

POMPA SENTRIFUGAL SEBAGAI TURBIN DENGAN PERFORMANSI HASIL PENGUJIAN LABORATORIUM UNTUK PEMBANGKIT MIKRO HIDRO

Priyono Sutikno

Lab.Mesin Fluida, Dep.Teknik Mesin, FTI ITB

RINGKASAN

Pengujian Pompa Sebagai Turbin (PST) dari pompa tipe aliran campuran dengan diameter bore 250 mm, dengan memodifikasi secara minimum pada ujung keluaran impeler pompa dapat memperbaiki efisiensi PST antara 2% hingga 6%. Modifikasi berupa pembulatan ujung impeler dengan $r = 2$ mm. Pengujian PST pada putaran 1000 rpm, mendapatkan efisiensi terbaik sebesar 82% dan daya 10 kW. Daya terbesar yang dapat dibangkitkan PST pada putaran 1000 rpm adalah 25 kW dengan efisiensi 75%. Putaran liar PST pada head 15 m berada pada kisaran 2500 rpm. PST dapat digunakan di PLTMH untuk menggantikan turbin dengan biaya yang relatif lebih ekonomis dibandingkan dengan biaya desain dan pembuatan turbin, mengingat pompa telah diproduksi secara masal dan banyak tersedia di pasaran.

ABSTRACT

Pump as Turbine (PaT) tested from mixed flow pump type with 250 mm bore diameter, and impeller tip has a minimum modification by rounded the blade, which could improve the efficiency of 2% to 6%. The modification is done by rounded the impeller tip with 2 mm radius. Tested Pump as Turbine at 1000 rpm has an efficiency about 82% and 10 kW power output. The best power produced by 250 mm bore Pump as Turbine is 25 kW at the 75% efficiency. The 15 meters head may have the runaway speed of the Pump as Turbine on asymptotic level at 2500 rpm. The pump as turbine could utilized as Micro Hydro Power driver in the low cost, compare with Francis turbine design and development cost, which is mass production of the pumps and abundant at the market.

Keyword: pump turbin, micro hydro, hydropower.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan pembangkit energi tenaga air berdaya rendah atau pemanfaatan energi head yang dikonversikan menjadi energi mekanik pada industri proses biasanya menggunakan turbin. Penggunaan pompa merupakan pilihan yang ekonomis dibandingkan menggunakan turbin. Pompa sentrifugal dapat digunakan sebagai turbin dengan membalikkan moda kerjanya. Pompa Sentrifugal yang dimaksud telah banyak tersedia dipasaran dan diproduksi dalam jumlah besar, dalam berbagai ukuran dan berbagai variasi.

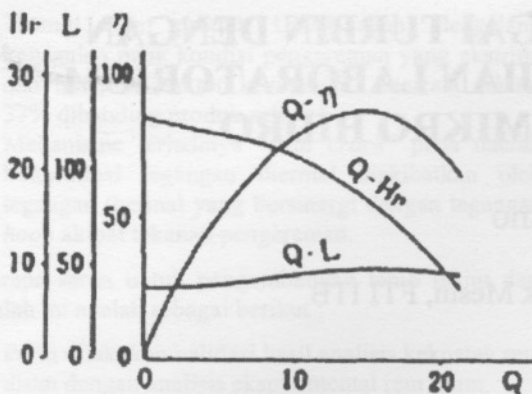
Penelitian penggunaan pompa sebagai turbin telah lama dimulai, yaitu sejak tahun 1930. Berbagai publikasi telah membahas hal ini, namun publikasi tersebut mengandung informasi yang sangat terbatas. Bertambahnya permintaan energi yang memperhatikan faktor lingkungan dan aspek ekologi dari produksi energi, menjadikan penggunaan energi hidro yang terbarukan yang menggunakan pompa merupakan salah satu sumber energi dimasa mendatang.

Pengujian telah memperlihatkan bahwa untuk pembangkitan energi dengan daya yang relatif rendah, dapat menggunakan pompa sebagai pembangkit energi.

