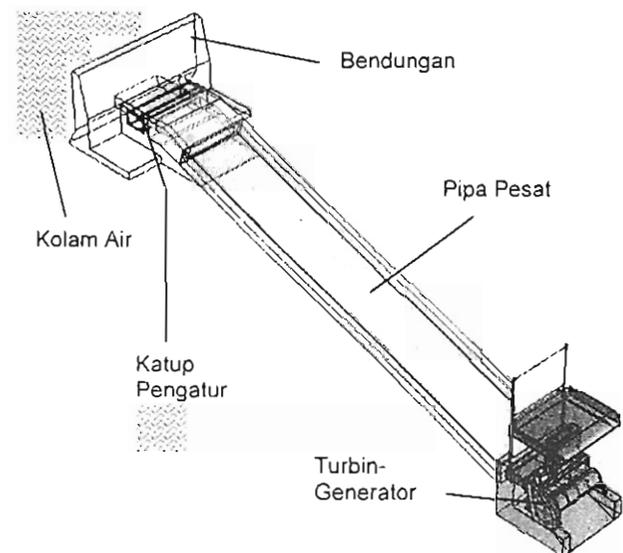
Pada tahun 2004 telah dibangun sebuah instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Mikrohidro di Desa Ciasmara, Kec. Pamijahan, Kab. Bogor oleh ISTN bekerjasama dengan PT. Nindyakarya. Instalasi tersebut dirancang untuk membangkitkan daya listrik sebesar 10 kW pada putaran 1500 rpm, dengan tinggi efektif air  $H_e = 2,5$  m dan debit aliran air  $Q = 0,6$  m<sup>3</sup>.

Secara skematik, instalasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. Bagian-bagian utama instalasi terdiri dari :

- 1). Sebuah kolam air, berasal dari aliran sebuah sungai yang dibendung,
- 2). Sebuah pipa pesat yang dilengkapi dengan katup pengatur debit aliran,
- 3.) Sebuah turbin air jenis aliran silang, dan
- 4). Sebuah generator

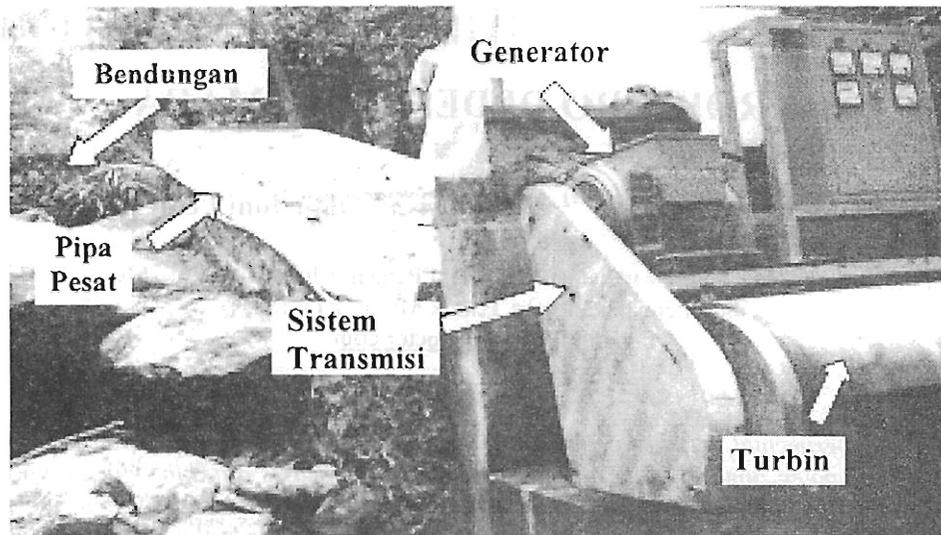
Air yang ditampung di kolam berfungsi sebagai sumber energi potensial, yang kemudian dikonversikan menjadi energi kinetik melalui pipa pesat. Sisa terkecil energi potensial dan energi kinetik inilah yang kemudian digunakan untuk memutar turbin .

Melalui sistem transmisi berupa pasangan roda gigi-rantai, daya turbin ditransmisikan ke generator untuk menghasilkan listrik.



