

---

# KARAKTERISASI DAYA TURBIN PELTON SUDU SETENGAH SILINDER DENGAN VARIASI PERBANDINGAN LEBAR SUDU DENGAN DIAMETER NOSEL PADA HARGA PERBANDINGAN JET SEBESAR 18

**Bono dan Gatot Suwoto**

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang  
Jl. Prof. H. Sudarto, S.H., Tembalang, Kotak Pos 6199 SMS, Semarang 50329  
Telp. 7473417, 7466420 (Hunting), Fax.7472396,  
e-mail : bno\_ba61@yahoo.co.id

## **Abstrak**

*Penelitian ini bertujuan meneliti Turbin Pelton untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dengan variasi perbandingan lebar sudu dengan diameter nosel (B/d) pada perbandingan jet, yaitu perbandingan antara diameter tusuk piringan (pitch diameter) dengan diameter nosel (D/d)=18. Turbin yang diuji memiliki nosel tunggal, dengan diameter nosel d=10 mm, jumlah sudu Z=20 buah, dan perbandingan lebar sudu dengan diameter nosel B/d sebesar 4,0; 4,2; 4,4; 4,6; 4,8; 5,0. Penelitian ini diawali dengan membuat turbin Pelton yang terdiri dari runner, rumah turbin, dan nosel. Runner turbin terdiri dari piringan dan sudu turbin berbentuk setengah silinder (pipa belah dua). Rumah turbin dilengkapi dengan nosel yang berfungsi sebagai pengarah aliran dan pembangkit jet, sedangkan runner dan noselnya dapat dibongkar-pasang pada instalasi pengujian. Parameter yang diukur dalam pengujian adalah debit aliran, tekanan pada nosel, putaran dan torsi poros turbin. Hasil penelitian terhadap masing-masing runner turbin pada head 20 m dan debit 0,001 m<sup>3</sup>/s menunjukkan bahwa sudu dengan perbandingan B/d = 4,4 menghasilkan daya mekanik dan efisiensi total terbesar dibandingkan sudu dengan perbandingan B/d yang lain, yang nilainya masing-masing adalah efisiensi maksimum 81,58 %, daya mekanik 160,06 watt, yang terjadi pada putaran 1054 rpm.*

**Kata kunci** : Pelton, sudu setengah silinder, perbandingan lebar sudu dengan diameter nosel

## **1. PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Penyediaan energi di masa depan merupakan permasalahan yang senantiasa menjadi perhatian semua bangsa karena bagaimanapun juga kesejahteraan manusia dalam kehidupan modern sangat terkait dengan jumlah dan mutu energi yang dimanfaatkan. Bagi Indonesia yang merupakan salah satu negara sedang berkembang, penyediaan energi merupakan faktor yang sangat penting dalam mendorong pembangunan. Seiring dengan meningkatnya pembangunan terutama pembangunan di sektor industri, pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penduduk, kebutuhan akan energi terus meningkat.

Energi listrik yang disediakan oleh P.T.Perusahaan Listrik Negara (PT.PLN) sampai saat ini masih belum dirasakan secara merata oleh masyarakat terutama masyarakat pedesaan yang jauh dari jangkauan jaringan listrik. Beberapa desa yang belum terjangkau listrik dari PT.Perusahaan Listrik Negara memiliki potensi mikrohidro yang belum dimanfaatkan

### **1.2. Perumusan masalah**

Sehubungan masih adanya keterbatasan energi listrik yang disediakan oleh PT.PLN, maka dirasa perlu adanya sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik, dan tersedia di lingkungan pedesaan. Salah satu sumber energi alternatif tersebut adalah mikro hidro. Turbin Pelton adalah merupakan salah satu jenis turbin yang dapat digunakan pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.

Selama ini bentuk sudu turbin Pelton yang banyak digunakan adalah bentuk mangkuk (*bucket*), dengan ukuran dan jumlah sudu tertentu, sedang bentuk yang lain jarang digunakan.

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan bentuk dan dimensi sudu terhadap daya yang dibangkitkan turbin, maka perlu dilakukan penelitian tentang perubahan bentuk dan dimensi sudu turbin Pelton terhadap kinerjanya, yang awalnya berbentuk mangkuk selanjutnya diubah menjadi bentuk setengah silinder, Pemilihan bentuk sudu setengah silinder karena

pertimbangan dalam pembuatannya relatif lebih mudah dibandingkan dengan sudu bentuk mangkuk.

