

UJI EFISIENSI TURBIN PELTON DENGAN SUDU SETENGAH PIPA ELBOW

Tabah Priangkoso*, Ali Mustaqim, Heriyanto dan Asyadudin Malik

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Wahid Hasyim

Jl. Menoreh Tengah X/22, Sampangan, Semarang 50236.

*Email: tabah@unwahas.ac.id

Abstrak

Turbin Pelton merupakan turbin yang paling populer penggunaannya untuk daya-daya yang rendah seperti pada pembangkit mikrohidro dan pikohidro. Salah satu kemungkinan bentuk sudu pada turbin Pelton adalah setengah pipa yaitu bentuk mirip pipa yang dipotong pada garis tengahnya. Bentuk ini sangat mudah dibuat sehingga dapat diproduksi di bengkel-bengkel las yang sederhana. Tujuan penelitian ini adalah menguji turbin Pelton dengan sudu setengah pipa siku agar diketahui efisiensinya. Turbin yang diuji memiliki diameter 200 mm dengan 11 buah sudu, sudu menggunakan setengah lingkaran elbow berdiameter 40 mm. Turbin diuji menggunakan rig pengujian dengan diameter nosel 11, 12, dan 13 mm. Head diciptakan menggunakan pompa sentrifugal sehingga semakin tinggi debit, head yang tercipta juga semakin besar. Head dan debit diatur menggunakan katup bypass sehingga menghasilkan daya hidrolis 1221,05; 818,29; 557,47 W. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan diameter yang makin besar dan daya hidrolis yang makin besar memberikan efisiensi lebih tinggi.

Kata kunci: efisiensi, daya hidrolis, diameter nosel.

PENDAHULUAN

Turbin Pelton merupakan turbin impuls yang umum digunakan karena konstruksinya yang sederhana, murah, serta mudah perawatannya. Turbin Pelton ukuran mini atau mikro digunakan untuk pembangkit-pembangkit listrik tenaga air berdaya rendah sampai serendah 1 kW, dengan head dan debit bervariasi.

Salah satu pertimbangan penggunaan turbin air mini atau mikro sebagai pembangkit listrik adalah biaya pembangunannya yang murah sehingga dapat melibatkan masyarakat (Corney, et al., 2005). Penggunaan turbin air juga memberikan efisiensi hingga 90%, lebih tinggi dibanding energi termal (maksimal 40%) dan gas (maksimal 60%) (Wagner & Mathur, 2011).

Kesederhanaan dalam konstruksi menjadikan banyaknya variasi bentuk mangkuk turbin Pelton, diantaranya adalah bentuk setengah lingkaran rangkap untuk makin menyederhanakan bentuk mangkuk turbin karena bentuk siku setengah lingkaran ini mudah sekali dibuat karena mirip dengan pipa yang dibelah pada diameternya.

Salah satu faktor penting dalam penggunaan turbin adalah efisiensi, yaitu perbandingan antara daya hidrolis yang diterima turbin dengan daya mekanik turbin sebagai hasil konversi energi kinetik air menjadi energi mekanik.

Penelitian ini bertujuan menguji efisiensi turbin Pelton dengan sudu siku setengah

lingkaran rangkap dibandingkan dengan daya hidrolis yang diterima turbin. Hasil pengujian diharapkan dapat menjadi pedoman bagi perbaikan dan penyederhanaan turbin Pelton sehingga dapat dipakai secara lebih luas.

METODE PENELITIAN

Turbin Pelton yang diuji memiliki diameter 200 mm, diameter runner 135 mm, jumlah sudu 11 (sebelas), dengan bentuk sudu setengah lingkaran rangkap dua berdiameter 40 mm dan panjang siku masing-masing 60 mm sebagaimana ditunjukkan Gambar 1.

