

## UNJUKKERJA TURBIN AIR MIKRO ALIRAN SILANG TERHADAP VARIASI SUDUT SUDU JALAN (*RUNNER*) PADA DEBIT KONSTAN UNTUK PLTMH

Yusuf Dewantoro Herlambang, Gatot Suwoto, Bono

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. Sudarto, SH Tembalang Semarang Fax.(024) 7472396

E-mail : masyusufdh@yahoo.com

### Abstrak

Tujuan eksperimental turbin air mikro aliran silang dengan variasi sudut sudu adalah menyelidiki pengaruh variasi sudut sudu jalan (*runner*) pada turbin air mikro aliran silang terhadap unjukkerja turbin pada debit konstan dan sekaligus instalasi turbin mikro aliran silang tersebut untuk proses pengujian, sehingga dapat diketahui kinerja dan karakteristik dari masing-masing *runner* turbin dengan sudut sudu yang bervariasi. Variasi itu sendiri terdiri dari turbin dengan sudut sudu ( $\beta$ ) masing-masing adalah  $25^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$ , dan  $40^{\circ}$ . Metode yang digunakan dalam penelitian adalah perancangan dan pembuatan (*installing* dan *assembling*), pengujian alat, serta analisis. Turbin mikro aliran silang dengan variasi sudut sudu jalan ini memiliki dimensi yaitu diameter luar ( $D_1$ ) 135 mm, diameter dalam ( $D_2$ ) 90 mm, diameter poros ( $d_p$ ) 19 mm dan panjang sudu 76 mm. Instalasi pada turbin mikro aliran silang tersebut terdiri dari empat komponen utama yaitu air sebagai sumber energi, turbin, generator, dan sistem perpipaan. Dalam pengujian, besar debit aliran fluida yang digunakan untuk memutarakan turbin mikro aliran silang diatur dengan penggunaan variasi bukaan katup hingga didapatkan data pengujian yaitu beda tekanan pada venturi, temperatur air, tekanan masuk turbin, tekanan keluar turbin, torsi, putaran, tegangan dan arus yang dihasilkan generator. Hasil penelitian diperoleh kinerja dari turbin air mikro aliran silang dengan sudut sudu ( $\beta$ )  $30^{\circ}$  memiliki efisiensi turbin yang optimum pada debit konstan  $0,00423 \text{ m}^3/\text{s}$  yaitu 70,527% pada putaran 824 rpm saat pembebanan 725 Watt. Sementara efisiensi maksimum turbin dengan sudut sudu  $25^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$ , dan  $40^{\circ}$  berturut-turut adalah 66,126%, 64,002%, dan 66,904%.

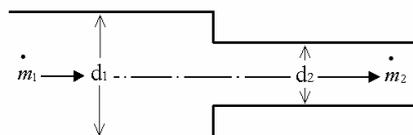
**Kata kunci :** turbin air mikro aliran silang, sudut *runner*, unjukkerja

### Pendahuluan

Potensi mikrohidro di Indonesia diperkirakan sebesar 500 MW, sementara yang telah dimanfaatkan sekitar 54 MW (Saleh, 2004). Pemanfaatan potensi tenaga mikrohidro dikenal dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Selain ramah lingkungan (tidak menghasilkan emisi), PLTMH dipilih karena secara teknologi dan investasi dapat dijangkau oleh setiap pemerintah daerah dan hasilnya pun akan dapat segera dinikmati oleh masyarakat.

Komponen utama simulator PLTMH terdiri dari generator listrik, instalasi pipa, pompa sentrifugal, reservoir, dan turbin sebagai penggerak mula. Pada umumnya jenis turbin yang sering digunakan adalah turbin aliran silang (Alex Arter dkk, 1991). Turbin jenis ini dengan variasi sudut sudu pengarah sudah dibuat oleh Agus Surono, dkk (Tugas Akhir, 2004) dan dengan variasi jumlah sudu oleh Kurnianto, dkk (Tugas Akhir, 2005). Tugas akhir ini bermaksud untuk membuat dan menguji turbin air mikro tipe aliran silang dengan variasi sudut sudu  $25^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$ , dan  $40^{\circ}$  dimana telah ditetapkan untuk sudut sudu yang paling baik adalah  $30^{\circ}$  (Arter dkk, 1991).

