

PENGARUH JARAK SEMPROT NOZZLE TERHADAP PUTARAN POROS TURBIN DAN DAYA LISTRIK YANG DIHASILKAN PADA PROTOTYPE TURBIN PELTON

Mulyadi¹⁾ Ir. Margianto, M.T²⁾ Ena Marlina, S.T, M.T³⁾
Program Strata Satu Teknik Mesin Universitas Islam Malang¹⁾
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Malang^{2,3)}
Jl. MT Haryono 193 Malang 65145
E-mail : mulyadi_mesin@yahoo.co.id

ABSTRAK

Pelton turbine is an impulse turbine, the turbine is driven by the kinetic energy of the water. Spray (jet) on the high-speed water bucket and runner after runner moves the water at low speed, which means most of the energy is not absorbed by the runner. The water pressure in and out of the blade is atmospheric. Turbine pressure Pelton is the best example of the impulse turbine. The turbine is operated by one or more jets (nozzle) of water into the bucket at the center around the parameter of the runner. Power comes from the force of water from high-pressure impingement impulse turbine buckets so named turbine Pelton. One of the most important components of Pelton turbine is nozzle, the distance between the nozzle and the blade can affect the blade turbine rotating speed. In addition, the distance between the nozzle of the runner determines the point of falling water, because the nozzle must have a proper distance so that turbine blades can receive a good impulse. From the test results influence the distance the spray nozzle to the rotation runner and the electric power generated in the prototype turbine Pelton, with a distance of spray 50 mm, 60 mm, 70 mm valve opening is 30°, 60° and 90°, it can be concluded as follows: Acquisition rate of rotation runner Pelton turbine prototype that is highest at a distance of 50 mm spray nozzle when the valve opening 90° with a rotation rate of 428.67 rpm runner, generating electric power of 10.57 watts, with the fluid flow rate (Q) generated as much as 0.00082 m³/s, while for the lowest round at a distance of 70 mm when the spray valve opening 30° with 381.00 rpm rotation speed, generating electrical power 9.84 Watt, the fluid flow rate (Q) generated as much as 0.00074 m³/s. fluid flow velocity higher acquisition prices are at a distance of 50 mm semprot nozzle when the valve opening is 13.93 m/s 90°. With the mass flow rate of 0.82 m³/s. In the case of fluid mass flow rate the greater the valve opening, the greater the mass flow rate of the fluid and the fluid flow generated. The highest result of the mass flow rate of fluid that is at a distance of 50 mm when the spray valve opening 90° obtain fluid mass flow rate of 0.82 kg/s and produce a flow rate (Q) as much as 0.00082 m³/s.

Keywords : *Prototype Pelton turbine, fluid flow rate, the rate of fluid velocity, mass flow rate, rpm, power output.*

PENDAHULUAN

Salah satu potensi sumber daya alam terbesar yang dimiliki oleh bangsa Indonesia adalah air. Disamping kegunaannya untuk memenuhi kebutuhan hidup sehari-hari kandungan energi yang dimiliki oleh air yang mengalir dari ketinggian tertentu juga bisa dimanfaatkan sebagai pembangkit energi mekanis. Salah satu contoh alat konversi energi air menjadi energi mekanik adalah turbin air, energi mekanik pada turbin air dapat diubah menjadi energi listrik yang merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat diperbarui.

Turbin Pelton merupakan turbin impuls, yaitu turbin yang digerakkan oleh energi kinetik air. Semprotan (jet) air berkecepatan tinggi mengenai bucket runner dan setelah menggerakkan runner air pada kecepatan rendah, yang berarti sebagian energinya tidak

diserap oleh runner. Tekanan air masuk dan keluar sudu adalah tekanan atmosfer. Turbin Pelton adalah merupakan contoh terbaik dari turbin impuls. Turbin tersebut dioperasikan oleh satu atau lebih jet (nozzle) air yang masuk ke *center bucket* pada sekeliling parameter dari runner. Tenaga berasal dari gaya air dari tekanan tinggi yang menumbuk *buckets* sehingga dinikmati turbin impuls.