### 1.3. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk membuat dan menguji kinerja Turbin Pelton mikro sudu setengah silinder dengan variasi perbandingan lebar sudu dengan diameter nosel ( $B/d$ ), sehingga didapat perbandingan lebar sudu dengan diameter nosel yang optimum.

### 1.4. Tinjauan Pustaka

Sistem mikrohidro telah dikembangkan di beberapa negara untuk memenuhi kebutuhan listrik di daerah pedalaman antara lain *Peltric Set* di Nepal, *Columbian Alternator System* di Kolombia, dan *Pico Power Pack* di Amerika. Ketiga sistem tersebut menggunakan turbin impuls sebagai penggerak (Maher and Smith, 2001).

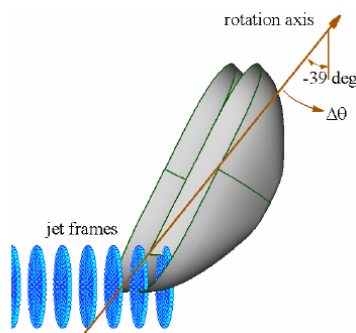
Kwalitas aliran jet yang dihasilkan oleh nosel dapat mempengaruhi kinerja turbin. Penelitian tentang hal ini dilakukan oleh Kvicinsky dkk (2002), dimana analisis aliran jet pada permukaan sudu turbin dilakukan secara numerik maupun eksperimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas aliran jet berpengaruh pada distribusi tekanan dan medan kecepatan pada permukaan sudu sehingga daya dan efisiensi turbin akan berubah.

Staubli dan Hauser (2004) memvisualisasikan aliran jet keluar nosel berpenampang lingkaran dalam berbagai bentuk divergensi dengan cara memodifikasi dalam berbagai sudut jarum governor pada nosel. Divergensi jet ternyata berpengaruh terhadap karakteristik jet pada permukaan sudu. Hasil modifikasi menunjukkan peningkatan kinerja turbin, yang berarti modifikasi geometri nosel dapat menambah kualitas aliran jet yang dihasilkan nosel.

Matthew Gass (2002), telah memodifikasi nosel dengan mengubah sudut ujung nosel dan cincin dudukan (*seat ring*). Hasil modifikasi berpengaruh pada ukuran diameter jet pada berbagai kondisi langkah jarum, sehingga menghasilkan suatu peningkatan efisiensi di atas 0.5% pada kondisi 60% beban penuh dan peningkatan sebesar 0.9% pada kondisi 100% pembukaan jarum. Pada penelitian ini bentuk nosel yang digunakan mengacu pada modifikasi nosel yang dilakukan oleh Matthew Gass.

Seith S.M., and Modi P.P.,(1991) menyarankan harga perbandingan jet ( $m = \frac{D}{d}$ ) yaitu perbandingan antara diameter piringan dengan diameter nosel, antara 11 sampai dengan 14 tergantung pada ruangan sudu, dengan harga perbandingan antara lebar sudu dengan diameter nosel berkisar antara 4 sampai dengan 5. Sedangkan menurut Finnemore and Franzini,(2006), harga perbandingan jet antara 15 sampai dengan 20.

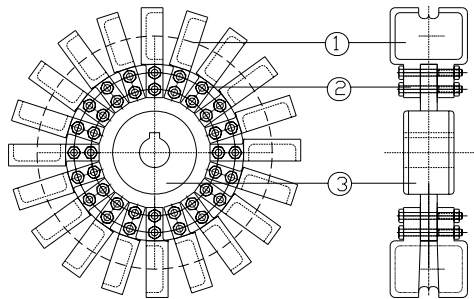
Anagnostopoulos dan Papantonis, (2006), melakukan penelitian pada turbin Pelton dengan jumlah sudu 22 buah dan diameter nosel 31 mm, tentang perancangan optimalisasi piringan secara numerik. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa kondisi beban maksimum tercapai jika pada saat interaksi antara pancaran dan sudu dimulai pada sudut sebesar  $-39^{\circ}$ , seperti terlihat pada gambar 1.