Daya hidrolis P_h yang diterima turbin dihitung menggunakan persamaan

$$P_h = \rho g Q h \quad (1)$$

dimana

ρ = kerapatan air (1000 kg/m³)

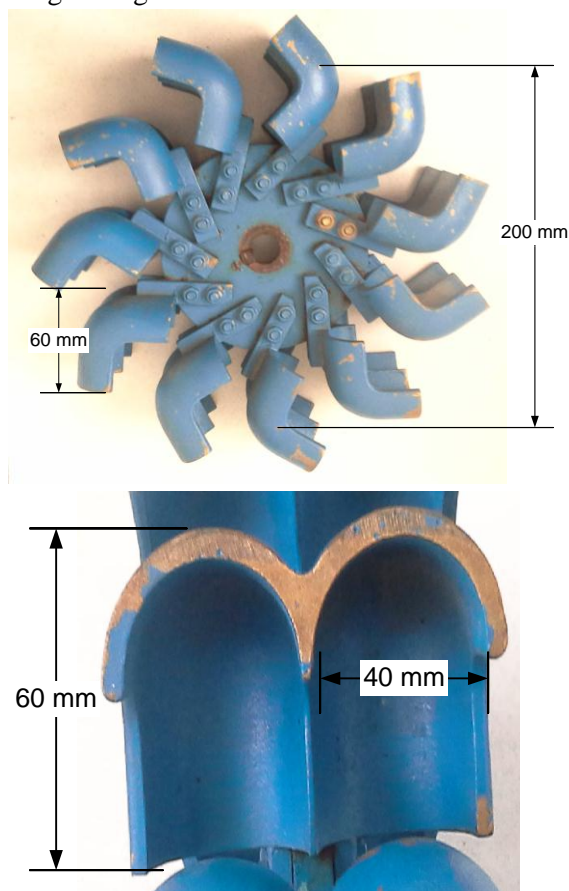
g = percepatan gravitasi bumi (9,8 m/s²)

Q = debit air, m³/s

h = head, m

Pengujian efisiensi turbin menggunakan rig turbin yang dilengkapi dengan dinamometer rem untuk mengukur torsi yang dihasilkan poros turbin sebagaimana ditunjukkan Gambar 2. Dinamometer digunakan untuk mengerem poros turbin secara bertahap sehingga putarannya hampir berhenti. Gaya pengereman

diukur menggunakan neraca yang dihubungkan dengan lengan torsi.



Gambar 1 Dimensi turbin Pelton bersudu setengah lingkaran siku rangkap dua.

Daya turbin P_t diperoleh menggunakan persamaan hubungan daya dengan torsi

$$P_t = 2\pi n T \tag{2}$$

dimana

n = kecepatan poros, rps

g = percepatan gravitasi bumi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

T = torsi poros, Nm

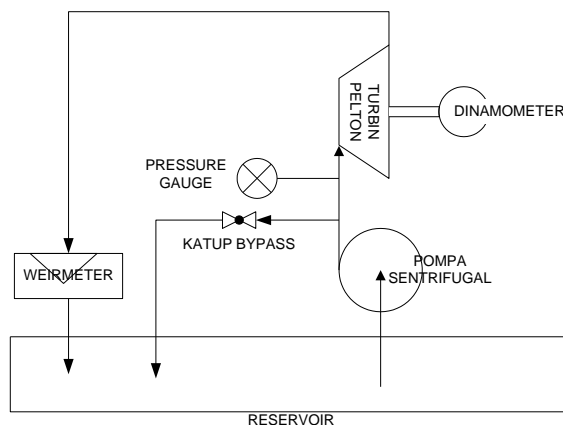
Efisiensi turbin η_t diperoleh dengan membandingkan daya yang terdeteksi pada dinamometer sebagai daya turbin dengan daya hidrolik air

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_h} \tag{3}$$

Pengukuran debit dilakukan menggunakan Weirmeter bersudut 90 derajat dan head air diukur berdasarkan tekanan air yang memasuki nosel. Debit air diberikan oleh pompa sentrifugal.

Pengujian masing-masing menggunakan 3 (tiga) nosel dengan diameter 12, 13, dan 14 mm dengan sudut 90 derajat terhadap sudu turbin.

Pemilihan diameter nosel dilakukan tanpa mempertimbangkan konstruksi dan desain turbin pelton, mengingat bentuk turbin pelton yang diuji telah mengalami modifikasi mangkuk menjadi setengah lingkaran rangkap dua. Sementara jangkauan debit menyesuaikan kapasitas pompa sentrifugal yang digunakan. Debit diatur menggunakan katup *bypass* untuk menghindari beban berlebihan pada motor pompa supaya diperoleh debit yang kontinyu.



