

## KAJIAN EKSPERIMENTAL OPTIMASI TIPE LEKUK SUDU TURBIN PELTON SUDU BASIS KONSTRUKSI ELBOW PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO

**Sahid**

Program Studi Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Semarang  
Jl. Prof. Sudarto, SH Tembalang Semarang Fax.(024) 7472396  
HP: 08122560752, E-mail : shda@plasa.com

### Abstrak

*Tujuan penelitian ini adalah mengkaji secara eksperimental pengaruh tipe lekuk sudu pada turbin pelton basis sudu konstruksi elbow yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Tahapan penelitian yang dilakukan adalah Merancang dan membuat model-model turbin pelton dari konstruksi elbow sebagai penggerak mula pada Pembangkit listrik tenaga mikrohidro, Merancang dan membuat model Pembangkit listrik tenaga mikrohidro, dan Menyelidiki optimasi tipe lekuk sudu jalan turbin pelton terhadap unjuk kerja turbin. Parameter yang diukur dalam pengujian adalah tekanan pada nosel, putaran dan torsi poros turbin. Parameter yang ditentukan dan merupakan variabel dalam penelitian ini adalah tipe lekuk sudu dengan radius 20 mm, 40 mm, dan 60 mm. Data hasil pengujian direpresentasikan dalam bentuk grafik karakteristik turbin. Unjuk kerja masing-masing turbin dengan berbagai sudut outlet dikaji dan dibandingkan secara diskriptif. Hasil uji terhadap variasi lekuk elbow menunjukkan bahwa sudu elbow radius 60 mm mempunyai efisiensi turbin yang lebih besar dibanding sudu elbow dengan radius 40 mm dan 20 mm. Sudu elbow radius 60 mm dengan debit konstan  $0,00423 \text{ m}^3/\text{s}$  menghasilkan efisiensi turbin optimum 87,3% pada putaran 608,34 rpm. Sedangkan pengujian pada putaran konstan, didapatkan efisiensi turbin sudu elbow radius 60 mm pada putaran turbin 400 rpm adalah 78,07% pada debit  $0,004038 \text{ m}^3/\text{s}$ .*

**Kata Kunci:** Turbin Pelton, Konstruksi elbow, Lekuk sudu, Efisiensi turbin.

### Pendahuluan

Sumber energi mikrohidro dapat dimanfaatkan dengan cara mengubah energi tersebut ke dalam bentuk energi listrik melalui teknologi sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) yang terdiri dari komponen utama reservoir, turbin air, generator listrik, dan instalasi perpipaan. Turbin air merupakan penggerak mula yang mengubah energi kinetik dari jet (aliran air dengan kecepatan tinggi) menjadi energi mekanik berupa putaran roda turbin. Energi mekanik tersebut kemudian digunakan untuk memutar generator sehingga menghasilkan listrik. Turbin air yang biasa digunakan adalah jenis impuls, salah satunya adalah turbin pelton.

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).

Turbin impuls yang hingga kini masih digunakan dibuat oleh Alan Lester Pelton pada tahun 1875. turbin ini kemudian dikenal dengan turbin pelton. Turbin pelton terdiri dari roda jalan (*runner*) yang di sekelilingnya dipasang sudu berbentuk Hemispherical, dan sebuah nosel. Efisiensi turbin pelton bisa mencapai 80 persen. beberapa tahun kemudian, Michell berhasil meningkatkan efisiensi turbin pelton dengan memodifikasi bentuk sudu pelton (Bellis, 2002). Bentuk sudu dan runner turbin Pelton dapat dilihat pada Gambar 1.