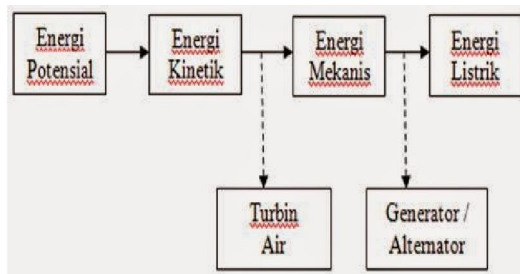
Salah satu komponen terpenting dalam turbin Pelton adalah nozzle, jarak antara nozzle dan daun sudu dapat mempengaruhi kecepatan putaran daun sudu turbin. Selain itu jarak antara nozzle terhadap runner menentukan titik jatuh air, karena nozzle harus memiliki jarak yang tepat agar sudu turbin dapat menerima impuls yang baik.

LANDASAN TEORI

Pengertian dasar tentang turbin air

Turbin air adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin.

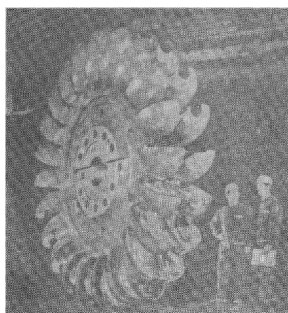
Turbin air digerakkan oleh air sebagai fluida kerjanya, air yang mengalir dari tempat yang lebih tinggi ketempat yang lebih rendah. Dalam hal ini air memiliki energi potensial diubah menjadi energi kinetik melalui aliran didalam pipa dan nozzle. Selanjutnya energi tersebut diubah lagi menjadi energi mekanis yang akan memutar poros turbin.



Gambar 2.1 konversi energi pada turbin air (Water Turbine. Ir. Najamudin, MT)

Pengertian turbin pelton

Turbin pelton merupakan turbin impuls. Turbin pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih yang disebut nozzle. Turbin pelton adalah satu dari jenis turbin yang paling efisien. Turbin pelton adalah turbin yang cocok digunakan untuk head tinggi.



Runner turbin Pelton. (Dandekar & Sharma, 1991)

a) Debit

Didalam suatu aliran fluida terdapat debit aliran yang harus di analisis terlebih dahulu guna untuk mengetahui laju kecepatan aliran

dan *massa* suatu fluida, untuk mencari debit suatu aliran kita bisa menggunakan rumus

$$Q = \frac{V}{t}$$

Dimana: Q = Debit aliran (m^3/dtk)
 $\frac{V}{t}$ = Volume fluida (m^3) = Waktu (s)

setelah mengetahui debit aliran maka kita dapat menghitung kecepatan aliran menggunakan rumus

$$v = \frac{Q}{A}$$

Dimana: A = luas penampang nozzle bagian dalam (m^2)

Untuk mencari menggunakan persamaan rumus yaitu $A = \pi r^2$

b) Laju aliran massa

$$m = \rho_{air} \times A \times v$$

c) bilangan reynold

$$Re = \frac{v \times D}{\nu}$$

d) Daya listrik yang dihasilkan prototype turbin pelton

$$P = v \cdot I$$

Komponen prototype turbin pelton

Pompa

Pompa yang digunakan untuk mendukung kerja *prototype Turbin Pelton* ini mempunyai kapasitas daya hisap 11 m dan total head 50 m dengan kapasitas 50 lpm, pompa sentrifugal ini menciptakan kecepatan fluida kemudian mentransformasikan ke energi tekan saat fluida terlepas dari pompa melalui pipa-pipa pengalir. Oleh karena itu *head* yang tercipta bisa dikatakan sebanding dengan energi kecepatan *impeller*.

Bak penampung

Bak penampung tersebut berfungsi sebagai menampung air yang dibutuhkan pompa.

Nozzle

Nozzle dengan diameter 5 mm, berfungsi untuk mengubah tekanan air menjadi energi kinetik dan mengarahkan pancaran air kesudu runner turbin.