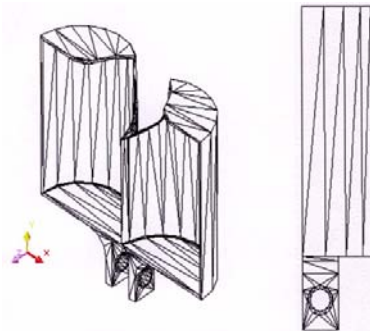
Gambar 1. Saat mulai interaksi antara pancaran dan sudu (Anagnostopoulos dan Papantonis, 2006)

Bono dkk. (2006) berhasil membuat turbin impuls memanfaatkan pipa galvanis sebagai bahan sudu. Turbin ini kemudian dikenal dengan turbin pipa belah dua. Keistimewaan turbin pipa

belah dua adalah cara pembuatan yang sangat sederhana dibanding turbin lain. Hal ini menguntungkan bagi masyarakat desa (terpencil) yang memiliki potensi energi mikrohidro. Bentuk sudu turbin pipa belah dua dapat dilihat pada gambar 3. Sudu-sudu yang terbuat dari pipa ini dapat dipasang pada piringan dan membentuk runner turbin seperti gambar 2.



Gambar 2. Roda jalan turbin Pelton dengan Sudu Bentuk Setengah Silinder (pipa belah dua), (1) sudu; (2) baut; (3) piringan



Gambar 3. Sudu turbin pipa belah dua yang dibuat Bono (2006)

### 1.5. Dasar Teori

Turbin Pelton merupakan salah satu jenis turbin air yang cocok untuk daerah yang mempunyai tinggi jatuh (*head*) yang tinggi karena bentuk kelengkungan sudu yang tajam. Secara teori pengubahan daya aliran ke daya mekanis akan maksimum jika sudut sudu keluaran adalah  $0^{\circ}$ , namun dalam prakteknya turbin Pelton dianjurkan memiliki sudut sudu keluaran  $165^{\circ}$  (Finnemore dan Franzini, 2006).

Parameter dan dimensi utama dari turbin Pelton dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

Berdasar pada dalil Torricelli, yaitu kecepatan keluar nosel sama dengan kecepatan jatuh bebas partikel fluida dari permukaan bebasnya dan dalam bentuk persamaan,

$$V_1 = C_v \sqrt{2gH} \quad (1)$$

di mana  $V_1$  adalah kecepatan pancaran dalam m/detik,  $C_v$  adalah koefisien kecepatan,  $H$  adalah tinggi tekan (*head*) dalam meter, dan  $g$  adalah gravitasi bumi dalam m/detik<sup>2</sup>.

#### Daya input, $P_i$

$$P_i = \rho g H Q \quad (2)$$

di mana  $Q$  adalah debit dalam m<sup>3</sup>/detik, dan  $\rho$  adalah massa jenis air dalam kg/m<sup>3</sup>

Daya yang dibangkitkan oleh turbin dapat ditentukan dengan menggunakan prinsip impuls momentum. pada saat pancaran air mengenai sudu, maka sudu mulai bergerak, sudu yang bergerak ini selanjutnya posisinya digantikan oleh sudu berikutnya, sehingga seolah-olah sudu selalu berada ditempat yang sama, sehingga besarnya daya turbin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$P_t = \rho Q (V_1 - u) (1 - k \cos \beta_2) u \quad (3)$$

dimana  $\beta_2$  adalah sudut pantul, dan  $k$  adalah faktor gesek permukaan sudu yang nilainya antara 0,8 sampai dengan 0,9 (Dixon, S.L., 1998).

Efisiensi piringan sudu dinyatakan dengan :

$$\eta_h = \frac{P_t}{P_i} = \frac{2(V_1 - u)(1 - k \cos \beta_2) u}{V_1^2} \quad (4)$$

Efisiensi mekanik

$$\eta_m = \frac{P_{mekanik}}{P_t}$$

$$\eta_m = \frac{P_{mekanik}}{\rho Q (V_1 - u)(1 - k \cos \beta_2) u} \quad (5)$$

### Efisiensi total

$$\eta_t = \frac{P_{mekanik}}{P_{input}} = \frac{P_{mekanik}}{\rho g h Q} \quad (6)$$

kecepatan keliling sudu ( $u$ ) pada daerah efisiensi maksimum adalah

$$u = \varphi \sqrt{2gH} \quad (7)$$

dengan harga  $\varphi$  antara 0,43 sampai dengan 0,48 (*Finnemore dan Franzini, 2006*).