Kinerja turbin dipengaruhi kualitas aliran jet yang dihasilkan oleh nosel. Kualitas aliran jet akan berpengaruh terhadap karakteristik aliran selama berinteraksi dengan permukaan sudu (*bucket*). 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

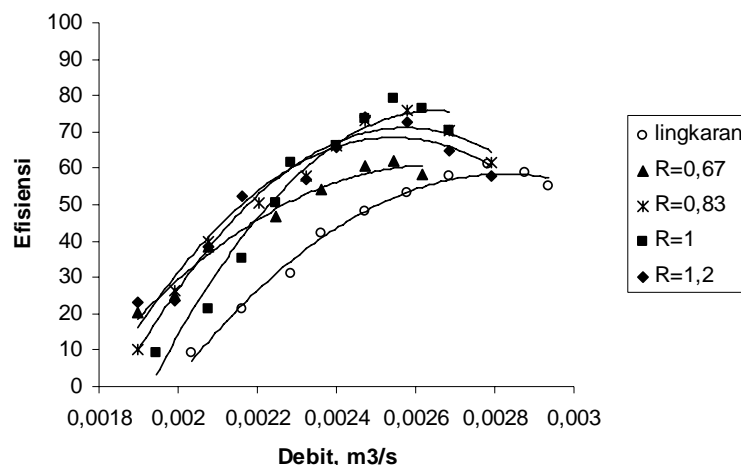
permukaan sudu. Hasil modifikasi menunjukkan peningkatan kinerja turbin, yang berarti modifikasi geometri nosel dapat menambah kualitas aliran jet yang dihasilkan nosel.



Gambar 1. sudu dan runer turbin pelton

Nonoshita dkk. (2004) meneliti perilaku aliran jet akibat perubahan laju aliran (*flow rate*) dan tinggi jatuh air (*head*). Hasil penelitian menunjukkan distribusi kecepatan aliran jet sangat tergantung dengan jumlah laju aliran dan meningkatnya head menyebabkan meningkatnya diameter jet. Penambahan diameter jet, untuk input energi yang sama menyebabkan menurunnya efisiensi turbin.

Modifikasi geometri nosel dilakukan oleh Sahid dkk. (2006) dengan mengubah bentuk penampang nosel menjadi segi empat. Penampang nosel divariasikan menurut rasio panjang dan lebar segi empat ( $R$ ), masing-masing adalah 0,67; 0,83; 1,0; dan 1,2. Hasil uji karakteristik terhadap turbin Pelton menunjukkan nosel berpenampang segi empat dengan  $R = 1,0$  memberikan efek paling baik terhadap efisiensi turbin. Efisiensi turbin meningkat 18 % jika dibanding dengan menggunakan nosel berpenampang lingkaran. Hasil uji karakteristik turbin pelton dengan nosel berpenampang segi empat dan lingkaran dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil penelitian Sahid menunjukkan bahwa perubahan penampang nosel menghasilkan kualitas jet yang lebih baik sehingga kinerja turbin meningkat. Nosel berpenampang segi empat juga telah diterapkan pada turbin michell (Sahid, 2007). Hasil uji mendukung hasil penelitian sebelumnya yaitu peningkatan kinerja pada turbin.

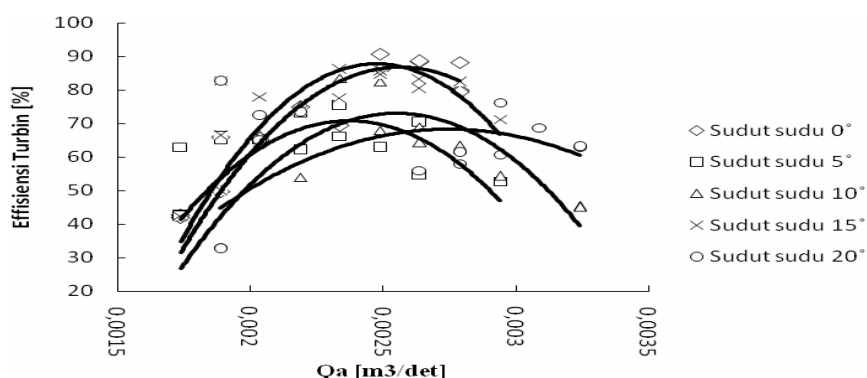


Gambar 2. Karakteristik turbin pelton dengan nosel berpenampang lingkaran dan segi empat hasil penelitian Sahid dkk. (2006)

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. Hasil pengujian terhadap turbin pipa belah dua menunjukkan efisiensi turbin ini masih rendah yaitu 40,01 %. Secara teoritis turbin pipa belah dua mestinya dapat menghasilkan efisiensi tinggi jika sudut outlet sudu  $0^{\circ}$ . Namun dalam kenyataannya jika sudu dipasang dengan sudut outlet  $0^{\circ}$  aliran jet keluar akan menumbuk sudu di depannya. Hal ini akan mengakibatkan kerugian daya.