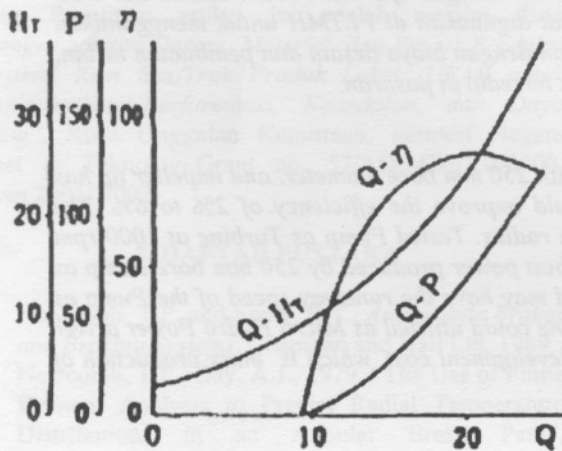
Pompa yang dihasilkan dari standar teknologi tinggi yang dioperasikan sebagai turbin dapat bersaing dengan turbin hasil desain berdasarkan efisiensi maksimum. Umumnya, pabrikan pompa memberikan karakteristik pompa pada moda operasi pemompaan, dan jarang memberikan karakteristik pada moda operasi sebagai turbin. Hal ini merupakan kesulitan dalam memilih pompa yang tepat untuk digunakan menjadi turbin dalam suatu kondisi operasi yang spesifik.

Diagram pada Gambar 1 memperlihatkan perbedaan karakteristik pompa dalam moda operasi pompa dan turbin. Pada efisiensi tertinggi laju aliran dan head di mode operasi turbin lebih tinggi, selanjutnya efisiensi maksimum hampir sama pada kedua mode operasi.

Lab Mesin-Mesin Fluida, Dept. Teknik Mesin FTI ITB bersama dengan pabrikan pompa, PT. Ebara Indonesia, telah meneliti performansi pompa yang beroperasi sebagai turbin. Modifikasi minim dilakukan pada impeller pompa untuk memperbaiki aliran masuk ke dalam impeller sebagai runner turbin. Modifikasi ini dapat menaikkan performansi mode kerja turbin air sebesar 1% sampai 6%.



(a) Performansi Pompa



(b) Performansi Turbin Air

Gambar 1. Perbandingan Performansi Pompa dan Turbin [doc LMF]

Pompa sebagai turbin membantu masyarakat membangun sistem Pembangkit Tenaga Air dengan biaya yang relatif murah. Pada kenyataannya turbin air didisain sesuai dengan potensi air yang tersedia. Turbin yang tidak didisain dan diproduksi lokal akan dibebani dengan biaya disain, penanganan purna jual, pengapalan dll. Sedangkan pompa yang berdaya moderat sampai dengan 100 kW, diproduksi secara massal dan terdapat dipasaran sehingga harganya akan lebih murah dibandingkan dengan pembuatan satu turbin.

Pompa sebagai Turbin mempunyai kelemahan yakni pompa tidak didisain untuk mempunyai *wicket gate* sebagai pengarah aliran masuk ke dalam runner turbin. Pengaturan daya dapat dilakukan secara manual dengan katup kupu kupu (*butterfly valve*). Pada pompa sebagai turbin di pembangkit listrik tenaga air, pengaturan dapat dilakukan pada sisi generator dengan menggunakan beban dummy yang diatur dengan Electronic Load Controller (ELC). Saat ini sedang dilakukan pengembangan dan pengujian ELC untuk pompa sebagai turbin di LMF.

2. POMPA SENTRIFUGAL SEBAGAI TURBIN

Seluruh pompa rotodinamik dari tipe aliran radial hingga aliran aksial dapat difungsikan sebagai turbin. Dalam operasional pompa sebagai turbin, arah aliran dan putarannya berlawanan arah operasi pompa. Untuk menghasilkan listrik digunakan motor listrik sebagai generator.

Desain yang baik dari pompa aliran radial selalu dapat dioperasikan sebagai turbin, tetapi tidak sebaliknya. Turbin yang didesain pada efisiensi tinggi tidak selalu dapat beroperasi sebagai pompa. Hal ini disebabkan oleh dua hal, yakni :

1. Desain yang optimum, biasanya memberikan sudut masuk sudu roda turbin lebih besar dari sudut keluar impeler pompa.
2. Untuk head dan kecepatan putar yang sama hasil desain optimal pompa menghasilkan diameter yang lebih besar dibandingkan diameter roda turbin.

Kedua hal tersebut akibat dari pemilihan jumlah sudu dan faktor beban sudu dalam turbin yang lebih besar dibandingkan pompa, yang mana berhubungan dengan percepatan rata rata dan perlambatan aliran di dalam roda. Demikian pula turbin dapat didesain dengan efisiensi yang lebih besar dari pompa pada kondisi operasi yang sama.

