

REKAYASA BENTUK SUDU TURBIN PELTON UNTUK SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO

Bono

Prodi Teknik Konversi Energi, 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 : onobono61@yahoo.co.id

Abstrak

Pada umumnya turbin Pelton mempunyai sudu berbentuk mangkuk. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti karakteristik turbin Pelton dengan sudu berbentuk mangkuk, sudu berbentuk silinder dibelah dua, dan sudu Mitchell yang digunakan sebagai sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro-Hidro (PLTMH). Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi, perancangan, pembuatan, dan pengujian untuk mengetahui karakteristik Turbin. Turbin yang diuji memiliki nosel tunggal, dengan diameter nosel $d=20$ mm, dengan jumlah sudu $Z=13$ buah. Parameter yang diukur dalam pengujian adalah debit aliran, tekanan pada nosel, putaran dan torsi poros turbin, serta arus dan tegangan generator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudu Mangkok menghasilkan daya mekani sebesar $P_m=415,5$ Watt, sedangkan untuk sudu Mitchell daya mekani yang dihasilkan adalah $P_m=367,69$ Watt, serta pada sudu Silinder dibelah Dua daya mekanik yang dihasilkan adalah $P_m=343,85$ watt. Sedangkan untuk efisiensi sistem, nilai tertinggi diperoleh pada sudu mangkuk yaitu 29,08%, sudu Mitchell 27 %, dan sudu silinder dibelah dua, sebesar 26,56 %. Dengan demikian sudu berbentuk Mangkuk lebih efisien digunakan untuk PLMH.

Kata Kunci : Mitchell, Pelton, sudu silinder dibelah dua,

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.

Selama ini energi listrik disediakan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN), namun masih belum dirasakan secara merata oleh masyarakat terutama masyarakat pedesaan yang jauh dari jangkauan jaringan listrik.

Oleh karenanya diperlukan sumber energi alternatif yang yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik khususnya di lingkungan pedesaan. Salah satu sumber energi alternatif tersebut adalah mikro hidro.

1.2. Perumusan Masalah

Selama ini bentuk sudu turbin Pelton yang banyak digunakan adalah bentuk mangkuk (*bucket*), dengan ukuran dan jumlah tertentu, (gambar 1), sedang bentuk yang lain jarang digunakan.

Perubahan Daya turbin dapat diperoleh dengan berbagai cara, diantaranya melakukan perubahan dimensi, perubahan bentuk sudu, dan juga bentuk penampang noselnya. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan bentuk sudu terhadap daya yang dibangkitkan turbin, maka perlu dilakukan penelitian tentang perubahan bentuk sudu terhadap kinerjanya, yang awalnya berbentuk mangkuk selanjutnya diubah menjadi bentuk setengah silinder (gambar 2) dan bentuk sudu Mitchell (gambar 3).



Gambar 1. sudu mangkuk



Gambar 2. sudu silinder dibelah dua



Gambar 3. sudu mitchell

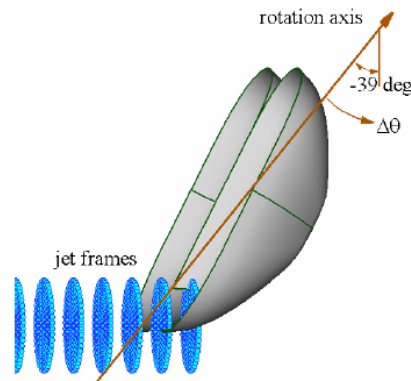
1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan turbin Pelton mikro dengan bentuk sudu bervariasi, dan menguji kinerja turbin Pelton sebagai Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro.

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).

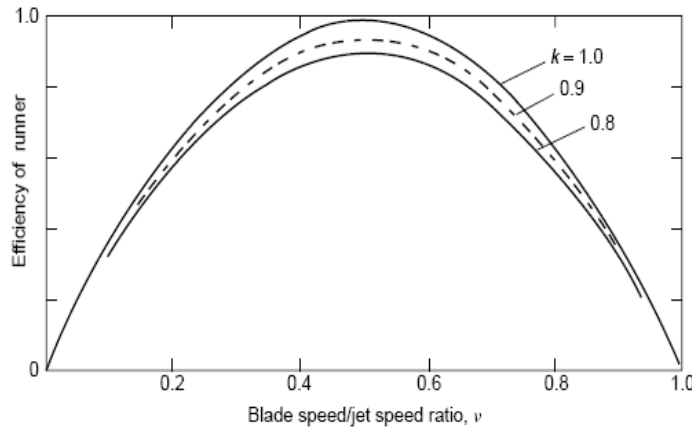
Anagnostopoulos dan Papantonis, (2006), melakukan penelitian pada turbin Pelton dengan jumlah sudu 22 buah dan diameter nosel 31 mm, tentang perancangan optimalisasi piringan secara numerik. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa kondisi beban maksimum tercapai jika pada saat interaksi antara pancaran dan sudu dimulai pada sudut sebesar -39° , seperti terlihat pada gambar 4.