Gambar 2 Rangkaian rig pengujian turbin

Berdasarkan pengaturan debit menggunakan katup *bypass*, yaitu dengan menutup penuh, menutup setengah, dan membuka penuh, diperoleh hubungan debit yang diukur menggunakan weirmeter dan head yang diukur menggunakan pengukur tekanan masuk ke nosel beserta daya hidrolik yang dihasilkan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1 sebagai variabel tetap.

Tabel 1 Hubungan debit, head, dan daya hidrolik melalui pengaturan katup *bypass*.

| Posisi <i>bypass</i> | Debit, Q (m^3/s) | Head, H (m) | Daya hid, P_h (W) |
|----------------------|--------------------------------------|---------------|---------------------|
| Tutup | 0.0047 | 26.51 | 1221.05 |
| Buka ½ | 0.0039 | 21.41 | 818.29 |
| Buka | 0.0031 | 18.35 | 557.47 |

Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali untuk setiap nosel dan setiap variabel tetap dengan beban pengereman dinamometer 0,50; 1,00; 1,50; 2,00; dan 2,50 kg. Jika panjang lengan torsi 17,00 cm, maka akan membebani turbin dengan torsi masing-masing 0,83; 1,67; 2,49; dan 3,33 Nm.

Putaran poros turbin dicatat dan rata-ratanya digunakan untuk menghitung daya turbin menggunakan persamaan (2), kemudian digunakan menghitung efisiensi sebagaimana persamaan (3).

HASIL DAN DISKUSI

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa efisiensi rata-rata pada daya hidrolis 557,47 W sebesar 6,43% tertinggi dibandingkan efisiensi operasi pada daya hidrolis lainnya.

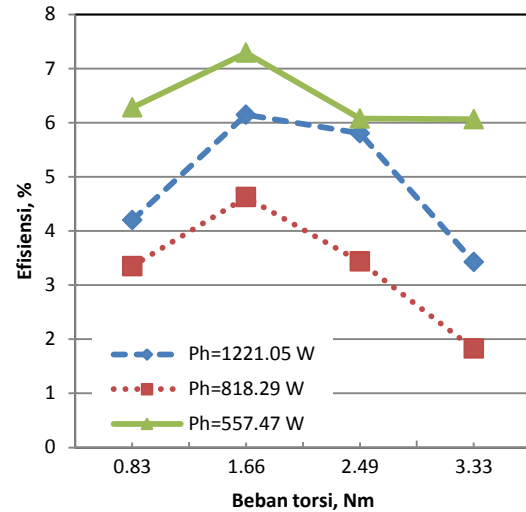
Tabel 2 Hubungan beban dan daya hidrolis dengan efisiensi turbin menggunakan nosel Ø12 mm

| No | Beban torsi (Nm) | Efisiensi, % | | |
|-----------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | | $P_h = 1221.05$ W | $P_h = 818.29$ W | $P_h = 557.47$ W |
| 1 | 0.83 | 4.20 | 3.35 | 6.28 |
| 2 | 1.66 | 6.15 | 4.62 | 7.29 |
| 3 | 2.49 | 5.81 | 3.44 | 6.08 |
| 4 | 3.33 | 3.43 | 1.83 | 6.06 |
| Rata-rata | | 4.89 | 3.31 | 6.43 |

Secara umum, pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa efisiensi pada daya hidrolis 557,28 W, sesuai parameter pada Tabel 1, menggunakan nosel berdiameter 12 mm, menunjukkan efisiensi yang terbaik yaitu paling tinggi 7,29% pada beban torsi 1,66 Nm. Pada daya hidrolis 818,29 W, efisiensi tertinggi 4,62% dan pada daya hidrolis 1221,05 W efisiensi tertingginya 6,15%. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi terbaik diperoleh dari penggunaan nosel berdiameter 12 mm pada daya yang paling rendah 557.47 W.

Hasil pengujian menggunakan nosel berdiameter 13 mm menunjukkan efisiensi tertinggi diperoleh pada daya hidrolis tertinggi sebesar rata-rata 8,02% dibanding pada daya hidrolis 818,29 W sebesar 4,62% dan daya hidrolis 557,47 W sebesar 6,28% sebagaimana ditunjukkan Tabel 3.