Jika pada suatu penampang mengalir suatu aliran fluida yang tak mampu mampat maka berlaku hukum kekekalan massa yang mana laju aliran massa fluida pada penampang 1 ( $\dot{m}_1$ ) akan sama dengan laju aliran massa fluida pada penampang 2 ( $\dot{m}_2$ ).



Gambar 1. Aliran fluida pada suatu penampang

Keterangan :

$\dot{m}_1$  dan  $\dot{m}_2$  = laju aliran massa pada penampang 1 dan 2 (kg/dt)  
 $d_1$  dan  $d_2$  = diameter penampang 1 dan 2 (m)  
 sehingga,

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2$$

Karena massa jenis air ( $\rho$ ) sama, maka didapat persamaan kontinuitas sebagai berikut :

$$Q = c A = \text{tetap} \dots\dots\dots(1)$$

Persamaan Bernoulli

Energi aliran disetiap elemen fluida yang mengalir tersusun atas tiga komponen, yaitu : energi potensial, energi kecepatan dan energi tekanan. Energi aliran sering dinyatakan dalam per berat satuan yang disebut dengan *Head*. Sehingga,

$$H_e = h + \frac{p}{\gamma} + \frac{c^2}{2g} \dots\dots\dots(2)$$

Oleh karena energi bersifat kekal, maka :

$$h + \frac{p}{\gamma} + \frac{c^2}{2g} = \text{tetap} \dots\dots\dots(3)$$

Persamaan diatas biasa disebut persamaan Bernoulli yang mana menyatakan bahwa pada sistem aliran mantap atau seimbang dengan fluida bebas gesekan tidak terjadi kehilangan energi. Perhitungan daya poros didasarkan pada (Sularso, 1991) :

- a. Daya runner
- b. Putaran yang direncanakan
- c. Bahan poros
- d. Torsi yang terjadi

Tegangan tarik ijin ( $\sigma_a$ ) :

$$\sigma_a = \frac{\sigma_b}{S_f} \dots\dots\dots(4)$$

Tegangan geser ijin ( $\tau_a$ ) :

$$\tau_a = 0,8 \times \sigma_a \dots\dots\dots(5)$$

Diameter poros dapat dihitung sebagai berikut :

$$d_p = \left[ \frac{5,1}{\tau_a} \sqrt{\{(Km M_{\max})^2 + (Kt T)^2\}} \right]^{1/3} \dots\dots\dots(6)$$

Defleksi yang terjadi pada poros :

$$\theta_p = 584 \frac{T p_p}{G (d_p)^4} \dots\dots\dots(7)$$

Daya poros ( $P_p$ )

$$P_p = \frac{2 \pi n T}{60} \dots\dots\dots(8)$$

Generator

Generator merupakan suatu mesin yang mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik. Tenaga mekanik tersebut digunakan untuk memutar kumparan kawat penghantar dalam medan magnet atau sebaliknya memutar magnet diantara kumparan kawat penghantar.

Daya generator satu fasa adalah (Sumanto, 1984):

$$P_G = V \cdot I \cdot \cos \dots\dots\dots(9)$$

Efisiensi

Efisiensi merupakan perbandingan antara daya output dengan daya input. Secara umum besarnya efisiensi dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (Zuhal, 1991) :

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100 \% \dots\dots\dots(10)$$