Head pompa yang dinyatakan dari persamaan Euler :

$$H_p = \frac{\eta_h (u_2 \cdot c_{u2} - u_1 \cdot c_{u1})}{g}$$

dimana u dan c_u adalah kecepatan peripheral dan kecepatan tangential rotor dan aliran; η_h adalah efisiensi hidraulik. Indeks 1 dan 2 menyatakan lokasi dimana masukan dan keluaran pada operasi pompa. Pada operasi pompa, tidak terdapat aliran rotasi awal atau $c_{u1} = 0$, yang beroperasi di daerah efisiensi terbaik. Pada keluaran impeler pompa yang difungsikan sebagai turbin, jumlah terbatas dari sudu dan hilangnya faktor beban dari sudu akan menghasilkan penyimpangan sudut aliran dari sudu keluaran sehingga menurunkan kecepatan c_{u2} dan demikian pula head yang dihasilkan.

Jika penyimpangan sudut pada keluaran diabaikan diharapkan segitiga kecepatan pada operasi turbin sama dengan segitiga kecepatan pompa, luaran dan masukan (dengan arah vector yang berlawanan) efisiensi terbaiknya seperti pada operasi pompa. Kondisi ini, tentunya tidak ada tumbukan dan pusaran dan kerugian minimum serta efisiensi hidrolis maksimum. Pemilihan pompa yang sesuai sebagai turbin untuk suatu kondisi operasi, yang perlu diketahui dengan pasti adalah hubungan antara head dan laju aliran di operasi turbin dan di operasi pompa pada efisiensi terbaik. Dari persamaan Euler Head pada operasi turbin dan pompa dapat dinyatakan oleh :

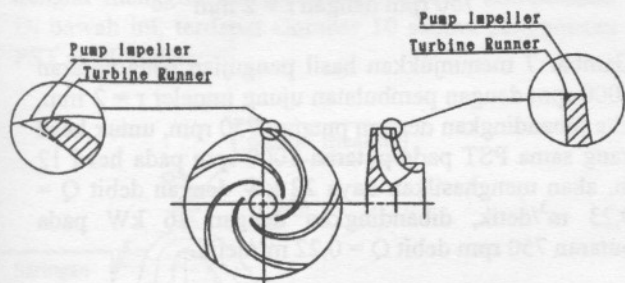
$$H_{P,em} = \frac{\eta_{h,P} (u_{2P} \cdot c_{u2P} - u_{1P} \cdot c_{u1P})}{g} \quad (2)$$

$$H_{T,em} = \frac{(u_{2,T} \cdot c_{u2T} - u_{1T} \cdot c_{u1T})}{\eta_{h,T} \cdot g} \quad (3)$$

Jika segitiga kecepatan pompa dan turbin sama dan sebangun, maka :

$$H_{P,em} = H_{T,em} \cdot \eta_{h,T} \cdot \eta_{h,P} \quad (4)$$

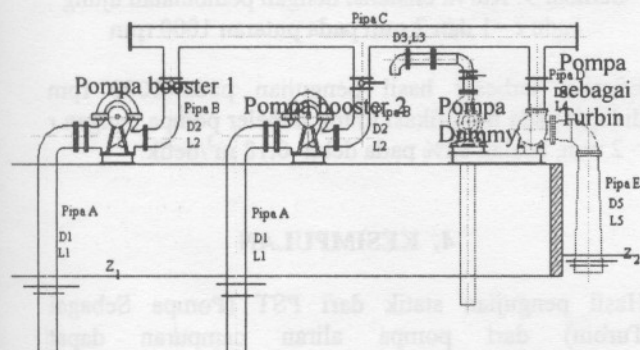
Untuk mengurangi kerugian tumbukan pada masukan turbin (keluaran pompa), ujung sudu keluaran pompa dibuat lingkaran dengan jari jari r, seperti terlihat pada Gambar 2.



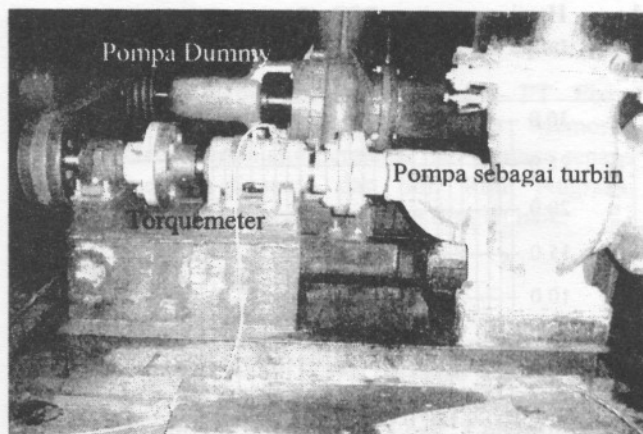
Gambar 2. Ujung sudu keluaran pompa yang dibuat lingkaran.