Gambar 1. Skema instalasi PLTA mikrohidro di Desa Ciasmara

Permasalahannya adalah, hingga kegiatan ini dilakukan, instalasi tersebut belum



Gambar 2. Foto instalasi PLTA mikrohidro di Desa Ciasmara.

pernah dilakukan pengujian untuk memvalidasi data-data perancangan seperti tersebut di atas. 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 kinetik zat cair yang dalam hal ini air.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Pengertian efisiensi

Perubahan energi potensial air menjadi energi akhir yang menggerakkan turbin sesuai dengan instalasi yang diuji secara skematik dapat dilihat seperti Gambar 3, sehingga efisiensi turbin ( $\eta_t$ ) yang sesungguhnya dapat didekati dengan hubungan<sup>1,2,3)</sup>:

$$\eta_t = \frac{N_t}{\dot{E}p_2 + \dot{E}k_2} \quad (1)$$

Dimana :

$N_t$  : Daya turbin (W)

$\dot{E}p_2$  : Daya potensial air pada titik 2

$$= mgH_2 \text{ (W)} \quad (2)$$

$\dot{E}k_2$  : Energi kinetik air pada titik 2

$$= \frac{1}{2} \dot{m} v_2^2 \text{ (W)} \quad (3)$$

$$\dot{m} : \text{laju aliran massa air} \\ = Q \cdot \rho \text{ (kg/s)} \quad (4)$$

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

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

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

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

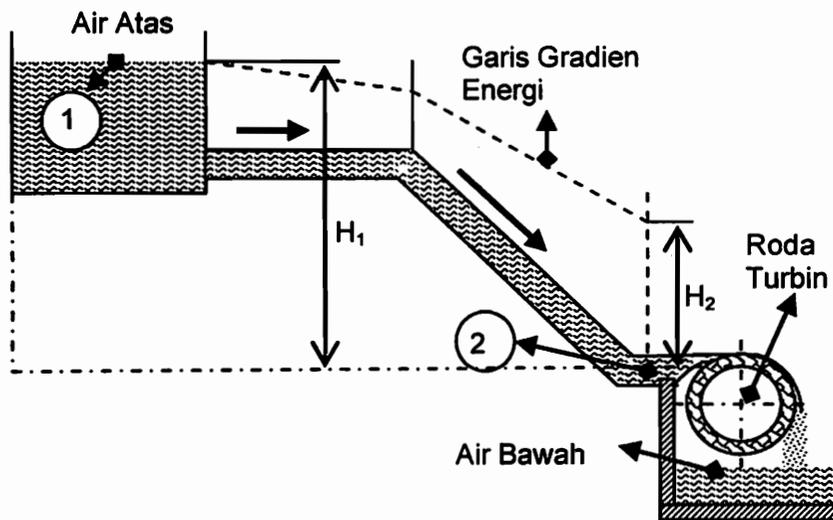
$$v_2 : \text{kecepatan air di titik 2} \\ = Q/A_2 \text{ (m/s)} \quad (5)$$

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

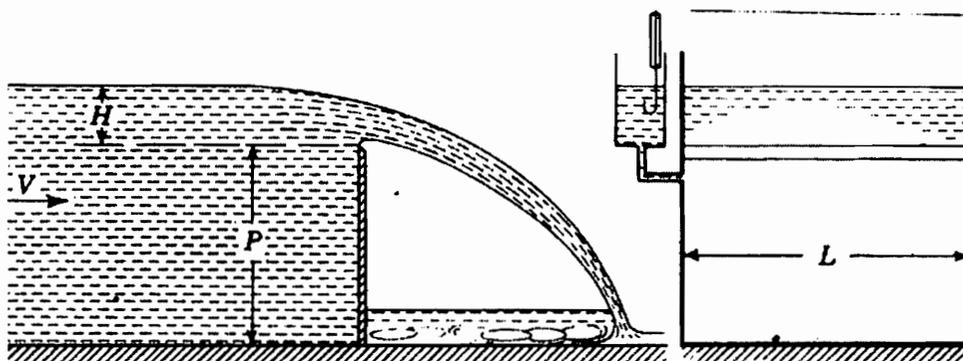
Persamaan 1 hanya bisa digunakan bila penampang saluran di titik 2 selalu dipenuhi oleh air, mengingat perhitungan harga kecepatan didefinisikan pada persamaan 5. Kondisi ini akan menyulitkan mengingat pada pengujian debit rendah, sangat diragukan apakah penampang 2 seluruhnya dipenuhi air atau tidak. Dalam hal kondisi tersebut dijumpai dalam pengujian, maka kinerja turbin ditentukan dengan hubungan<sup>1,2,3)</sup>:

$$\eta_t = \frac{N_t}{\dot{E}p_1} \quad (6)$$

Dimana,



Gambar 3. Skematik diagram konversi energi air sesuai instalasi turbin yang diuji.



Gambar 4. Pengukuran debit dengan teknik bendungan<sup>1)</sup>

$\dot{E}p_1$  : adalah daya potensial air pada titik 1  
 $= \dot{m}gH_1$  (7)

Persamaan 6 dan 7 dapat digunakan dengan asumsi bahwa daya kinetik air pada titik 1 dan kerugian sepanjang pipa pesat (dari 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. Teknik ini direalisasikan dengan membuat bendungan pada saluran air sesudah turbin sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.

Dengan metoda tersebut, menurut Victor dkk<sup>1)</sup> besarnya debit aliran  $Q$  dapat didekati dengan hubungan :

$$Q = 1,84 L H^{3/2} \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (8)$$

Dimana,

$L$  : lebar bendung (m)

$H$  : tinggi muka air terhadap tinggi bendung (m)

### Pengukuran Daya Turbin

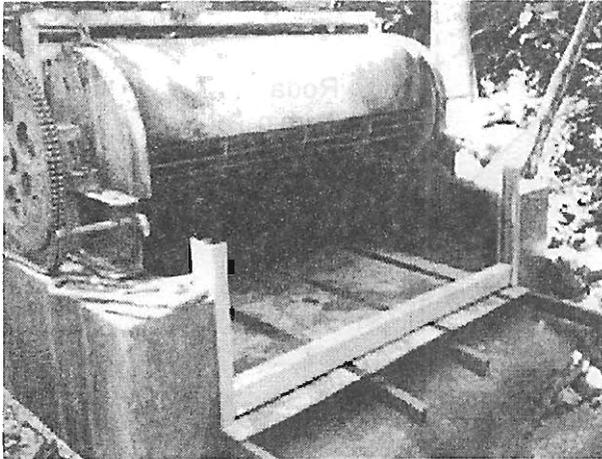
Daya turbin  $N_t$  ditentukan dengan melakukan pengukuran torsi  $T$  dan putaran  $n$  pada poros, sehingga daya turbin dapat dihitung sbb:

$$N_t = T \cdot \frac{2\pi n}{60} \text{ (W)} \quad (9)$$

Dimana :

T : torsi poros (N.m)

n : putaran poros generator (rpm)



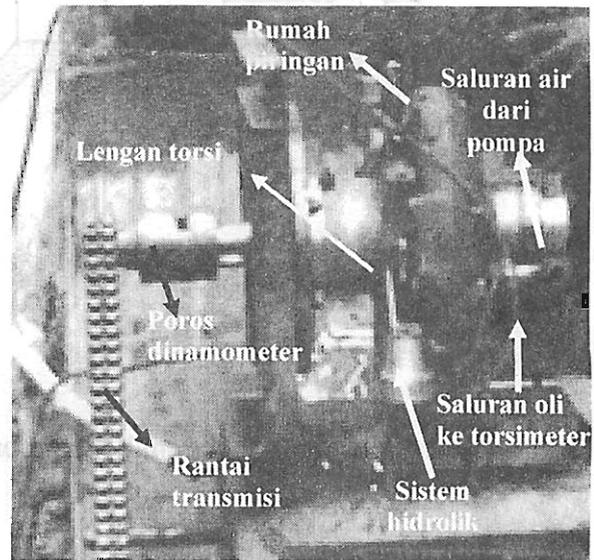
Gambar 5. Pengukuran debit dengan teknik bendungan

Instalasi PLTA ini dirancang untuk putaran turbin sebesar 1500 rpm, sedangkan putaran generator adalah 3000 rpm. Untuk itu diperlukan transmisi berupa pasangan roda gigi-rantai dengan perbandingan diameter roda gigi 2 : 1.

