
KARAKTERISASI DAYA TURBIN PELTON MIKRO SUDU SETENGAH SILINDER DENGAN VARIASI BENTUK PENAMPANG NOSEL

Bono

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. H. Sudarto, S.H., Tembalang, Kotak Pos 6199 SMS, Semarang 50329
E-mail : bno_ba61@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan meneliti Turbin Pelton untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dengan sudu berbentuk setengah silinder dan variasi bentuk penampang lubang nosel. Variasi bentuk penampang lubang nosel yang digunakan berupa penampang lingkaran dan penampang persegi panjang, dimana Aspek Rasio yaitu perbandingan panjang dan lebar penampang segi empat ($AR=l/w$) dibuat bervariasi, dengan luas penampang lubang nosel dibuat sama, sedangkan turbin ini bekerja pada tekanan atmosfer. Turbin yang diuji memiliki nosel tunggal, dengan jumlah sudu 20 buah, serta perbandingan diameter rata-rata (pitch) dengan diameter nosel $D/d=14$, dan perbandingan diameter rata-rata dengan lebar sudu $D/B=3,5$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk lubang nosel berpenampang lingkaran maupun lubang nosel berpenampang persegi dengan Aspek Rasio $AR=1$, memiliki karakteristik daya dan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan lubang nosel berpenampang persegi panjang dengan $AR=1/2$, $AR=2/3$, $AR=3/2$, $AR=2$. Daya dan efisiensi maksimum yang dibangkitkan turbin, terjadi pada lubang nosel berpenampang lingkaran, yaitu sebesar 91,88 watt dan 53,25 %, sedangkan daya dan efisiensi yang terjadi pada lubang nosel berpenampang persegi dengan $AR=1$, yaitu sebesar 87,41 watt dan 50,66%.

Kata kunci : Pelton, Sudu Setengah Silinder, Nosel.

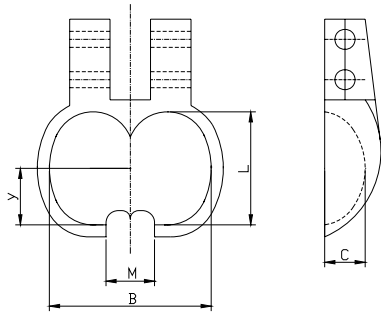
Pendahuluan

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.

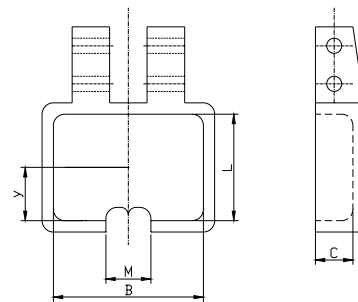
Selama ini energi listrik disediakan oleh PT.Perusahaan Listrik Negara (PT.PLN), namun masih belum dirasakan secara merata oleh masyarakat terutama masyarakat pedesaan yang jauh dari jangkauan jaringan listrik. Oleh karenanya diperlukan sumber energi alternatif yang yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik 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, (gambar 1), dan lubang nosel berpenampang lingkaran (gambar 3), sedang bentuk yang lain jarang digunakan.

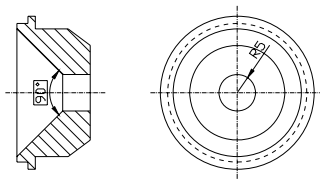
Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan bentuk sudu dan bentuk penampang nosel terhadap daya yang dibangkitkan turbin, maka perlu dilakukan penelitian tentang perubahan bentuk sudu dan bentuk penampang nosel turbin Pelton terhadap kinerjanya, yang awalnya berbentuk mangkuk selanjutnya diubah menjadi bentuk setengah silinder (gambar 2), serta bentuk penampang nosel yang awalnya berbentuk lingkaran (gambar 3) selanjutnya diubah berbentuk persegi panjang (gambar 4). Pemilihan bentuk sudu setengah silinder karena pertimbangan dalam pembuatannya relatif lebih mudah dibandingkan dengan sudu bentuk mangkuk.