3. PENGUJIAN DAN HASIL

Pengujian Pompa sebagai Turbin (PST) dan pengambilan data dari pompa tipe aliran campur dilakukan di Pabrik pompa PT. EBARA INDONESIA. Pengujian menggunakan 2 pompa booster guna menghasilkan head dan laju aliran. Beban dummi menggunakan pompa seperti terlihat pada Gambar 3 dan foto instalsi di Gambar 4, memperlihatkan Pompa Sebagai Turbin beserta Instalasinya.



Gambar 3. Skema setup pengujian pompa sebagai turbin



Gambar 4. Foto Instalasi pompa sebagai turbin, torquemeter dan pompa dummy

Penggunaan pompa sebagai beban dummi memudahkan mendapatkan daerah penyerapan daya yang lebar. Untuk mendapatkan daerah penyerapan daya yang lebar, maka disediakan 5 (lima) perbandingan puli yakni 428/214; 317/214; 285/214; 214/214; 171/214. Daerah penyerapan daya tersebut antara 0,9 kW hingga 38,4 kW dalam berbagai putaran dari 429 rpm hingga 1500 rpm.

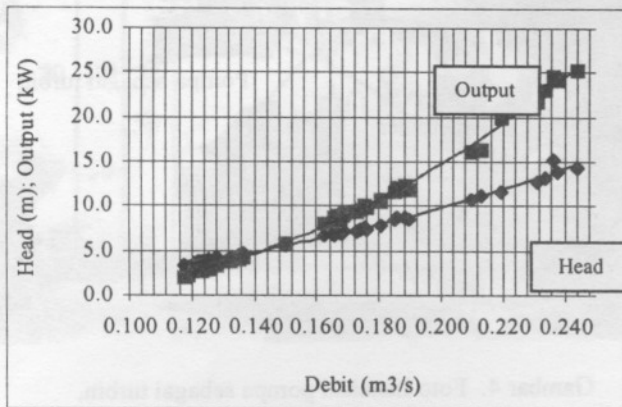
Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5, terlihat kurva Daya dan Head yang dibutuhkan Pompa Sebagai Turbin (PST) yang tanpa modifikasi dari ujung impeller pompa, pada putaran 1000 rpm. Daya yang dihasilkan berkisar antara 2,5 kW dan 25 kW dengan Head antara 4 m dan 15 m, sedangkan debit berkisar antara 0.12 m³/detik dan 0,242 m³/detik. Jika dilihat dari efisiensi di Gambar 9, tanpa modifikasi ujung impeller, efisiensi tertinggi yang didapat dari kurva adalah 78% pada debit 0,2 m³/detik.

Efisiensi PST ini, jika dibandingkan dengan efisiensi tertinggi pada mode operasi pompa terdapat perbedaan sekitar 5%. Sebelum meneliti hasil pengujian ujung impeller yang dibulatkan ujungnya, telah juga diuji putaran liar (run away speed) PST dengan head maksimum 15 m, menghasilkan putaran liar 2300 rpm. Dari hasil regresi menunjukkan bahwa grafik mempunyai asimptot di 2500 rpm dengan formulasi :

$$rpm_{liar} = (-8,05 \cdot H^2 + 257,77 \cdot H + 238,33) rpm \quad (5)$$

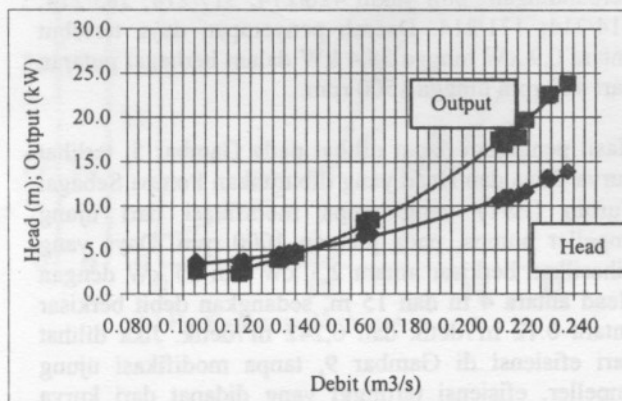
Pompa Aliran Campur Tipe SZ 250 yang dioperasikan sebagai turbin mempunyai kecepatan liar 2500 rpm. Sebagai pompa putaran 2500 rpm, masih dalam daerah kerjanya. Pada pengoperasian sebagai turbin, putaran 2500 rpm telah melampaui batas maksimum yang diperbolehkan untuk generator, maksimum putaran yang diijinkan adalah 10% dari putran rata-ratanya atau 1650 rpm.