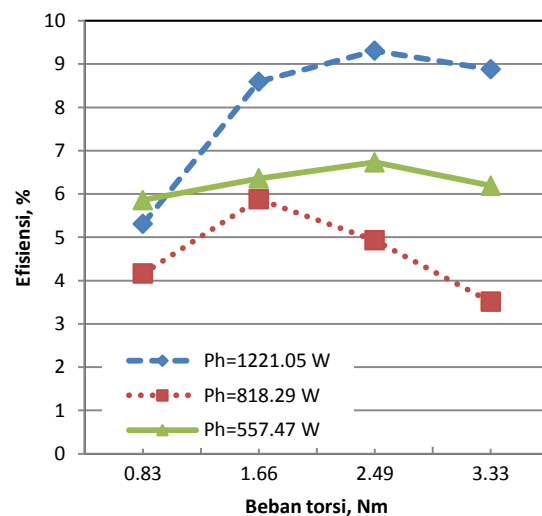
Gambar 4 menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi sebesar 9,31% diperoleh pada daya hidrolis 1221,05 W dan beban torsi 2,49 Nm. Hasil ini menunjukkan perbedaan efisiensi tertinggi dari penggunaan nosel diameter 12 mm dan 13 mm. Jika pada nosel diameter 12 mm efisiensi tertinggi diperoleh pada daya hidrolis terendah, maka pada nosel diameter 13 mm efisiensi tertinggi diperoleh pada daya hidrolis tertinggi.



Gambar 3 Hubungan pengaruh beban torsi dan daya hidrolis terhadap efisiensi turbin menggunakan nosel Ø12 mm

Tabel 3 Hubungan beban dan daya hidrolis dengan efisiensi turbin menggunakan nosel Ø13 mm

| No | Beban torsi (Nm) | Efisiensi, % | | |
|-----------|------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | | $P_h = 1221.05$ W | $P_h = 818.29$ W | $P_h = 557.47$ W |
| 1 | 0.83 | 5.31 | 4.16 | 5.86 |
| 2 | 1.66 | 8.59 | 5.88 | 6.36 |
| 3 | 2.49 | 9.31 | 4.93 | 6.73 |
| 4 | 3.33 | 8.88 | 3.51 | 6.19 |
| Rata-rata | | 8.02 | 4.62 | 6.28 |



Gambar 4 Hubungan pengaruh beban torsi dan daya hidrolis terhadap efisiensi turbin menggunakan nosel Ø13 mm

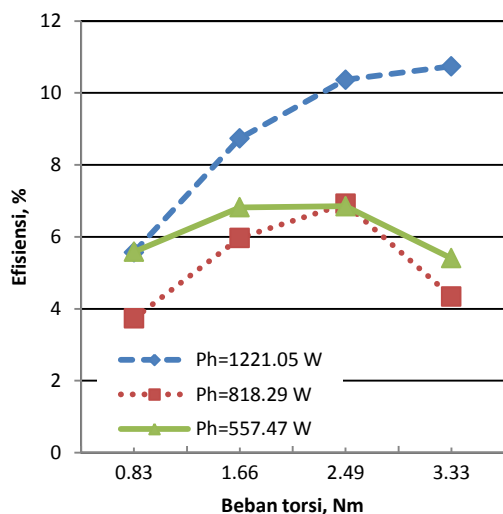
Perubahan ukuran diameter nosel dari diameter 12 mm menjadi 13 mm memberikan peningkatan efisiensi pada pemberian daya hidrolik 1221,05 W dan 818,29 W dari rata-rata 4,89% menjadi 8,02% dan dari rata-rata 3,31% menjadi 4,62%. Sebaliknya, efisiensi pada daya hidrolik 557,47 W menurun dari 6,43% menjadi 6,28%.

Membandingkan Tabel 3 dan 4, penggunaan nosel diameter 14 mm meningkatkan efisiensi pada penerapan daya hidrolik 1221,05 W dari rata-rata 8,02% menjadi rata-rata 8,85% dan daya hidrolik 818,29 W dari rata-rata 4,62% menjadi rata-rata 5,24%, serta sebaliknya menurunkan efisiensi pada daya hidrolik 557,47 W dari rata-rata 6,28% menjadi rata-rata 6,16%.