Dalam pengujian ini, pengukuran daya dilakukan pada poros roda gigi kecil yang merupakan sambungan dengan poros generator. Pengukuran torsi dilakukan dengan menggunakan *hydraulic dynamometer* (Gambar 6), sedangkan putaran diukur dengan *Stroboscop*.

Prinsip kerja dari dynamometer seperti Gambar 6 adalah sebagai berikut. Simulasi pembebanan dilakukan dengan memvariasikan debit pompa yang mengalirkan air ke dalam rumah yang berisi piringan. Piringan tersebut berputar bersama-sama poros dynamometer yang digerakkan oleh sistem transmisi dari turbin. Semakin besar debit air pompa yang mengalir semakin besar torsi yang dibebankan pada poros. Akibat gesekan antara piringan dengan air, lengan torsi akan bergerak searah putaran poros. Gerakan lengan tersebut ditahan oleh sistem hidrolis berupa silinder-torak yang didalamnya berisi oli. Tekanan oli yang berbanding lurus dengan besarnya torsi akan diteruskan ke torsimeter analog yang

terkalibrasi. Dengan demikian besarnya torsi yang dihasilkan langsung dapat dibaca.



Gambar 6. Instalasi dynamometer pada sistem transmisi

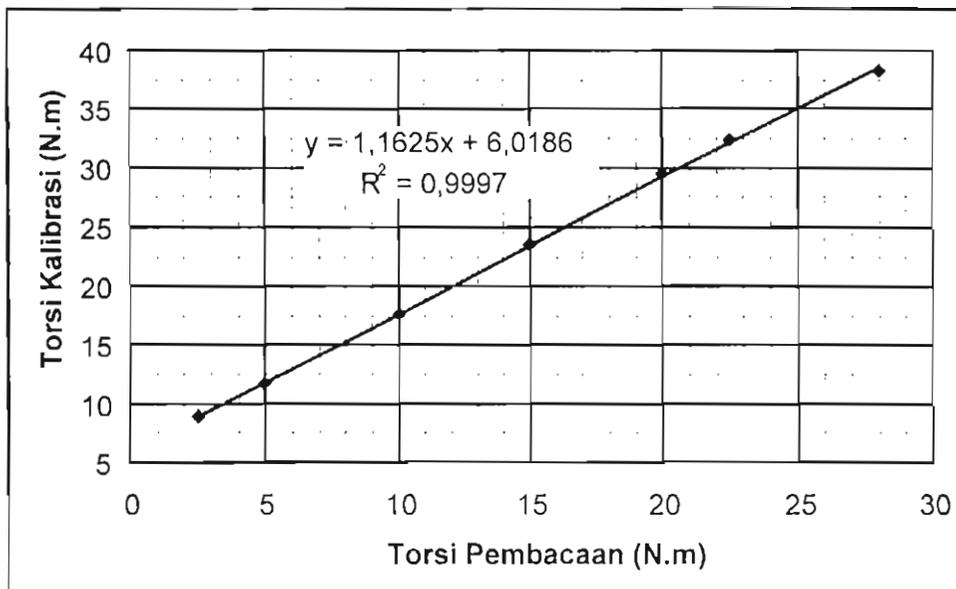
## METODOLOGI

### Untai Uji

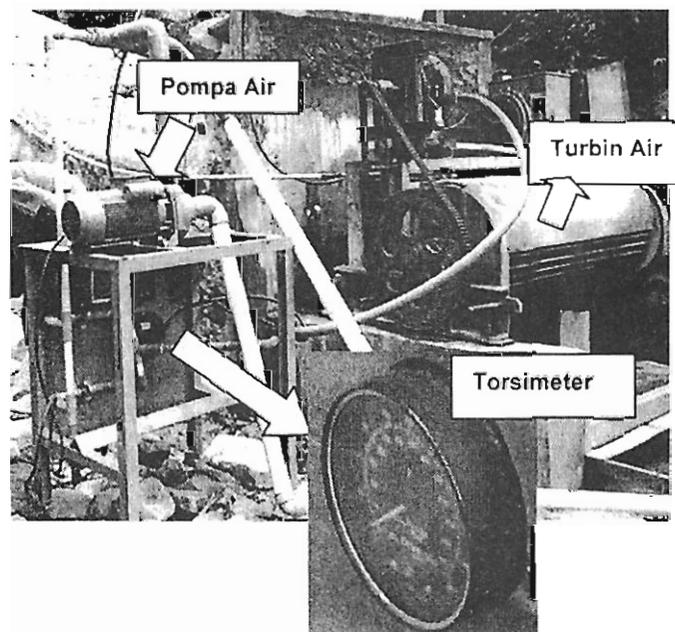
Dalam kegiatan ini, turbin yang diuji ber-skala besar dan sudah terpasang pada instalasi pembangkit listrik mikrohidro. Oleh sebab itu pengujian karakterisasi unjuk kerja turbin dilakukan langsung pada instalasi seperti ditunjukkan pada Gambar 1, 2 dan 8. Pada saat pengujian, generator dilepas dari kedudukannya dan digantikan dengan dynamometer. Poros dynamometer disambungkan langsung pada poros roda gigi kecil (Gambar 6 dan 8). Simulasi pembebanan dilakukan dengan memvariasikan debit pompa air yang mengalirkan air ke dalam dynamometer. Besarnya beban torsi yang dihasilkan langsung dapat dibaca pada torsimeter yang terkalibrasi. Diagram kalibrasi ditunjukkan pada Gambar 7. Instalasi dynamometer dan kelengkapannya dapat dilihat pada Gambar 6 dan 8.