Kajian secara eksperimental terhadap kinerja turbin pelton akibat perubahan sudut outlet sudu dilakukan oleh Sahid dkk. (2007). Hasil uji menunjukkan bahwa sudut outlet sudu mempengaruhi kinerja turbin. Penelitian juga menghasilkan sudut outlet optimum, yaitu  $5^{\circ}$ . Namun hasil yang berbeda ditunjukkan pada turbin pipa belah dua, dimana sudut outlet optimum terjadi pada  $0^{\circ}$  yaitu 90,70 % (Sahid, 2009). Hasil uji dapat dilihat pada Gambar 3.

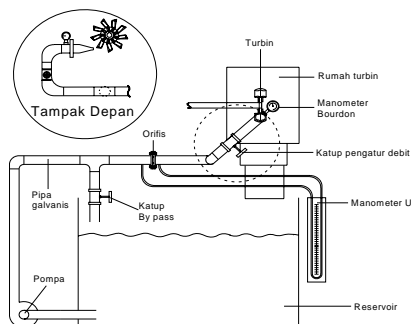
Mengacu pada hasil penelitian di atas, penelitian ini akan mengkaji secara eksperimental pengaruh tipe lekuk sudu pada turbin pelton basis sudu konstruksi elbow yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro.



Gambar 3. Hasil uji kinerja turbin pipa belah dua pada berbagai sudut outlet sudu turbin (Sahid, 2009)

## Metodologi

Tahapan penelitian yang dilakukan adalah Merancang dan membuat model-model turbin pelton dari konstruksi elbow sebagai penggerak mula pada Pembangkit listrik tenaga mikrohidro, Merancang dan membuat model Pembangkit listrik tenaga mikrohidro, dan Menyelidiki optimasi tipe lekuk sudu jalan turbin pelton terhadap unjuk kerja turbin. Parameter yang diukur dalam pengujian adalah tekanan pada nosel, putaran dan torsi poros turbin, serta tegangan dan arus listrik keluaran generator. Parameter yang ditentukan dan merupakan variabel dalam penelitian ini adalah radius lekuk sudu yaitu 20 mm, 40 mm, dan 60 mm. Data hasil pengujian diolah untuk mendapatkan debit aliran air, daya kinetik pancaran air dari nosel, daya poros dan hidrolis turbin, efisiensi turbin. Hasil pengolahan kemudian direpresentasikan dalam bentuk grafik karakteristik turbin. Unjuk kerja masing-masing turbin dengan berbagai lekuk sudu dikaji dan dibandingkan secara diskriptif.



Gambar 4. Instalasi sistem pembangkit listrik tenaga hidro kecil

## Hasil dan Pembahasan

### Model runner turbin

Runner turbin pelton pada dasarnya terdiri atas cakram dan sejumlah sudu yang terpasang disekelilingnya dengan sambungan mur- baut. Cakram dipasang pada poros dengan sambungan pasak. Sudu pelton terbuat dengan memanfaatkan konstruksi dua *elbow* dibelah dua. Bagian tengah dari kedua bentuk sudu tersebut mempunyai penyekat yang berfungsi sebagai pemecah aliran jet sehingga aliran buang setelah menumbuk sudu terbelokkan agar tidak mengganggu gerakan sudu-sudu yang lain. Dalam pemilihan bahan untuk pembuatan sudu adalah dipilih dari logam kuningan, sebab bahan ini mempunyai kelebihan yaitu tahan korosi apabila dibandingkan dengan ST 37 dan mudah dalam proses pengecoran. Pembuatan cakram dipilih dari bahan ST 37 yang mudah didapatkan di pasaran dan mudah dalam proses pengerjaan, harga juga lebih murah dan lebih kuat dibandingkan dengan kuningan. Runner turbin dapat dilihat pada Gambar 5.