Sehingga efisiensi pada runner, poros, turbin, generator dan sistem PLTMH adalah sebagai berikut :

a. Efisiensi runner ( $\eta_r$ )

$$\eta_r = \frac{P_r}{P_h} \times 100 \% \dots\dots\dots(11)$$

b. Efisiensi poros ( $\eta_p$ )

$$\eta_p = \frac{P_p}{P_r} \times 100 \% \dots\dots\dots(12)$$

c. Efisiensi turbin ( $\eta_T$ )

$$\eta_T = \frac{P_p}{P_h} \times 100 \% \dots\dots\dots(13)$$

d. Efisiensi generator ( $\eta_G$ )

$$\eta_G = \frac{P_G}{P_p} \times 100 \% \dots\dots\dots(14)$$

e. Efisiensi sistem PLTMH ( $\eta_s$ )

$$\eta_s = \frac{P_G}{P_h} \times 100 \% \dots\dots\dots(15)$$

**Metodologi**

Pelaksanaan rancang bangun ini dilakukan melalui langkah-langkah sebagai berikut :

Secara teknik, pengamatan langsung dilakukan di laboratorium Teknik Energi Politeknik Negeri Semarang dengan melihat, membandingkan dan menentukan komponen-komponen yang diperlukan dari alat hasil penelitian sebelumnya. Selanjutnya melakukan survei ke pasaran untuk komponen yang akan digunakan.

a. Perancangan

Merupakan perencanaan komponen-komponen pada PLTMH seperti turbin mikro aliran silang, rangka, pompa sentrifugal, generator, instalasi pipa dan reservoir.

b. Pengerjaan dan pembuatan

Proses pengerjaan meliputi pembuatan komponen-komponen pada PLTMH seperti turbin mikro aliran silang, rumah turbin, rangka, nosel, instalasi pipa dan reservoir. Selanjutnya melakukan perakitan komponen yang digunakan menjadi instalasi pengujian sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

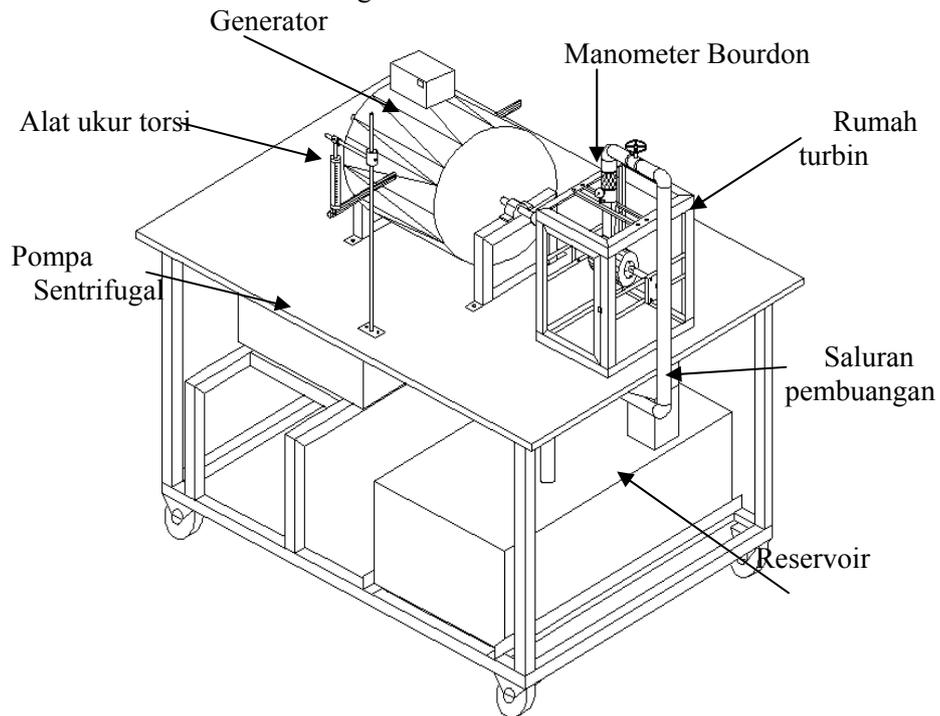
c. Pengujian

Uji yang dilakukan meliputi uji karakteristik turbin air mikro aliran silang dengan variasi sudut sudu. Hasil uji berupa grafik karakteristik runner turbin yang selanjutnya dikaji unjuk kerjanya.

d. Analisis

Data hasil pengujian kemudian diolah untuk mendapatkan debit aliran air, daya kinetik pancaran air dari nosel, daya poros, dan efisiensi turbin dan ditampilkan dalam bentuk grafik karakteristik turbin *Cross Flow* (hubungan antara putaran turbin dengan daya mekanik atau daya poros, hubungan antara putaran turbin dengan daya generator, hubungan antara efisiensi turbin dengan putaran turbin dan hubungan antara efisiensi sistem dengan putaran turbin dari masing-masing turbin dengan sudut sudu yang bervariasi).