Diameter rata-rata roda jalan  $D$  adalah

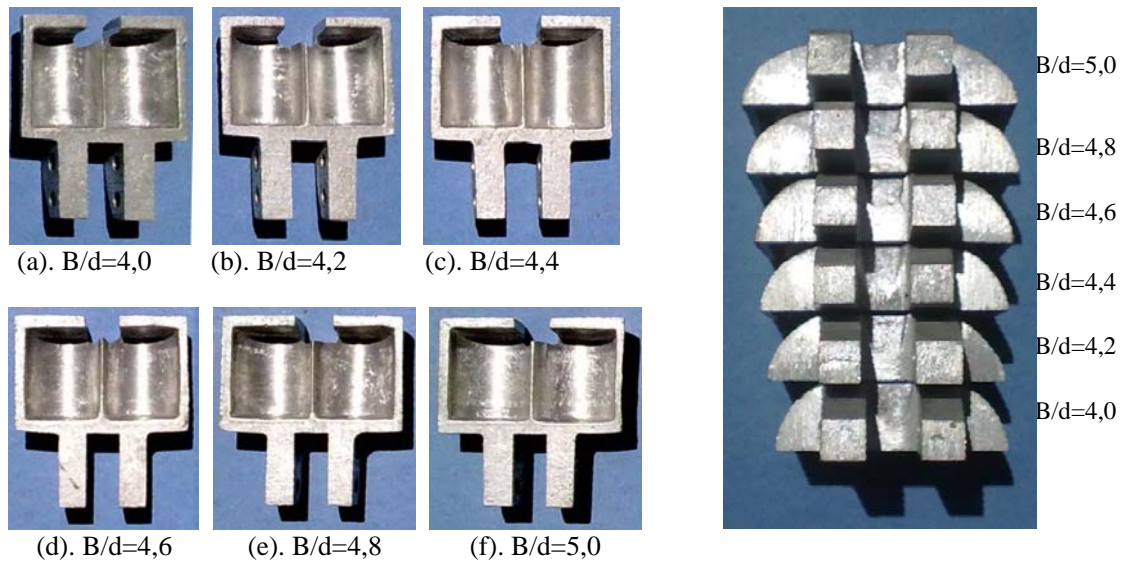
$$D = \frac{60 u}{\pi n} \quad (8)$$

Diameter nosel  $d$  dapat ditentukan dari persamaan

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi C_v \sqrt{2gH}}} \quad (9)$$

## 2. METODOLOGI

Penelitian ini diawali dengan membuat turbin Pelton yang terdiri dari runner turbin dan rumah turbin. *Runner* turbin terdiri dari piringan dan sudu turbin berbentuk setengah silinder (pipa belah dua). *Runer* yang dibuat berjumlah 6 buah dengan variasi jmlah sudu. Rumah turbin dilengkapi dengan nosel yang berfungsi sebagai pengarah aliran dan pembangkit jet, sedangkan runner dan noselnya dapat dibongkar-pasang pada instalasi pengujian. Bagian depan rumah turbin dibuat dari lembaran akrilik. Hal ini dimaksudkan agar fenomena yang terjadi di dalam runner dapat diamati.



Gambar 4. Sudu turbin Pelton dengan berbagai perbandingan ( $B/d$ )

Gambar 5. Pandangan atas, sudu dengan variasi perbandingan antara lebar sudu dengan diameter nosel ( $B/d$ )

Instalasi pengujian terdiri dari komponen utama pompa air, turbin Pelton, nosel, Generator listrik atau dinamometer, beban turbin, dan instalasi perpipaan, yang dilengkapi alat ukur pengujian meliputi manometer, rotameter, tachometer, termometer dan alat ukur torsi.

---

Pengujian yang dilakukan meliputi uji karakteristik turbin, dimana perbandingan jet dibuat sebesar 18, dengan perbandingan antara lebar sudu dengan diameter nosel ( $B/d$ ) bervariasi mulai dari 4,0; 4,2; 4,4; 4,6; 4,8; 5,0. (gambar 4 dan 5). Hasil uji berupa grafik karakteristik turbin untuk masing-masing perbandingan ( $B/d$ ). Parameter yang diukur dalam pengujian adalah debit aliran, tekanan pada nosel, putaran turbin dan torsi poros turbin.