Gambar 4. Saat mulai interaksi antara pancaran dan sudu (Anagnostopoulos dan Papantonis, 2006)

Kualitas 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.

Matthew Gass (2002), telah memodifikasi nosel dengan mengubah sudut ujung nosel dan cincin dudukan (*seat ring*), yang semula cincin dudukan 80° dengan sudut nosel sebesar 60° diubah menjadi cincin dudukan 90° dengan sudut nosel 50° . Perubahan sudut dudukan dan ujung jarum berdampak pada ukuran diameter pancaran pada berbagai kondisi langkah jarum. Besar kecilnya diameter pancaran air akan berpengaruh pada daya yang dibangkitkan turbin. Modifikasi nosel ini 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.



Gambar 5. Efisiensi runner teoritis turbin pelton terhadap perbandingan kecepatan sudu dengan kecepatan jet untuk beberapa harga faktor gesek k, (Dixon, S.L.,1998)

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 perubahan daya hidrolik ke daya mekanis akan maksimum jika sudut sudu keluaran adalah 180⁰, namun dalam prakteknya turbin Pelton dianjurkan memiliki sudut sudu keluaran 165⁰ (Finnemore dan Franzini,2006).

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

Harga kecepatan spesifik n_q adalah

$$n_q = n \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \dots\dots\dots (1)$$

di mana n adalah putaran turbin dalam rpm, Q adalah kapasitas aliran dalam m³/detik, H adalah tinggi jatuh (*head*) total dalam meter

Kecepatan keluar nosel mengacu pada dalil Torricelli (Streeter, 1994), yang besarnya sama dengan kecepatan jatuh bebas partikel fluida dari permukaan bebasnya dan dalam bentuk persamaan,

$$V = C_v \sqrt{2gH} \dots\dots\dots (2)$$

di mana V adalah kecepatan jet dalam [m/detik], $C_v \approx 0,97$ adalah koefisien kecepatan, H adalah tinggi jatuh (*head*) dalam [meter], dan g adalah gravitasi bumi dalam [m/detik²]

Daya input

$$P_i = \rho g H Q \dots\dots\dots (3)$$

Daya kinetik pancaran air P_k ,

$$P_k = \frac{1}{2} \rho A_n V^3 \dots\dots\dots (4)$$

Daya yang ditransmisikan ke sudu dari pancaran air adalah

$$P_t = \dot{m}(V - u)(1 - k \cos \beta_2)u \quad \dots\dots\dots (5)$$

dimana k adalah faktor gesek permukaan sudu yang nilainya antara 0,8 sampai dengan 0,9 (Finnemore dan Franzini, 2006).

Daya mekanik, P_m

$$P_m = \frac{2\pi n T}{60} \quad \dots\dots\dots (6)$$

Efisiensi piringan sudu dinyatakan dengan :

$$\eta_t = \frac{2(V - u)(1 - k \cos \beta_2)u}{V^2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

Efisiensi piringan maksimum dicapai jika harga $V=2u$, sehingga

$$\eta_{t, \text{mak}} = \frac{(1 - k \cos \beta_2)}{2} \quad \dots\dots\dots (8)$$

Efisiensi mekanik, η_m

$$\eta_m = \frac{P_m}{P_t} \quad \dots\dots\dots (9)$$

kecepatan keliling u adalah

$$u = \varphi \sqrt{2gH} \quad \dots\dots\dots (10)$$

dengan harga φ antara 0,43 sampai dengan 0,48 (Finnemore dan Franzini, 2006).