Desain simulator PLTMH sebagai berikut :

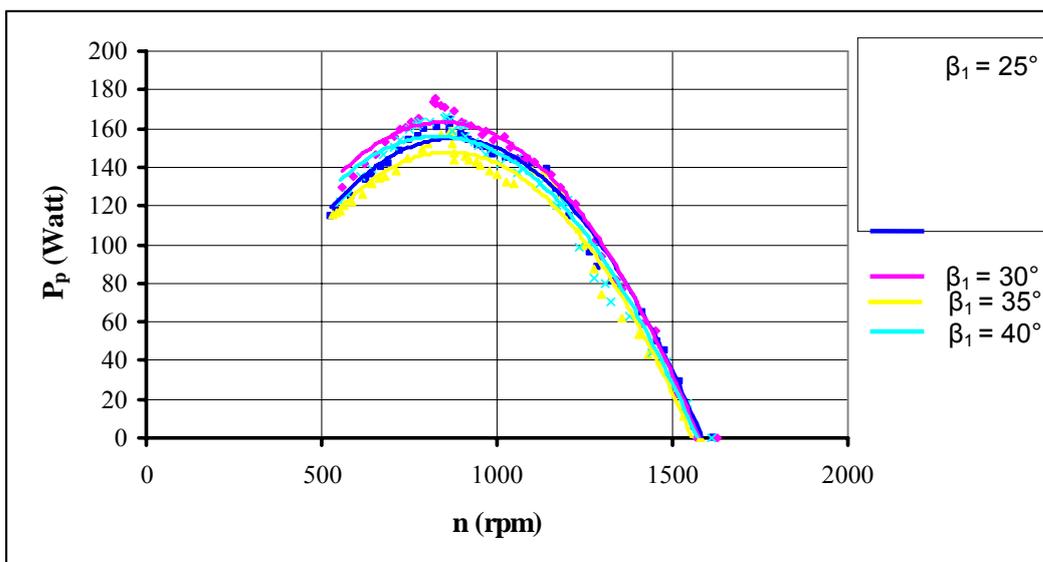


**Gambar 2.** Desain simulator PLTMH

### Hasil dan Pembahasan

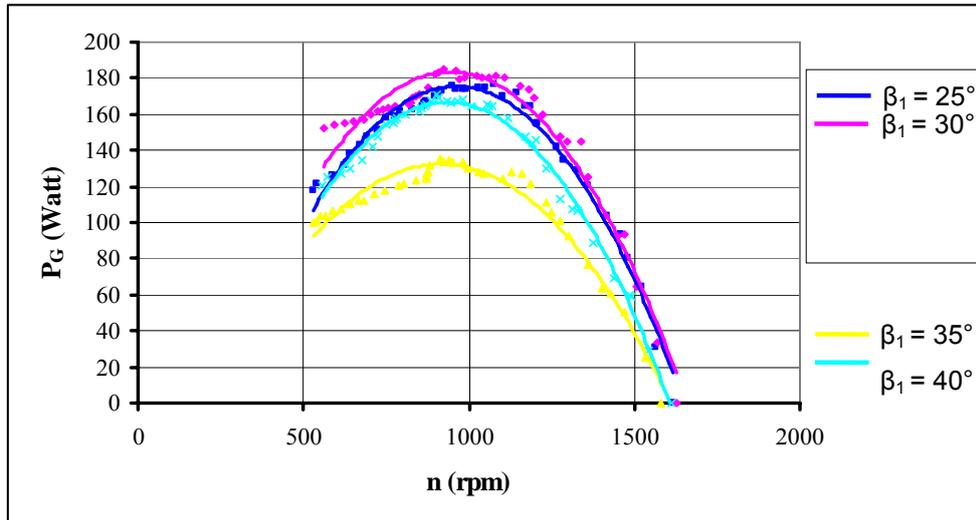
Karakteristik turbin aksial dapat diketahui melalui grafik hubungan antara putaran dengan daya mekanik, hubungan antara putaran dengan efisiensi turbin, hubungan antara debit dengan daya mekanik dan hubungan antara debit dengan efisiensi turbin dari masing-masing turbin dengan jumlah sudu yang bervariasi. Grafik yang dibuat berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian dan perhitungan.