*Sudu elbow radius 20 mm*



*Sudu elbow radius 40 mm*



*Sudu elbow radius 60 mm*

Gambar 5. Runner turbin pelton dengan berbagai radius lekuk sudu

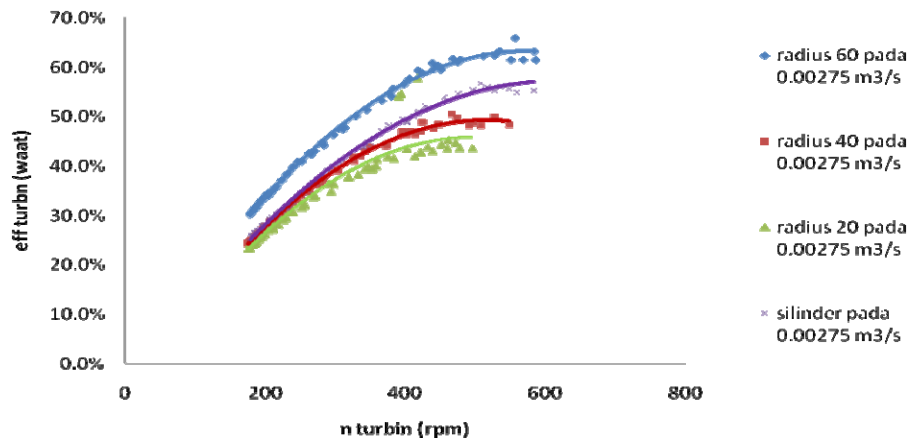
### Kajian optimasi radius lekuk sudu

Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan antara putaran turbin (rpm) dengan efisiensi turbin. Terdapat 3 kurva yang membedakan sudu elbow radius 60 mm, 40 mm, dan 20 mm. Ketiga kurva memiliki kecenderungan yang sama yaitu efisiensi turbin meningkat dengan bertambahnya putaran turbin (rpm) hingga mencapai titik optimum, kemudian turun walaupun putaran turbin (rpm) bertambah, yang artinya kenaikan putaran turbin (rpm) sebanding dengan kenaikan efisiensi turbin.

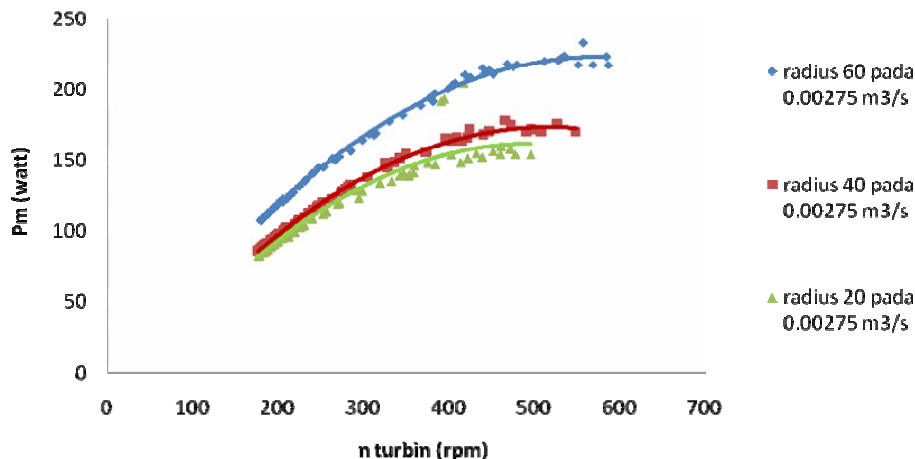
Berdasarkan kurva pada gambar 6 tersebut terlihat bahwa masing-masing runner turbin memiliki efisiensi turbin optimum yang berbeda. Runner dengan sudu elbow radius 60 mm memiliki efisiensi turbin optimum 66% pada putaran turbin 556,37 rpm; untuk runner dengan sudu elbow radius 40 mm memiliki efisiensi turbin optimum 50,5% pada putaran turbin 465,41 rpm; sedangkan runner dengan sudu elbow radius 20 mm memiliki efisiensi turbin 57,9% pada putaran turbin 416,77 rpm. Hal ini menunjukkan bahwa variasi lekuk elbow mempengaruhi besarnya efisiensi turbin pada masing-masing runner. Efisiensi turbin dari ketiga lekuk ini mengalami kenaikan sebelum mencapai nilai optimum dengan bertambahnya putaran turbin (rpm). Yang artinya jika ketiga runner dioperasikan pada putaran yang sama, maka runner dengan sudu elbow radius 60 mm mempunyai efisiensi turbin yang terbaik. Sehingga seperti yang dapat dilihat pada kurva bahwa runner dengan sudu elbow radius 60 mm mempunyai efisiensi turbin yang lebih besar dibanding runner dengan sudu elbow radius 40 mm dan 20 mm. Setelah mencapai nilai optimum, ketiga kurva mengalami penurunan efisiensi turbin dengan bertambahnya putaran.