Tabel 4 Hubungan beban dan daya hidrolik dengan efisiensi turbin menggunakan nosel Ø14 mm

| No | Beban torsi (Nm) | Efisiensi, % | | |
|-----------|------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | $P_h = 1221.05 \text{ W}$ | $P_h = 818.29 \text{ W}$ | $P_h = 557.47 \text{ W}$ |
| 1 | 0.83 | 5.57 | 3.73 | 5.58 |
| 2 | 1.66 | 8.74 | 5.97 | 6.82 |
| 3 | 2.49 | 10.37 | 6.92 | 6.85 |
| 4 | 3.33 | 10.74 | 4.34 | 5.40 |
| Rata-rata | | 8.85 | 5.24 | 6.16 |

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa efisiensi penggunaan nosel diameter 14 mm pada daya hidrolik 1221,05 W secara umum paling tinggi dibanding jika turbin beroperasi pada daya hidrolik yang lebih rendah.



Gambar 5 Hubungan pengaruh beban torsi dan daya hidrolik terhadap efisiensi turbin menggunakan nosel Ø14 mm

Efisiensi turbin meningkat seiring bertambahnya diameter nosel. Penggunaan diameter nosel 14 mm menghasilkan efisiensi yang tertinggi sebesar 10,74% pada beban torsi 3,33 Nm pada daya hidrolik 1221,05 W. Hal ini menunjukkan ukuran nosel yang lebih besar dan daya hidrolik yang lebih besar memberikan efisiensi yang lebih baik. Namun demikian, hasil ini masih jauh lebih rendah dibanding capaian Bono dan Indarto (2008) sebesar 53,03% dengan bentuk sudu setengah silinder yang diuji pada head 20 m dan debit 0,00883 m³/s atau pada daya hidrolik 1742,44 W dengan jumlah sudu 20 buah.

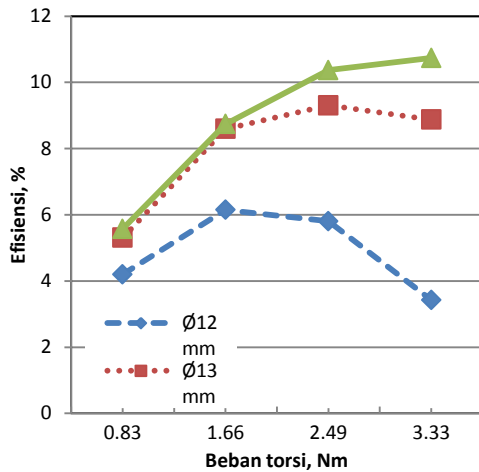
Efisiensi turbin Pelton dengan sudu setengah lingkaran siku ini juga lebih rendah dibanding hasil yang diperoleh Chouhan dkk (2017). Pengujian yang dilakukan Chouhan dkk terhadap turbin Pelton dengan menghasilkan efisiensi tertinggi 64% dengan runner besi tuang pada debit 0.001246 m³/s dan terendah 5% dengan runner Bakelite pada debit 0.001721 m³/s.

Hasil-hasil Bono dan Indarto maupun Chouhan dkk menunjukkan variasi efisiensi turbin Pelton bergantung pada debit, bentuk sudu, dan debit.

Hasil pengujian sebagaimana ditunjukkan Tabel 2 sampai Tabel 4 dan Gambar 3 sampai Gambar 5 menunjukkan pengaruh diameter nosel terhadap efisiensi. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa efisiensi turbin dipengaruhi beberapa faktor yaitu bentuk sudu turbin, material runner, diameter nosel, dan daya hidrolik yang diterima turbin.

Membandingkan efisiensi untuk setiap ukuran nosel, diketahui jika nosel dengan diameter yang paling besar menghasilkan efisiensi yang paling baik dibanding ukuran diameter yang lebih kecil seperti ditunjukkan pada Gambar 6 untuk daya hidrolik tertinggi 1221,05 W dimana diperoleh efisiensi tertinggi dibandingkan penerapan daya hidrolik lainnya.

Penggunaan nosel berdiameter 14 mm menghasilkan efisiensi yang makin baik seiring dengan bertambahnya beban. Penggunaan nosel berdiameter 12 mm dan 13 mm pada awalnya menunjukkan peningkatan efisiensi seiring dengan bertambahnya beban, namun kemudian terjadi penurunan efisiensi. Hal yang sama dapat terjadi pada penggunaan nosel berdiameter 14 mm. Efisiensi kemungkinan dapat turun jika beban ditambah sehingga menjadi lebih besar dari 3,33 N.