### Hasil Analisa Data Pada Debit Konstan



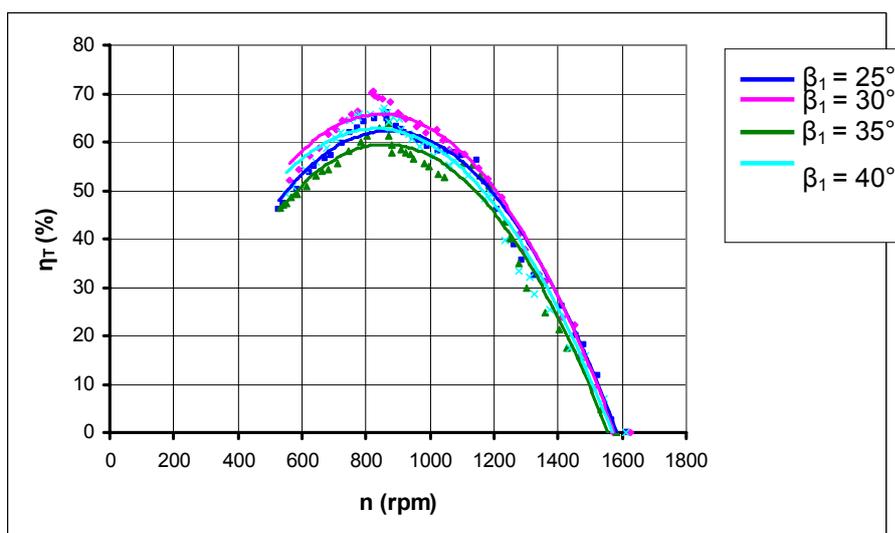
**Gambar 3.** Grafik daya poros ( $P_p$ ) terhadap putaran ( $n$ ) pada turbin mikro aliran silang sudut sudu ( $\beta_1$ )  $25^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $35^\circ$  dan  $40^\circ$

Pada grafik daya poros ( $P_p$ ) terhadap putaran turbin ( $n$ ), dapat dilihat bahwa trend kurvanya semakin naik sebanding dengan penurunan putaran turbin yang disebabkan oleh penambahan beban. Turbin dengan sudut sudu ( $\beta_1$ )  $30^\circ$  memiliki daya poros tertinggi yaitu sebesar 175,233 Watt pada putaran 824 rpm dengan pembebanan 725 Watt. Dari trend kurva daya poros diatas dapat diketahui bahwa daya poros sudah dapat mencapai titik optimum, dimana daya poros turbin mengalami penurunan setelah mencapai titik puncak.



**Gambar 4.** Grafik daya generator ( $P_G$ ) terhadap putaran ( $n$ ) pada turbin mikro aliran silang sudut sudu ( $\beta_1$ )  $25^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $35^\circ$  dan  $40^\circ$