1. Hasil pengujian PST (Pompa Sebagai Turbin) tanpa modifikasi ujung impeler pompa



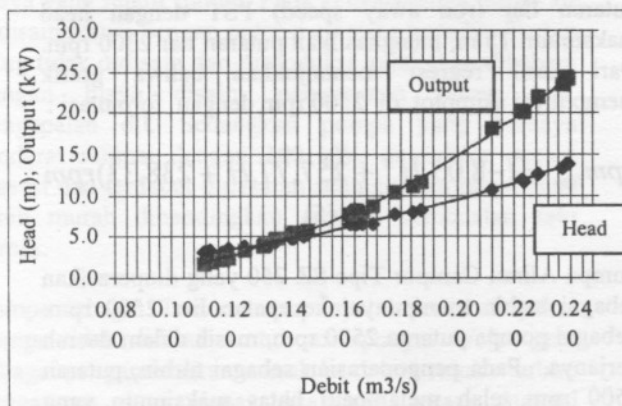
Gambar 5. Kurva head dan daya output pada putaran 1000 rpm tanpa modifikasi

2. Modifikasi ujung impeler dengan lengkungan ($r = 1 \text{ mm}$)



Gambar 6. Kurva head dan daya output pada putaran 1000 rpm, dengan $r = 1 \text{ mm}$

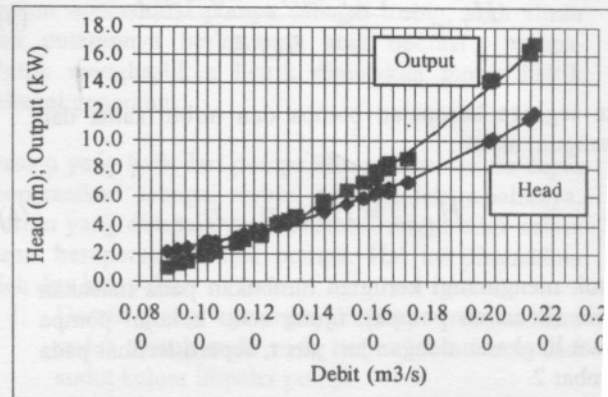
3. Modifikasi impeler dengan pembulatan di ujung sudu $r = 2 \text{ mm}$.



Gambar 7. Kurva head dan daya output pada putaran 1000 rpm, dengan $r = 2 \text{ mm}$

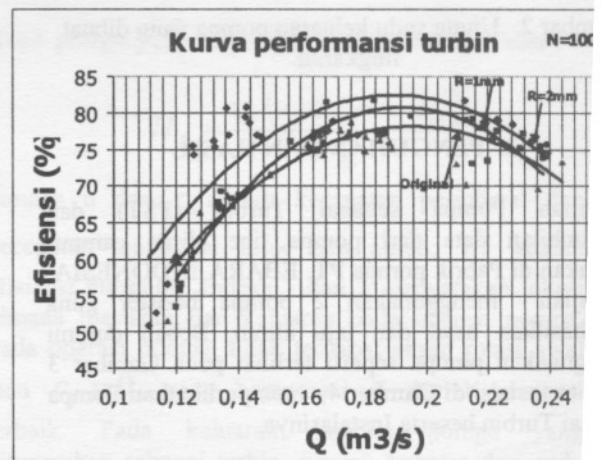
Terlihat pada Gambar 6, hasil pengujian dari impeler pompa yang dibulatkan dengan jari jari $r = 1 \text{ mm}$, daya yang dihasilkan tidak terlalu berbeda dengan tanpa modifikasi adalah berkisar antara 4,5 kW dan 35 kW

dengan Head antara 4 m dan 14,5 m, sedangkan efisiensi maksimum dari Gambar 9, terlihat 81% pada debit 0,19 m^3/det .