### Pelaksanaan pengujian

Idealnya prosedur pengujian karakteristik unjuk kerja dilakukan pada kondisi tinggi air ( $H_1$ ) konstan dan debit aliran ( $Q$ ) divariasikan. Torsi pembebanan ( $T$ )



Gambar 7. Diagram kalibrasi dinamometer



Gambar 8. Instalasi dinamometer dan pompa air untuk simulasi beban

divariasikan untuk mempertahankan kondisi pengujian pada putaran ( $n$ ) konstan. Variasi debit aliran dilakukan dengan pembukaan/penutupan katup air pada pipa pesat. Sedangkan variasi torsi pembebanan dilakukan dengan memvariasikan debit air pompa yang dialirkan ke dalam dynamometer (lihat Gambar 7 dan 8).

Adapun prosedur pengujian adalah sebagai berikut

1. Buka katup air perlahan-lahan sambil memberikan pembebanan pada

dinamometer sampai diperoleh harga debit air dan putaran turbin sesuai yang dikehendaki (misal 25% pembukaan pada putaran 3000 rpm).

2. Pada kondisi tersebut, tunggu beberapa saat sampai kondisi tunak (*steady*) dicapai,
3. Lakukan pengukuran semua parameter yang diperlukan ( $H_1$ ,  $H_2$ ,  $Q$ ,  $T$ ,  $n$ ),

Ulangi prosedur a s/d c untuk harga pembukaan katup yang lain (50%, 75%, 100%),

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan mengacu pada Gambar 3, data-data pengukuran pada setiap pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

### Perhitungan Daya Input

Berdasarkan hasil pengamatan selama pengujian, asumsi bahwa penampang saluran pada titik 2 selalu dipenuhi air dan ketelitian pengukuran  $H_2$  sangat diragukan. Untuk itu sebagai daya input digunakan daya potensial air pada titik 1.

#### Contoh perhitungan untuk pengujian No. 4:

- Laju aliran massa air

$$\dot{m} = Q \times \rho = 0,305 \text{ (m}^3\text{/s)} \times 997,8 \text{ (kg/m}^3\text{)} \\ = 304,33 \text{ (kg/s)}$$

- Daya potensial air

$$\dot{E}p_1 = \dot{m} \times g \times H_1 = 304,33 \text{ (kg/s)} \times 9,81 \\ \text{(m/s}^2\text{)} \times 3,17 \text{ (m)} = 9464 \text{ (W)}$$

### Perhitungan Daya Output

Daya output adalah daya turbin yang dihitung dari hasil pengukuran torsi ( $T_p$ ) yang sudah dikalibrasi menurut Gambar 7, dan putaran poros.