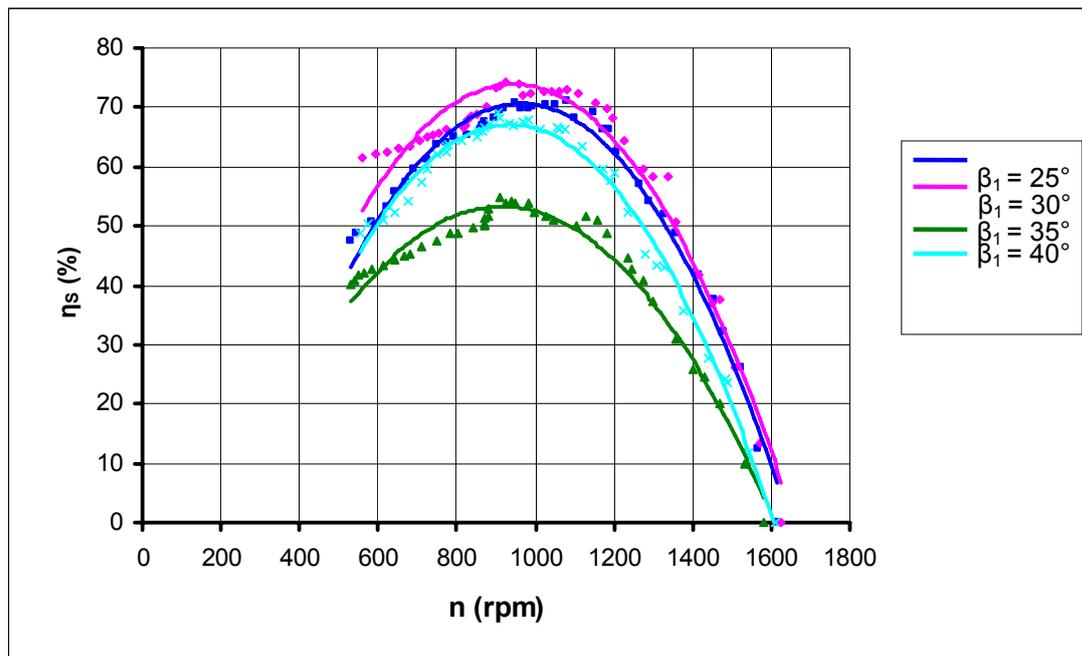
Pada grafik daya generator ( $P_G$ ) terhadap putaran turbin ( $n$ ), dapat dilihat bahwa trend kurvanya semakin naik sebanding dengan penurunan putaran turbin yang disebabkan oleh penambahan beban. Turbin dengan sudut sudu ( $\beta_1$ )  $30^\circ$  memiliki daya generator tertinggi yaitu sebesar 184,701 Watt pada putaran 923 rpm dengan beban 550 Watt. Dari trend kurva daya generator diatas dapat diketahui bahwa daya generator sudah dapat mencapai titik optimum, dimana daya generator mengalami penurunan setelah mencapai titik puncak.



**Gambar 5.** Grafik efisiensi turbin ( $\eta_T$ ) terhadap putaran ( $n$ ) pada turbin mikro aliran silang sudut sudu ( $\beta_1$ )  $25^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $35^\circ$  dan  $40^\circ$

Pada grafik efisiensi turbin ( $\eta_T$ ) terhadap putaran turbin ( $n$ ), dapat dilihat bahwa trend kurvanya semakin naik sebanding dengan penurunan putaran turbin yang disebabkan oleh penambahan beban. Turbin dengan sudut sudu ( $\beta_1$ )  $30^\circ$  memiliki efisiensi turbin tertinggi yaitu sebesar 70,527 % pada putaran 824 rpm dengan beban 725 Watt. Dari trend kurva efisiensi turbin diatas dapat diketahui bahwa efisiensi turbin sudah dapat mencapai titik optimum, dimana efisiensi turbin mengalami penurunan setelah mencapai titik puncak.

Pada grafik efisiensi sistem ( $\eta_S$ ) terhadap putaran turbin ( $n$ ), dapat dilihat bahwa trend kurvanya semakin naik sebanding dengan penurunan putaran turbin yang disebabkan oleh penambahan beban. Turbin dengan sudut sudu ( $\beta_1$ )  $30^\circ$  memiliki efisiensi sistem tertinggi yaitu sebesar 74,338 % pada putaran 923 rpm dengan beban 550 Watt. Dari trend kurva efisiensi sistem diatas dapat diketahui bahwa efisiensi sistem sudah dapat mencapai titik optimum, dimana efisiensi sistem mengalami penurunan setelah mencapai titik puncak.