Runner dengan sudu elbow radius 60 mm mempunyai efisiensi turbin paling tinggi dibandingkan runner dengan sudu elbow radius 40 mm dan 20 mm dikarenakan sudu elbow radius 60 mm merupakan sudu yang mempunyai lekuk terpanjang. Hal ini membuat aliran air pada sudu setelah menumbuk tidak mengalami hambatan seperti pada kedua runner yang lain. Hal ini menunjukkan semakin besar radius yang dibuat pada sudu maka efisiensi turbin akan semakin besar. Turbin pelton yang dibuat dari silinder tertutup di belah dua yang mempunyai efisiensi turbin optimum sebesar 56,1% pada debit konstan 0,00275 m<sup>3</sup>/s. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa turbin pelton yang dibuat dengan memanfaatkan konstruksi elbow di belah dua sebagai sudu dengan radius 60 mm mempunyai efisiensi turbin yang lebih besar dibandingkan dengan turbin pelton yang dibuat dari silinder tertutup di belah dua. Peningkatan efisiensi turbin berdasarkan pengujian pada debit konstan adalah 9,9%. Sedangkan untuk runner dengan sudu

elbow radius 40 mm dan 20 mm dibandingkan sudu silinder dibelah dua mengalami penurunan efisiensi turbin optimum sebesar 5,6% dan 1,8%.



Gambar 6. Grafik hubungan putaran turbin (rpm) dengan efisiensi turbin pada variasi putaran dengan debit konstan  $0,00275 \text{ m}^3/\text{s}$



Gambar 7. Grafik hubungan putaran turbin (rpm) dengan Daya Mekanik ( $P_m$ ) pada variasi putaran dengan debit konstan  $0,00275 \text{ m}^3/\text{s}$

Gambar 7 menunjukkan grafik hubungan antara putaran turbin (rpm) dengan daya mekanik. Terdapat 3 kurva yang membedakan sudu elbow radius 60 mm, 40 mm, dan 20 mm yaitu seperti yang terlihat pada kurva diatas. Ketiga kurva memiliki kecenderungan yang sama yaitu daya mekanik meningkat dengan bertambahnya putaran turbin (rpm) hingga mencapai titik optimum, kemudian turun walaupun putaran turbin (rpm) bertambah, yang artinya kenaikan putaran turbin (rpm) sebanding dengan kenaikan daya mekanik. Berdasarkan kurva tersebut terlihat bahwa masing-masing ranner turbin memiliki daya mekanik optimum yang berbeda. Ranner dengan sudu elbow radius 60 mm memiliki daya mekanik optimum 232,75 watt pada putaran turbin 556,37 rpm; untuk ranner dengan sudu elbow radius 40 mm memiliki daya mekanik optimum 175,18 watt pada putaran turbin 472,78 rpm; sedangkan ranner dengan sudu elbow radius 20 mm memiliki daya mekanik optimum 204,24 watt pada putaran turbin 416,77 rpm. Hal ini menunjukkan bahwa variasi radius elbow mempengaruhi besarnya daya mekanik pada masing-masing ranner. Daya mekanik dari ketiga lekuk ini mengalami kenaikan sebelum mencapai nilai optimum dengan bertambahnya putaran turbin (rpm). Yang artinya jika ketiga runner dioperasikan pada putaran yang sama, maka runner dengan sudu elbow radius 60 mm mempunyai daya mekanik yang terbaik. Sehingga seperti yang dapat dilihat pada kurva diatas bahwa ranner dengan sudu elbow radius 60 mm mempunyai daya mekanik yang lebih besar dibanding ranner dengan sudu

---

elbow radius 40 mm dan 20 mm. Setelah mencapai nilai optimum, ketiga kurva mengalami penurunan daya mekanik dengan bertambahnya putaran.