#### Contoh perhitungan untuk pengujian No. 4:

- Torsi kalibrasi ( $T_k$ )

$$T_k = 1,1625 \times T_p + 6,0186 = 1,1625 \times 17 \\ \text{(N.m)} + 6,0185 = 25,78 \text{ (N.m)}$$

- Daya turbin ( $N_t$ )

$$N_t = T_k \times 2.\pi.n / 60 \\ = 25,78 \text{ (N.m)} \times 2.\pi.2064/60 \text{ (s}^{-1}\text{)} \\ = 5572,35 \text{ (W)}$$

### Perhitungan Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin adalah perbandingan daya *output* dan *input*

#### Contoh perhitungan untuk pengujian No. 4:

- Efisiensi turbin

$$\eta_t = N_t / \dot{E}p_1 = 5572,35 \text{ (W)} / 9464 \text{ (W)} \\ = 0,5888$$

Dengan cara yang sama, hasil-hasil perhitungan untuk setiap pengujian dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 9

## PEMBAHASAN

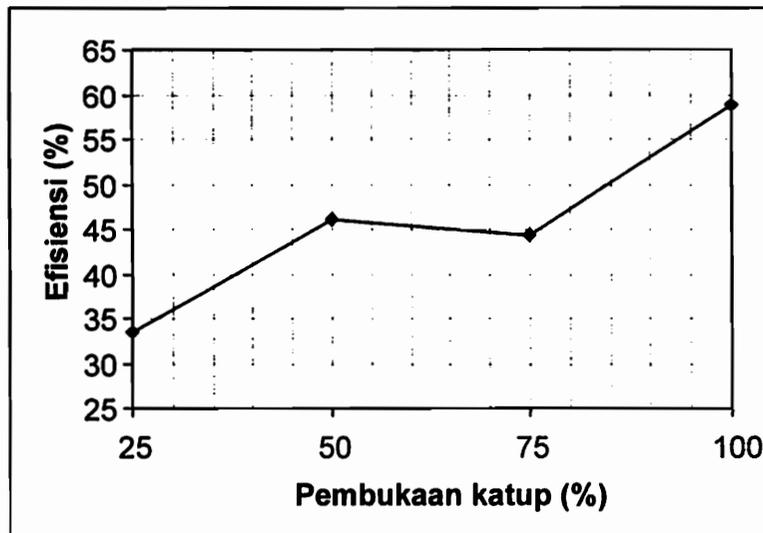
Berbagai kendala di lapangan memberikan hasil pengujian yang tidak seratus persen memuaskan. Berikut ini disampaikan beberapa penjelasan berkaitan dengan kondisi di lapangan selama proses pengujian :

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.  | 0,207                        | 3,300              | 0,29               | 10                           | 1211             | 25                  |
| 2.  | 0,246                        | 3,265              | 0,37               | 10                           | 1961             | 50                  |
| 3.  | 0,294                        | 3,235              | 0,44               | 12                           | 1967             | 75                  |
| 4.  | 0,305                        | 3,170              | 0,58               | 17                           | 2064             | 100                 |

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 N <sub>t</sub> , (W) | Efisiensi (%) |
|-----|-----------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------------|------------------|----------------------------------|---------------|
| 1.  | 25              | 0,207                        | 3,300              | 17,644                            | 1211             | 2236,35                          | 33,5          |
| 2.  | 50              | 0,246                        | 3,265              | 17,644                            | 1961             | 2637,99                          | 46,03         |
| 3.  | 75              | 0,294                        | 3,235              | 19,967                            | 1967             | 4095,45                          | 44,23         |
| 4.  | 100             | 0,305                        | 3,170              | 25,781                            | 2064             | 5572,35                          | 58,88         |



Gambar 9. Grafik efisiensi turbin hasil pengujian

### Pengukuran Debit Air

Pengukuran debit aliran dengan teknik bendungan idealnya dilakukan pada kondisi aliran yang relatif tenang (berkembang penuh). Untuk itu letak bendungan seharusnya cukup jauh dari keluaran turbin. Kondisi ini memerlukan kanal yang cukup panjang, yang hampir tidak mungkin dilaksanakan. Dalam hal dimana bendungan dekat dengan keluaran turbin (berjarak sekitar 1 m), kesulitan yang timbul adalah pengukuran tinggi muka air di atas bendungan. Kesulitan ini disebabkan oleh guncangan permukaan air yang cukup signifikan. Dalam kondisi seperti ini ketelitian pengukuran sangat tergantung pada ketajaman pengamatan visual.