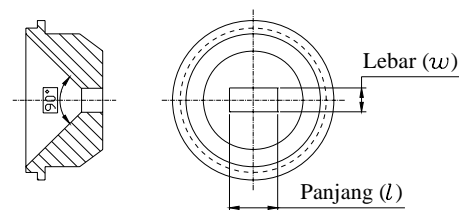
Gambar 1. Sudu Pelton Bentuk Mangkuk



Gambar 2. Sudu Pelton bentuk Setengah Silinder



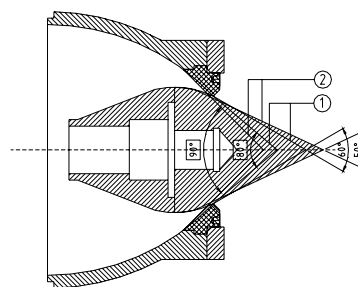
Gambar 3. Ujung nosel berpenampang lingkaran



Gambar 4. Ujung nosel berenampang persegi

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kinerja turbin Pelton sudu setengah silinder yaitu berupa daya dan efisiensi yang dapat dihasilkan turbin, dengan variasi bentuk penampang lubang nosel, sehingga didapat bentuk penampang lubang nosel yang optimum.

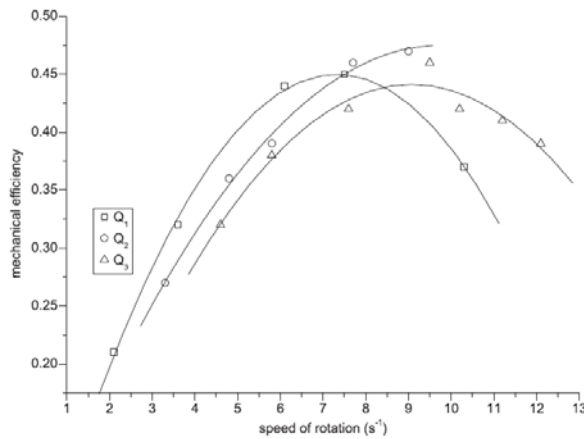
Matthew Gass (2002), telah memodifikasi nosel dengan dengan mengubah sudut ujung nosel dan cincin dudukan (*seat ring*), (gambar 5). Hasil modifikasi berpengaruh pada ukuran diameter jet pada berbagai kondisi langkah jarum, sehingga menghasilkan suatu peningkatan efisiensi di atas 0.5% pada kondisi 60% 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.



- (1). Ring dudukan 80° , ujung jarum 60°
- (2). Ring dudukan 90° , ujung jarum 50°

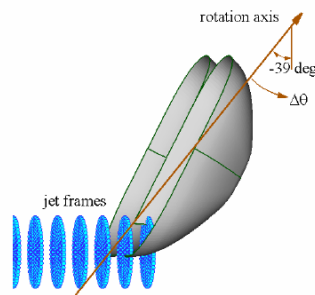
Gambar 5. Komponen nosel yang diperbaiki

Agar, D dan Rasi, M, melakukan pengujian turbin Pelton dengan jumlah sudu 11 buah, Jari-jari rata-rata (*radius pitch*) 60 mm, dan diameter nosel 6 mm, menghasilkan efisiensi mekanik maksimum $\eta_m = 0,45$ pada debit $Q=0,14$ l/s, efisiensi mekanik maksimum $\eta_m = 0,47$ pada debit $Q=0,17$ l/s, dan efisiensi mekanik maksimum $\eta_m = 0,46$ pada debit $Q=0,20$ l/s. Hasil dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 6



Gambar 6. Efisiensi mekanik turbin Pelton sebagai fungsi kecepatan putar untuk tiga laju aliran volume yang berbeda

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 7.