Gambar 8. Kurva head dan daya output pada putaran 750 rpm dengan $r = 2 \text{ mm}$

Gambar 7 menunjukkan hasil pengujian pada putaran 1000 rpm dengan pembulatan ujung impeler $r = 2 \text{ mm}$ jika dibandingkan dengan putaran 750 rpm, untuk head yang sama PST pada putaran 1000 rpm pada head 12 m, akan menghasilkan daya 22 kW dengan debit $Q = 0,23 \text{ m}^3/\text{detik}$, dibandingkan dengan 16 kW pada putaran 750 rpm debit $Q = 0,22 \text{ m}^3/\text{detik}$.



Gambar 9. Kurva efisiensi dengan pembulatan ujung sudu $r = 1$ dan 2 mm pada putaran 1000 rpm

Efisiensi terbesar hasil pengujian pada 1000 rpm didapat pada modifikasi ujung impeler pompa dengan $r = 2 \text{ mm}$, adalah 82% pada debit 0,18 m^3/detik .

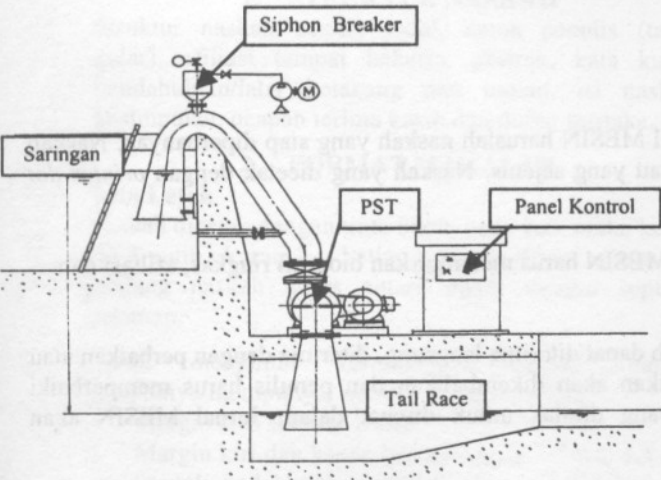
4. KESIMPULAN

Hasil pengujian statik dari PST (Pompa Sebagai Turbin) dari pompa aliran campuran dapat menghasilkan daya optimum 10 kW pada efisiensi 82%. Hal ini didapat dengan memodifikasi secara minim dari pembulatan ujung impeler keluran poros dengan jari jari 2 mm. Sedangkan daya terbesar yang dapat dihasilkan PST hasil modifikasi ini adalah sebesar 25 kW dengan efisiensi 75%. Seperti sudah

dikemukakan pada pendahuluan kenaikan efisiensi dengan pembulatan ujung impeler adalah mengurangi kerugian akibat tumbukan dan perbedaan arah aliran masuk impeler pada saat difungsikan sebagai turbin.

5. PROSPEK

Pengujian performasi PST merupakan langkah untuk penggunaan di PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) yang lebih ekonomis, dan tersedia dipasaran dalam jumlah besar. Pabrikasi dalam mendisain pompa dapat melengkapi kurva performansi pompa pada moda operasi turbin sebagai PST. Namun pada pemakaian dan implementasi lapangan, perlu adanya pengujian lanjutan terutama kefungsian dalam keadaan emergency terutama pada keadaan dinamik, misalnya pelepasan beban tiba tiba dan pengaturan yang diutamakan dari sisi listrik, dapat dilakukan dengan menggunakan pengaturan beban komplemen. Di bawah ini, terdapat Gambar 10 skema penggunaan PST di PLTMH.



Gambar 10. Skema PLTMH dengan menggunakan PST Pompa sebagai Turbin (Doc LMF)

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada PT Ebara Indonesia, EBMF (Ebara Hatakeyama Memorial Fund), dalam menunjang peralatan dan bantuan tenaga ahli, Sdr. Aris Susanto dan Sdr. Roni Nugraha, sehingga pengujian dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Priyono S. "Axial Water Turbine Coupled With Pump And Generator As Micro Hydro Power Unit Equipped By Electronic Load Controller and Pump as Dummy Load For Speed Control", FTEC 1997.
2. A. Bocazzi, R. Pallabazzer, A. Sabbit, "Pump as Turbines For Microhidropower", International Symposium On Advances In Alternative & Renewable Energy, ISAAE 1997.
3. A. Tamim, B. Stoffel, G. Ludwig. "Analysis of a Standard Pump in Reverse Operation Using CDF". International Conference of the British Pump Manufacturer, UK 1997.
4. K.R. James, "Pumps That Play Turbines", Water Engineering & Management, July 1993.
5. A.J. Stepanoff, "Centrifugal and Axial Flow Pumps", J. Wiley, 1957.