Diameter rata-rata piringan putar D adalah

$$D = \frac{60 u}{\pi n} \quad \dots\dots\dots (11)$$

Dan diameter nosel d_n adalah

$$d_n = 0,52 \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{H}}} \quad \dots\dots\dots (12)$$

2. METODOLOGI

Penelitian ini diawali dengan membuat turbin Pelton dengan sudu berbentuk mangkuk, bentuk setengah silinder, dan bentuk sudu mitchell, serta nosel dimana sudu dan noselnya dapat dibongkar-pasang pada instalasi pengujian. Instalasi pengujian terdiri dari komponen utama, diantaranya pompa air, turbin Pelton, nosel, beban pada lengan torsi, generator. Alat ukur yang digunakan dalam pengujian meliputi manometer, tachometer, *spring balance*, orificemeter, volt meter, ampere meter dan termometer. *Beban generator* dibuat dari lampu pijar dengan variasi beban mulai dari 25 watt dengan kelipatan penambah beban sebesar 25 watt.

Pengujian yang dilakukan meliputi uji karakteristik turbin Pelton dengan bentuk sudu mangkuk, sudu mitchell dan sudu setengah silinder. Parameter yang diukur dalam pengujian adalah beda tekanan pada orifice meter yang berguna untuk mendapatkan besar laju aliran volume,

tekanan pada nosel untuk mengetahui tinggi jatuh air (*head*) efektif, putaran turbin, beban pada lengan torsi, arus dan tegangan generator.

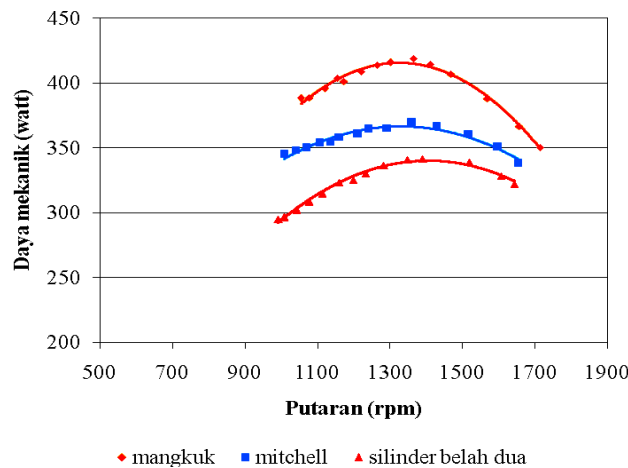
Parameter yang ditentukan dan merupakan variabel dalam penelitian ini adalah bentuk sudu yang berbeda sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1, 2 dan 3, sedangkan beban generator divariasikan, dan setiap variasi beban dilakukan pencatatan terhadap parameter-parameter diatas. Data hasil pengujian untuk masing-masing bentuk sudu, kemudian diolah untuk mendapatkan debit aliran air, daya kinetik, daya turbin, daya poros, efisiensi turbin atau efisiensi mekanik. Hasil uji ditampilkan dalam bentuk grafik karakteristik turbin Pelton, selanjutnya dievaluasi hasil dari masing-masing bentuk sudu.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dimensi sudu yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut : B = 78 mm, C = 20,5 mm, M = 24 mm, L = 61 mm, $\beta_1 = 5^\circ$, $\beta_2 = 165^\circ$, Z = 13 buah, d=20 mm.

Grafik daya turbin (mekanik) yang dihasilkan turbin Pelton pada head 16,5 meter dan debit 5,364 ltr/detik konstan, dapat ditunjukkan seperti pada gambar 5, sedangkan efisiensi sistem yaitu perbandingan daya generator dengan daya input pada berbagai putaran yang dihasilkan turbin dapat dilihat pada gambar 6