Gambar 7. Saat mulai interaksi antara pancaran dan sudu (Anagnostopoulos dan Papantonis, 2006)

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 aliran ke daya mekanis akan maksimum jika sudut sudu keluaran adalah 0° , namun dalam prakteknya turbin Pelton dianjurkan memiliki sudut sudu keluaran 165° (Finnemore dan Franzini, 2006).

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

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

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

Daya input, P_i ,

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

di mana ρ adalah massa jenis air dalam kg/m^3

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 daya yang ditransmisikan ke sudu dari pancaran air adalah

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

dimana 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

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

Efisiensi total

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

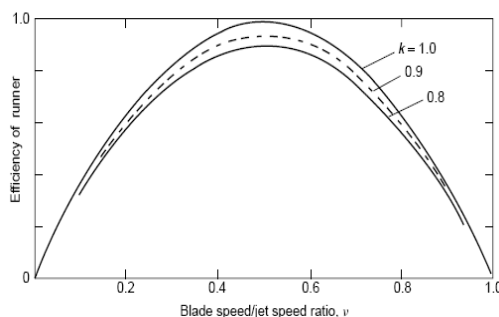
kecepatan keliling sudu (u) pada daerah efisiensi maksimum adalah

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

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

Diameter rata-rata piringan D adalah

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



Gambar 8. Efisiensi runner teoritis turbin pelton terhadap perbandingan kecepatan sudu dengan kecepatan pancaran untuk beberapa harga faktor gesek k (*Dixon, S.L., 1998*)

Diameter nosel dapat ditentukan dari persamaan

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

Perbandingan pancaran ($m = \frac{D}{d}$) adalah perbandingan antara diameter piringan dengan diameter nosel, yang nilainya bervariasi antara 11 sampai dengan 14, tergantung pada ruangan sudu (*Seith & Modi, 1991*)

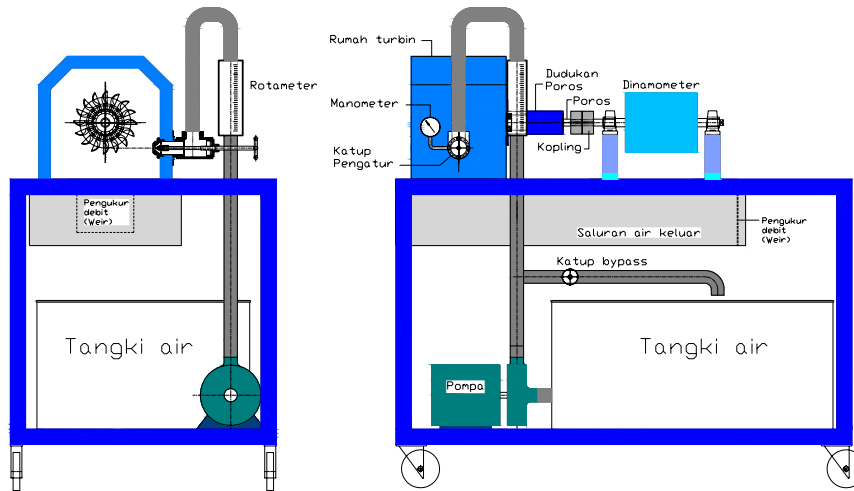
Geometri sudu turbin Pelton yang meliputi lebar sudu (B), kedalaman sudu (C), lebar bukaan sudu (M), panjang sudu (L), dan jarak pusat pancaran jet ke ujung sudu (y), dapat dilihat pada gambar 1.

Metodologi

Penelitian ini diawali dengan membuat turbin Pelton dengan sudu berbentuk setengah silinder, serta nosel dengan penampang lubang berbentuk lingkaran dan persegi panjang, seperti pada gambar 4, dengan Aspek Rasio ($AR=l/w$) yaitu perbandingan antara panjang dan lebarnya masing-masing sebesar $AR=1/2$, $AR=2/3$, $AR=1$, $AR=3/2$ dan $AR=2$, dimana sudu dan noselnya dapat dibongkar-pasang pada instalasi pengujian.