### **Kesimpulan**

Hasil uji terhadap variasi lekuk elbow menunjukkan bahwa sudu elbow radius 60 mm mempunyai efisiensi turbin yang lebih besar dibanding sudu elbow dengan radius 40 mm dan 20 mm. Sudu elbow radius 60 mm dengan debit konstan  $0,00423 \text{ m}^3/\text{s}$  menghasilkan efisiensi turbin optimum 87,3% pada putaran turbin 608,34 rpm. Sedangkan pengujian pada putaran konstan, didapatkan efisiensi turbin terbesar didapatkan dengan menggunakan sudu elbow radius 60 mm pada putaran turbin 400 rpm. Sudu elbow radius 60 mm memiliki efisiensi turbin optimum 78,07% pada debit aktual  $0,004038 \text{ m}^3/\text{s}$ . Efisiensi turbin sudu dengan menggunakan konstruksi elbow dengan radius 60 mm bila dibandingkan dengan sudu silinder dibelah dua sudut keluaran sudu  $0^\circ$  didapatkan peningkatan efisiensi turbin sebesar 9,9% pada debit konstan  $0,00275 \text{ m}^3/\text{s}$  dan peningkatan efisiensi turbin sebesar 15,29% pada putaran konstan 400 rpm.

### **Ucapan Terima Kasih**

Terima kasih disampaikan kepada DP2M yang telah membiayai penelitian ini melalui Program Penelitian Hibah Bersaing tahun 2009. Terima kasih juga disampaikan kepada Unit Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (UP2M) dan Laboratorium Energi Politeknik Negeri Semarang yang telah banyak membantu hingga penelitian ini selesai dilaksanakan.

### **Daftar Pustaka**

- Bellis. 2002. *Lester Allan Pelton-Water Turbines and the Beginnings of Hydroelectricity*. Inventors Journal. <http://Inventors.abuot.com/gi/dynamic/offsite.htm>
- 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
- 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
- Modi PP, & SM Seith. 1991. *Hydraulics Fluid Mechanics and Fluid Machines*. Dhempat & Sons. Delhi
- Nonoshita T K, Takahashi S, Ieko Y, Matsumoto. 2004. *Numerical Analysis of a Pelton Turbine Jet*. Proceedings of ASME/JSME Fluids Engineering Division Summer Meeting. California. <http://asme.pinetec.com/fedsm99/data/s-295/7832.html>
- Sahid, Bono, Sunarwo. 2006. Pengaruh Nosel Berpenampang Segi Empat terhadap Unjuk Kerja Turbin Pelton Mikro untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. *Forum Teknik*. Vol. 30. No. 1. Hal. 48-55
- Sahid dan Sunarwo. 2007. Optimasi Sudut outlet Sudu Turbin Pelton Sebagai Upaya Meningkatkan Kinerja Turbin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. *Jurnal Eksergi* Vol 3 nomor 1. hal 8-13.
- Sahid dan Sunarwo. 2007. Penerapan Nosel Berpenampang Segi Empat Pada Turbin Michell Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. *Jurnal Rekayasa Mesin* vol III nomor 6. hal 233-244.
- Sahid, 2009, "Optimasi Sudut Outlet Sudu Turbin Pipa Belah Dua untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro", Proseding Seminar Nasional Hasil-hasil Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat, Politeknik negeri Jakarta, Jakarta
- Staubli T, and HP Hauser. 2004. *Flow Visualization-Adiagnosis Tool for Pelton turbines*. IGHEM2004. Lucerne
- Sutisna N. 2007. *Departemen Energi Kembangkan Sistem Mikrohidro*. Tempo News Room. <http://www.tempo.co.id/hg/nusa/jawamadura/.. /brk,20040417-08,id.html>.
- Zulkarnain, Soekarno, H, Berlian A. 2004. *Sistem Piko Hidro untuk Daerah terpencil*. Majalah P3TEK, <http://www.p3tek.com/conten/publikasi/2002 /publikasi04.htm>.