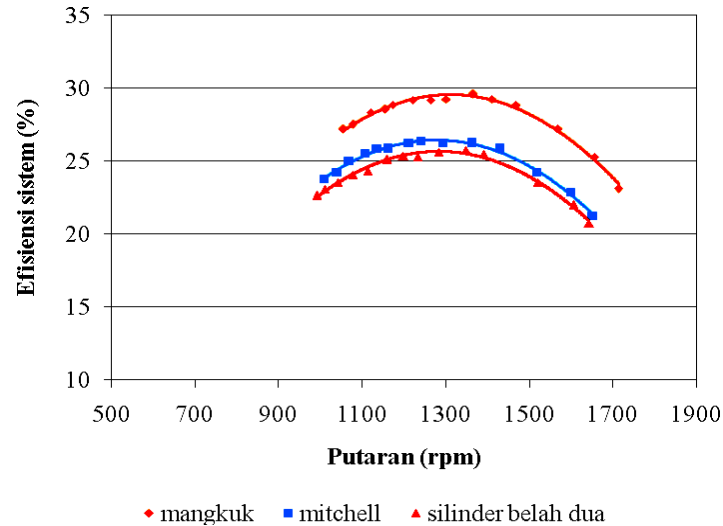
Pada gambar 5 dan 6, daya turbin (mekanik) dan efisiensi sistem yang dikembangkan turbin menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu daya dan efisiensi meningkat dengan bertambahnya kecepatan dan setelah mencapai titik optimum daya dan efisiensinya menurun. Secara teori daya turbin maksimum dan efisiensi maksimum terjadi pada harga perbandingan kecepatan yaitu perbandingan antara kecepatan sudu dengan kecepatan jet air ($\phi=u/V$) sebesar 0,5



Gambar 5. Daya mekanik eksperimen terhadap putaran

Daya dan efisiensi yang dihasilkan pada sudu mangkuk lebih besar jika dibandingkan dengan sudu mitchell maupun sudu setengah silinder, hal ini disebabkan karena distribusi massa air melewati sudu mangkuk memantul kembali secara halus ke segala arah, sedangkan pada sudu mitchell dan sudu setengah silinder pada saat pancaran air memantul kembali sebagian ke arah samping kiri dan kanan melalui kelengkungan sudut pantul yang halus, dan sebagian lagi memantul kembali ke arah radial melalui kelengkungan sudut pantul yang tajam akibat dari konstruksi sudunya. Pantulan yang berasal dari kaki sudu ini akan mengenai sudu berikutnya, yang akibatnya akan menghambat laju putaran sudu, sehingga daya yang dibangkitkan turbin juga makin berkurang.

Turbin dengan sudu mangkuk daya dan efisiensi maksimum yang terjadi sebesar 415, 5 watt dan 29,8% , pada sudu mitchell sebesar 367,69 watt dan 27,0 % . sedangkan pada sudu setengah silinder sebesar 343,85 watt dan 26,56%. Sedangkan perbedaan daya antara sudu mangkuk dengan sudu setengah silinder adalah sebesar 71,65 watt, atau sebesar 17,24% terhadap sudu mangkuk



Gambar 6. Efisiensi sistem terhadap putaran

4. KESIMPULAN

1. Karakteristik daya dan efisiensi pada sudu mangkuk, sudu mitchell, maupun sudu setengah silinder memiliki kecenderungan yang sama.
2. Daya mekanik maksimum yang dibangkitkan turbin dengan sudu mangkuk sebesar 415,5 watt, pada sudu mitchell sebesar 367,69 watt, sedangkan pada sudu setengah silinder sebesar 343,85 watt.
3. Efisiensi maksimum turbin dengan sudu mangkuk sebesar 29,8 %, pada sudu mitchell sebesar 27,0 %, sedangkan pada sudu setengah silinder sebesar 26,56 %. Lebih rendahnya efisiensi sudu setengah silinder dibandingkan dengan sudu mangkuk, dapat dikompensasi dengan kemudahan pembuatan sudu setengah silinder.

DAFTAR PUSTAKA.

- Anagnostopoulos, J.S., dan Papantonis, D.E., 2006, *A numerical methodology for design optimization of Pelton turbine runners*, HYDRO
- Dixon, S.L., 4th edition 1998, *Fluid Mechanics, Thermodynamics of Turbomachinery*, Butterworth-Heinemann, Pergamon Press Ltd
- Finnemore and Franzini, Tenth Edition, 2006, *Fluid Mechanics with Engineering Applications*, Singapore, Mc Graw-Hill
- Kvicinsky S, JL Kueny, F Avellan, E Parkinson. 2002. *Experimental and Numerical Analysis of Free surface flows in A Rotating Bucket*. Proceedings of the xxist 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
- Matthew Gass, 2002, *Modification Of Nozzles For The Improvement Of Efficiency Of Pelton Type Turbines*, Hetch Hetchy Water and Power, Moccasin Ca USA.
- Streeter, V.L. dan Wylie, E.B, 1994, *Fluid Mechanics*, New York, McGraw-Hill.