**Gambar 6.** Grafik efisiensi sistem ( $\eta_S$ ) terhadap putaran ( $n$ ) pada turbin mikro aliran silang sudut sudu ( $\beta_1$ )  $25^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $35^\circ$  dan  $40^\circ$

### Kesimpulan

1. Rancang bangun ini menghasilkan turbin mikro aliran silang dengan variasi sudut sudu  $25^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $35^\circ$ , dan  $40^\circ$  dengan dimensi yaitu diameter luar ( $D_1$ ) 135 mm, diameter dalam ( $D_2$ ) 90 mm, diameter poros ( $d_p$ ) 19 mm dan panjang sudu 76 mm.
2. Pada pengujian debit konstan  $0,00423 \text{ m}^3/\text{dt}$ , turbin mikro aliran silang yang telah dibuat sudah dapat mencapai titik optimumnya. Efisiensi turbin optimum yang telah dicapai untuk turbin dengan sudut sudu ( $\beta_1$ )  $25^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $35^\circ$  dan  $40^\circ$  berturut-turut adalah 66,126 % ; 70,527 % ; 64,002 % dan 66,904 %. Dengan demikian turbin mikro aliran silang dengan sudut sudu ( $\beta_1$ )  $30^\circ$  memiliki efisiensi turbin tertinggi yaitu sebesar 70,527 % pada putaran 824 rpm saat pembebanan 725 Watt.
3. Dari pengujian debit konstan yang telah dilakukan diperoleh spesifikasi turbin sebagai berikut : Turbin mikro aliran silang sudut sudu ( $\beta_1$ )  $25^\circ$ , Efisiensi optimum pada :  $n= 865 \text{ rpm}$ ,  $Q= 0,00423 \text{ m}^3/\text{dt}$ ,  $He= 19,612 \text{ m}$ . Turbin mikro aliran silang sudut sudu ( $\beta_1$ )  $30^\circ$ , Efisiensi optimum pada :  $n= 824 \text{ rpm}$ ,  $Q= 0,00423 \text{ m}^3/\text{dt}$ ,  $He= 19,612 \text{ m}$ . Turbin mikro aliran silang sudut sudu ( $\beta_1$ )  $35^\circ$ , Efisiensi optimum pada :  $n=871 \text{ rpm}$ ,  $Q= 0,00423 \text{ m}^3/\text{dt}$ ,  $He=19,612 \text{ m}$ , Turbin mikro aliran silang sudut sudu ( $\beta_1$ )  $40^\circ$ , Efisiensi optimum pada :  $n=858 \text{ rpm}$ ,  $Q= 0,00423 \text{ m}^3/\text{dt}$ ,  $He= 19,612 \text{ m}$ .

### **Ucapan Terima Kasih**

Ucapan terima kasih kami sampaikan atas kerjasamanya kepada seluruh tim peneliti (Pak Sahid, Pak Ismin TR atas bantuannya) dan mahasiswa, serta Unit Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (UP2M) yang telah membiayai penelitian Pengembangan ini melalui dana DIPA Adm. Umum POLINES tahun 2007.

### **Daftar Pustaka**

- Arter, Alex dkk, 1991, *Pedoman Rekayasa Tenaga Air*, SKAT, Jakarta.
- Dedi K, Agustinus dkk, 2005, *Rancang Bangun Turbin Mikro Aliran Silang Melalui Variasi Jumlah Sudu Untuk Mendapatkan Efisiensi Optimum Turbin*, Politeknik Negeri Semarang, Semarang.
- Dietzel, Fritz dan Dakso Sriyono, 1988, *Turbin Pompa Dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta.
- Hartanto, N Sugiarto dan Takeshi Sato, 1996, *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sularso dan Kiyokatsu Suga, 2002, *DasarPerencanaan & Pemilihan Elemen Mesin*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sumanto , M.A. Drs, 1984, *Mesin Arus Searah*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Streeter, Victor L dkk, 1991, *Mekanika Fluida*, Erlangga, Jakarta.
- Zuhal, 1991, *Dasar Tenaga Listrik*, ITB, Bandung.