Parameter yang ditentukan dan merupakan variabel dalam penelitian ini adalah perbandingan antara lebar sudu dengan diameter nosel ( $B/d$ ), yaitu 4,0; 4,2; 4,4; 4,6; 4,8; 5,0. Beban turbin divariasikan dan setiap variasi dilakukan pencatatan terhadap parameter-parameter di atas.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dimensi sudu yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut : lebar sudu  $B=40$  mm, 42 mm, 44 mm, 46 mm, 48 mm, 50 mm, kedalaman sudu  $C=10$  mm, lebar celah sudu  $M=12$  mm, panjang sudu  $L=28$  mm, sudut air masuk sudu  $\beta_1=5^\circ$ , sudut air keluar sudu  $\beta_2=165^\circ$ , jumlah sudu  $Z=20$  buah, sedangkan diameter nosel  $d=10$  mm. Dalam penelitian ini diameter *pitch* runner dibuat 180 mm, atau perbandingan jet ( $D/d$ )=18. Pengujian dilakukan pada head dan debit konstan sebesar 20 meter dan 60 liter/menit.

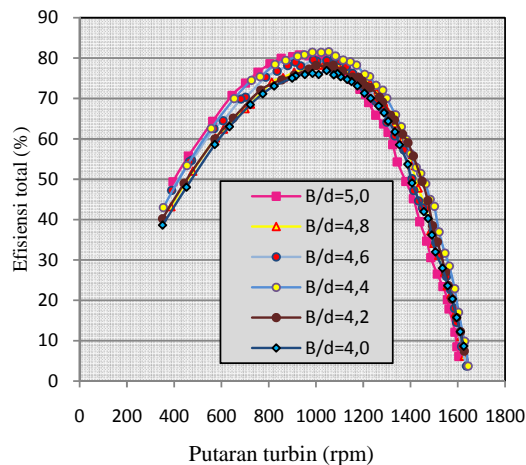
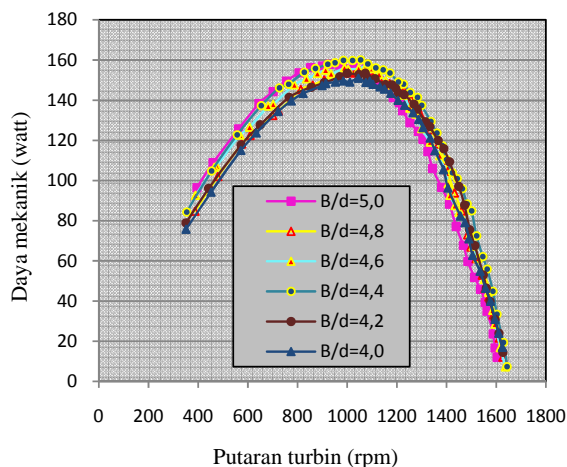
Hasil pengujian pada piringan putar dengan  $D/d=18$ , awal interaksi antara pancaran air dengan sudu mulai terjadi pada sudut  $30^\circ$  terhadap sumbu vertikal, ketika batas luar pancaran menjangkau pada sudut yang relative kecil dari ujung sudu, aliran permukaan yang dihasilkan pada awalnya diarahkan untuk celah sudu dan kaki sudu, selanjutnya pancaran semakin memotong sudu sampai sekitar  $18^\circ$  perputaran piringan, di mana pancaran yang penuh mulai menumbuk sudu pada garis pemisah (*splitter*) dan sampai pada sekitar  $30^\circ$ . Selama periode ini semua lembar aliran tersebar di seluruh permukaan mengalir menyamping dan ke arah kaki sudu dan akhirnya menjangkau batas luar saluran sudu. Pada bagian kaki sudu pancaran memantul kembali hampir secara tegak lurus karena konstruksi sudu setengah silinder. Pantulan yang berasal dari kaki sudu ini akan mengenai sudu berikutnya, yang akibatnya akan sedikit menghambat laju putaran sudu. Pada sekitar  $18^\circ$  pancaran mulai untuk interaksi dengan sudu yang berikutnya. Dengan demikian, dari awal sampai akhir interaksi antara pancaran air dengan sudu terjadi cukup panjang, yaitu selama  $60^\circ$  perputaran runner, atau dengan kata lain, sudu yang berinteraksi cukup banyak karena jarak antar sudu satu dengan sudu lainnya cukup rapat. Dampak dari kondisi tersebut, daya yang dihasilkan turbin cukup besar.