Instalasi pengujian terdiri dari komponen utama pompa air, turbin Pelton, nosel, beban pada lengan torsi, dinamometer seperti terlihat pada gambar 9. Alat ukur yang digunakan dalam pengujian meliputi dinamometer, manometer, tachometer, timbangan pegas pada lengan torsi, rotameter atau bendung (*weir*), dan termometer.

Pengujian yang dilakukan meliputi uji karakteristik turbin Pelton dengan bentuk sudu setengah silinder serta dengan nosel berpenampang lingkaran dan persegi panjang, dimana Aspek Rasio ($AR=l/w$) dibuat bervariasi, dengan luas penampang nosel dibuat sama. Parameter yang diukur dalam pengujian adalah besar laju aliran volume, tekanan pada nosel, putaran turbin, beban pada lengan torsi.

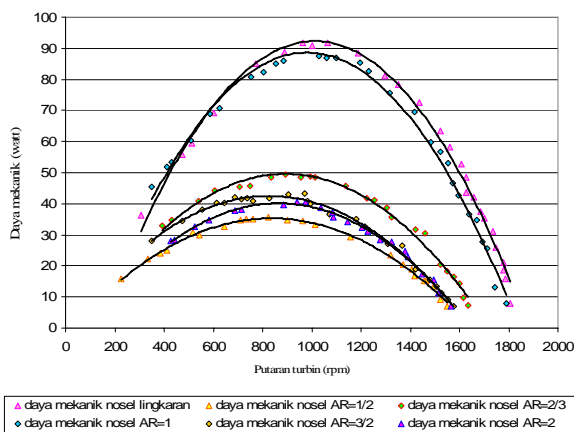


Gambar 9 Instalasi sistem pengujian turbin Pelton

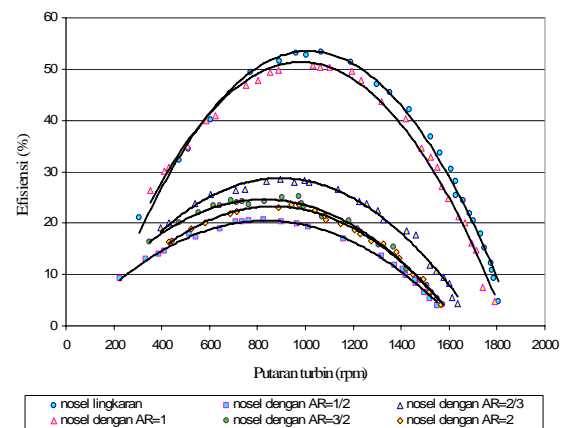
Hasil dan Pembahasan

Dengan menggunakan persamaan-persamaan di atas, didapat dimensi sudu sebagai berikut : $B = 40 \text{ mm}$, $C = 10 \text{ mm}$, $M = 12 \text{ mm}$, $L = 28 \text{ mm}$, $\beta_1 = 5^\circ$, $\beta_2 = 165^\circ$, $Z = 20$ buah,

Grafik daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin Pelton pada head 20 meter dan debit 53 ltr/menit konstan, dengan nilai $k=0,85$ jika dihitung dengan persamaan 3 dan berdasarkan eksperimen pada berbagai putaran turbin dapat ditunjukkan seperti pada gambar 10 dan gambar 11.