### Pengukuran Torsi

Pengukuran torsi pada satu seri pengujian sebaiknya dilakukan pada suatu harga kecepatan putaran dan tinggi muka air di kolam  $H_1$  yang tetap, khususnya pada harga kecepatan putaran operasional (1500 rpm). Namun demikian, adanya kendala tidak diperolehnya tempat kedudukan dinamometer yang cukup kuat menahan torsi yang besar, terpaksa pengujian dilakukan pada harga kecepatan putaran yang relatif lebih tinggi dan bervariasi. Hal ini dilakukan untuk bisa beroperasi pada harga torsi yang relatif rendah ( $< 30$  N.m), mengingat di atas harga torsi tersebut, kedudukan dinamometer sudah mulai bergetar.

Disamping dua kendala utama seperti disebutkan di atas, masih banyak lagi kendala-kendala lain seperti ;

- tinggi muka air di kolam  $H_1$  yang fluktuatif yang berakibat pada fluktuasi harga kecepatan putaran,
- tidak tersedianya mekanisme untuk mempertahankan tinggi muka air kolam  $H_1$  pada harga yang konstan,
- adanya kebocoran minor pipa pesat saat beroperasi pada debit aliran yang besar,
- pembukaan katup aliran dengan cara manual yang ketelitiannya cukup diragukan sehingga pengujian repetitif tidak mungkin dilakukan,
- sulitnya medan untuk bisa mengakomodasi segala kebutuhan,
- dll.

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

### KESIMPULAN DAN SARAN

Telah dilakukan pengujian kinerja Turbin Air pada Pembangkit Listrik Tenaga Air Mikrohidro di Desa Ciasmara, Kecamatan Pamijahan, Kab. Bogor. Pengujian dilakukan pada berbagai variasi debit aliran sesuai dengan prosentase pembukaan katup (25, 50, 75 dan 100%). Namun demikian karena tidak tersedianya mekanisme pengaturan tinggi

muka air di kolam, setiap seri pengujian tidak bisa dilaksanakan pada harga *head* statik yang konstan. Dengan segala keterbatasan seperti tersebut di atas, pengujian telah memberikan hasil kinerja turbin yang menurut literatur<sup>4,5)</sup> sudah baik (efisiensi berkisar 33% s/d 59%).

Beberapa hal yang perlu ditambahkan dalam instalasi tersebut adalah sistem pengaturan debit dan tinggi muka air agar turbin beroperasi pada kondisi yang aman sesuai dengan kondisi desain.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan pada rekan-rekan di kelompok PKST–BTMP–BPPT dan *young engineers from ISTN* (Hanis, Zulfi dan Dimiyati); atas kolaborasinya sehingga studi ini bisa terlaksana dengan baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Victor L. Streeter, E. Benjamin Wylie, dan Arko Prijono, M.S.E., Mekanika Fluida, 1991, Edisi Delapan, Jilid 2, Erlangga.
2. Fritz Dietzel dan Dakso Sriyono, Turbin, Pompa dan Kompresor, 1980, Erlangga.
3. T. R. Banga dan S.C. Sharma, Hydraulic Machines, 1977, 2<sup>nd</sup> Edition, Khanna Publishers.
4. Celso Penche, Layman's Handbook on How to Develop a Small Hydrosite, June 1998, 2<sup>nd</sup> Edition, European Commision.
5. M. Edy Sunarto, Alex Arter dan Ueli Meier, Seri Memanfaatkan Tenaga Air dalam Skala Kecil, April 1992, Buku 2, Pedoman Rekayasa Tenaga Air.