Grafik hubungan daya mekanik dan efisiensi total terhadap putaran yang dihasilkan turbin Pelton berdasarkan eksperimen pada berbagai perbandingan lebar sudu dengan diameter nosel ( $B/d$ ) dapat ditunjukkan seperti pada gambar 6 dan 7.

Daya mekanik dan efisiensi yang mampu dibangkitkan turbin nilainya bervariasi, keadaan ini dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya perbandingan ( $B/d$ ), distribusi massa air melewati sudu turbin, kekasaran permukaan dalam sudu serta bentuk dan ukuran sudu.

Pada gambar 6, dan 7 untuk berbagai perbandingan ( $B/d$ ), daya dan efisiensi yang dikembangkan turbin menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu daya dan efisiensi akan meningkat dengan bertambahnya kecepatan dan setelah mencapai titik maksimum daya dan efisiensinya menurun.

Kecenderungan ini sesuai dengan perhitungan daya secara teoritis, yaitu merupakan fungsi dari kuadrat kecepatan, sehingga kurva daya terhadap putaran merupakan garis lengkung (persamaan kuadrat). Secara teori, daya maksimum terjadi pada harga perbandingan kecepatan ( $\varphi$ ) sebesar 0,5; sedangkan secara eksperimen, daya mekanik dan efisiensi maksimum terjadi pada harga perbandingan kecepatan  $\varphi$  antara 0,45 sampai dengan 0,49.



Gambar 6. Daya mekanik terhadap putaran turbin untuk berbagai perbandingan (B/d)

Gambar 7. Efisiensi total terhadap putaran turbin untuk berbagai perbandingan (B/d)

Daya mekanik yang terbesar terjadi pada sudu dengan  $B/d=4,4$ ; yaitu sebesar 160,06 watt terjadi pada putaran turbin 1054 rpm, sedangkan daya mekanik terendah dari beberapa daya mekanik terbaik dari masing-masing sudu dengan variasi perbandingan ( $B/d$ ) adalah pada sudu dengan  $B/d=4,0$ ; yaitu sebesar 150,92 watt terjadi pada putaran 1045 rpm.

Efisiensi turbin terbaik didapatkan pada sudu dengan  $B/d=4,4$  sebesar 81,58 % pada putaran 1054 rpm, sedangkan Efisiensi turbin terendah dari beberapa efisiensi turbin terbaik dari masing-masing sudu dengan variasi perbandingan ( $B/d$ ) adalah pada sudu dengan  $B/d=4,0$  sebesar 76,92 % terjadi pada putaran 1045 rpm.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Turbin dengan runner yang mempunyai perbandingan  $B/d=4,4$ ; memberikan daya mekanik dan efisiensi terbaik.
2. Daya mekanik dan efisiensi maksimum terbesar, yang dibangkitkan turbin nilainya 160,06 watt dan 81,58 %, terjadi pada putaran 1054 rpm.
3. Beda antara daya mekanik terbesar dan terkecil pada berbagai perbandingan  $B/d$  adalah sebesar 9,14 watt atau 5,71 %.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anagnostopoulos, J.S., dan Papantonis, D.E., 2006, *A numerical methodology for design optimization of Pelton turbine runners*, HYDRO
- Bono. Gatot Suwoto. Mulyono. 2006. *Rekayasa Bentuk Sudu Turbin Pelton Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro-Hidro*. Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 3 No. 1, hal: 131-136
- Finnemore and Franzini, Tenth Edition, *Fluid Mechanics with Engineering Applications*, Mc Graw-Hill, Singapore.
- Kvicinsky S, JL Kueny, F Avellan, E Parkinson. 2002. *Experimental and Numerical Analysis of Free surface flows in A Rotating Bucket*. Proceedings of the xxi<sup>st</sup> IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems. Lausanne
- Maher P and N Smith. 2001. *Pico Hydro for Village Power*. Practical Manual for Schemes Up To 5 kw in Hilly Areas. Edition 2
- Staubli T, and HP Hauser. 2004. *Flow Visualization-Adiagnosis Tool for Pelton turbines*. IGHEM2004. Lucerne
- Seith S.M., and Modi P.P., 1991, *Hydraulics Fluid Mechanics and Fluid Machines*, Dhempat & Sons, Delhi.
- Dixon, S.L., 4<sup>th</sup> edition 1998, *Fluid Mechanics, Thermodynamics of Turbomachinery*, Pergamon Press Ltd , Butterworth-Heinemann.