Gambar 10. Grafik Daya Turbin terhadap Putaran Turbin untuk Nosel dengan Berbagai Penampang



Gambar 11. Grafik Efisiensi Turbin terhadap Putaran Turbin untuk nosel dengan Berbagai Penampang

Turbin dengan nosel berpenampang lingkaran, daya dan efisiensi yang terjadi relatif lebih baik jika dibandingkan dengan nosel berpenampang persegi dengan $AR=1$, seperti terlihat pada gambar 10 dan 11. Pada kedua penampang nosel tersebut di atas, yaitu nosel lingkaran dan nosel dengan $AR=1$, daya dan efisiensi yang dihasilkan terjadi perbedaan yang relatif sama ketika mendekati dan setelah melewati titik maksimum, hal ini disebabkan karena distribusi massa air melewati sudu relatif sama, namun demikian pada saat pancaran air memantul kembali sebagian kearah samping kiri dan kanan melalui kelengkungan sudut pantul yang halus, dan sebagian lagi memantul kembali kearah 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.

Untuk nosel berpenampang persegi panjang dengan $AR=2/3$, $AR=1/2$, $AR=3/2$ dan $AR=2$ daya dan efisiensi yang dihasilkan lebih rendah jika dibandingkan dengan nosel berpenampang persegi dengan $AR=1$, hal ini disebabkan karena pancaran air yang keluar nosel-nosel tersebut diatas kondisinya agak menyebar ke arah celah sudu dan kaki sudu, sehingga pancaran air tidak terpusat pada saat mengenai sudu, dan juga sebagian pancaran air ada yang tidak mengenai sudu atau tidak seluruh laju massa air mengenai sudu, dengan demikian daya yang dibangkitkan oleh turbin menjadi lebih kecil.

Hasil yang didapat, turbin dengan nosel berpenampang lingkaran, daya dan efisiensi maksimum yang terjadi sebesar 91,88 watt dan 53,25%. Pada nosel berpenampang persegi dengan $AR=1$, daya dan efisiensi yang dihasilkan adalah 87,41 watt dan 50,66%, Sedangkan perbedaan daya pada nosel berpenampang lingkaran dengan nosel berpenampang persegi dengan $AR=1$ adalah sebesar 4,87 %.

Daya dan efisiensi maksimum yang dihasilkan untuk nosel berpenampang persegi panjang dengan $AR=1/2$, $AR=2/3$, $AR=3/2$, $AR=2$, masing-masing adalah 35,58 watt dan 20,62%; 48,93 watt dan 28,36%; 43,37 watt dan 25,13%; 40,6 watt dan 23,53%.

Kesimpulan

1. Daya maksimum yang dibangkitkan turbin untuk nosel berpenampang lingkaran adalah sebesar 91,88W, sedangkan untuk nosel berpenampang persegi dengan $AR=1$, daya turbin maksimum yang dapat dihasilkan adalah 87,41 W.
2. Efisiensi maksimum yang dibangkitkan turbin untuk nosel berpenampang lingkaran adalah sebesar 53,25 %, sedangkan untuk nosel berpenampang persegi dengan $AR=1$, efisiensinya adalah 50,66 %.
3. Pada nosel berpenampang persegi untuk $AR=1/2$, $AR=2/3$, $AR=3/2$, $AR=2$, efisiensi tertinggi yang mampu dicapai masing-masing adalah 20,62 %, 28,36 %, 25,13 %, dan 23,53 %.

Daftar Pustaka

- Agar D., dan Rasi, M., 2007, *On the use of a laboratory-scale Pelton wheel water turbine in renewable energy education*, Renewable Energy
- 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*, Pergamon Press Ltd , Butterworth-Heinemann.
- Finnemore and Franzini, 2006, , *Fluid Mechanics with Engineering Applications*, Tenth Edition, Mc Graw-Hill, Singapore,
- Matthew Gass, 2002, *Modification Of Nozzles For The Improvement Of Efficiency Of Pelton Type Turbines*, Hetch Hetchy Water and Power, Moccasin Ca USA.
- Seith S.M., Modi P.P., 1991, *Hydraulics Fluid Mechanics and Fluid Machines*, Dhempat & Sons, Delhi
- Streeter, V.L. dan Wylie, E.B, 1994, *Fluid Mechanics*, McGraw-Hill, New York.