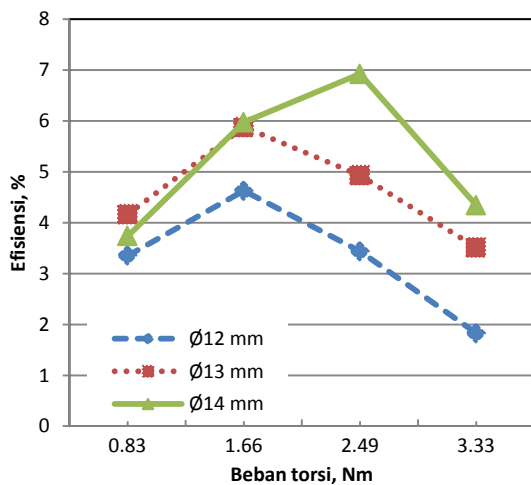


Gambar 6 Efisiensi turbin pada daya hidrolis 1221,05 W dan penggunaan nosel berdiameter 12, 13, dan 14 mm.

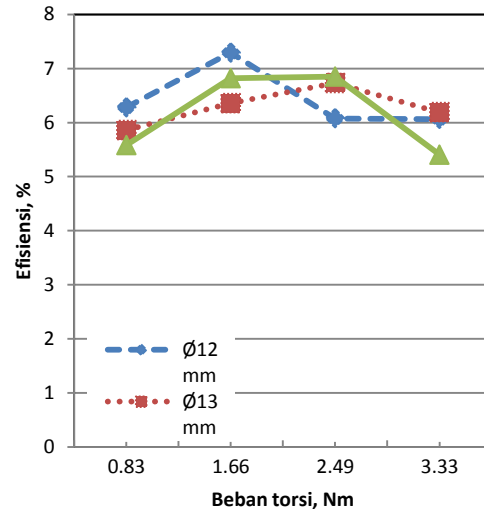
Hasil yang sama, yaitu efisiensi lebih tinggi dihasilkan pada penggunaan nosel berdiameter 14 mm pada daya hidrolis lebih rendah sebesar 818,29 W sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7.

Efisiensi yang makin meningkat seiring dengan bertambahnya diameter nosel sesuai dengan hasil yang diperoleh Obayes dan Qasim(Obayes & Qasim, 2017)

Sebaliknya, pada daya hidrolis 557,47 W, pengaruh diameter nosel terhadap efisiensi turbin tidak begitu jelas terlihat sebagaimana ditunjukkan Gambar 8. Namun demikian, efisiensi terbaik justru didapatkan dari penggunaan nosel berdiameter 12 mm dan menjadi efisiensi terbaik dibanding pada daya-daya hidrolis yang lebih tinggi.



Gambar 7 Efisiensi turbin pada daya hidrolis 818,29 W dan penggunaan nosel berdiameter 12, 13, dan 14 mm.



Gambar 8 Efisiensi turbin pada daya hidrolis 557,47 W dan penggunaan nosel berdiameter 12, 13, dan 14 mm.

KESIMPULAN

Efisiensi turbin Pelton setengah lingkaran siku memberikan efisiensi lebih baik pada penggunaan nosel dengan diameter yang lebih besar dan pada daya hidrolis yang lebih besar. Pengecualian diperoleh pada diameter terkecil yang justru menghasilkan efisiensi tertinggi pada daya hidrolis terkecil. Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi dipengaruhi oleh ukuran diameter nosel, daya hidrolis yang diterima turbin, dan beban yang diberikan kepada turbin.

DAFTAR PUSTAKA

Bono, & Indarto. (2008). Karakterisasi Daya Turbin Pelton Mikro Dengan Variasi Bentuk Sudu. *Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi* (pp. 187-196). Yogyakarta: AKPRIND Yogyakarta.

Chouhan, K., Kishorey, G., & Shah, M. (2017). Modelling, Fabrication & Analysis of Pelton Turbine for Different Head and Materials. *International Journal of Computational Engineering Research (IJCER)*, 07 (02), 1-17.

Obayes, S. A., & Qasim, M. A. (2017). Effect of Flow Parameters on Pelton Turbine Performance by Using Different Nozzles. *International Journal of Modeling and Optimization*, 7 (3), 128-133.

Wagner, H., & Mathur, J. (2011). *Introduction to Hydro Energy Systems: Basics, Technology and Operation*. Berlin: Springer.