Sudu

Merupakan sarana merubah energi air menjadi mekanik torsi pada poros sudu dimana aliran air yang ditembakkan oleh nozel kearah sudu mengakibatkan daun-daun sudu terdorong dan berputar seperti yang tampak pada gambar.

Pipa

Pipa merupakan salah satu komponen pendukung dari *prototype Turbin* yang berfungsi untuk mengalirkan fluida air dari bak penampung air ke pompa, dan dari pompa menuju ke *nozzle*

Puly dan Vbel

Puly dan *Vbel* sangatlah berperan penting sebagai sistem penggerak untuk menghubungkan poros *runner* dengan poros *alternator*, pada *puly* menggunakan perbandingan 2:1 yang mana *puly* yang lebih besar terpasang pada poros *runner* dan *puly* yang berdiameter lebih kecil terpasang di poros *alternator*.

Alternator

Alternator merupakan komponen turbin air yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, mempunyai kapasitas 45 A. Listrik yang dihasilkan merupakan arus bolak-balik (AC), untuk merubah arus AC menjadi arus DC digunakan diode yang dipasang menjadi satu bagian dengan alternator. Alternator berfungsi untuk mensuplai tegangan listrik ke *Accumulator* serta komponen *elektrikal* lain nya.

Bukaan katup

Katup pengatur tekanan ini mempunyai fungsi untuk mengatur tekanan fluida yang akan diteruskan ke nozel sehingga debit aliran yang masuk ke turbin bisa terkontrol seperti yang ditunjukkan oleh

Selang

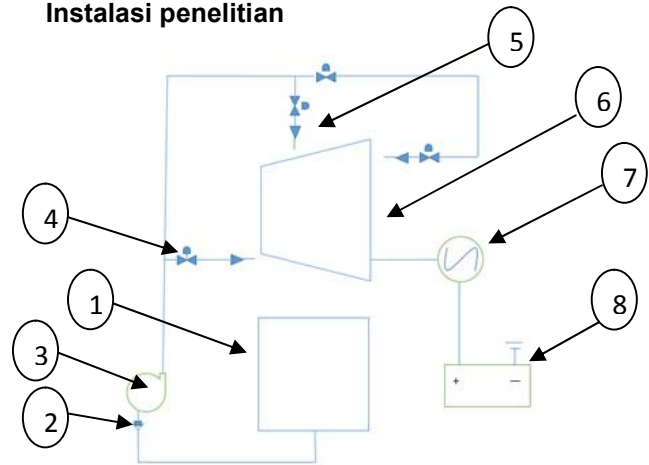
Selang pada turbin *Pelton* berfungsi sebagai penghubung serta sarana untuk fluida mengalir. Tetapi biasanya dialiri untuk fluida yang memiliki tekanan lebih kecil.

Metode penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metodologi eksperimental nyata (*True Experimental*), dengan memvariasikan jarak semprot *nozzle* dan bukaan valve, untuk membandingkan hasil kinerja pada turbin

pelton. Dengan metode tersebut diharapkan dapat diketahui penggunaan jarak semprot *nozzle* yang paling efisien pada *prototype turbin pelton*.

Instalasi penelitian



Gambar 2.2 instalasi penelitian

Keterangan :

- 1) Bak penampung
- 2) Suction
- 3) Pompa
- 4) Stop valve
- 5) Nozzle
- 6) Turbin pelton
- 7) Alternator
- 8) Aki

HASIL PENGUJIAN

Dalam bab ini dibahas hasil pengujian dari *Prototype Turbin Pelton* dengan menggunakan 3 jenis jarak semprot *nozzle* dengan bukaan katup yang bervariasi. Pada dasarnya pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar laju putaran dari *runner Prototype Turbin Pelton* dan daya listrik yang dihasilkan, dimana dalam pengujian alat ini meliputi sebagai berikut :

- a. Pengujian menggunakan jarak semprot *nozzle* berdiameter 50mm dengan bukaan katup (*valve/stop kran*) 30°, 60°, dan 90°.
- b. Pengujian jarak semprot *nozzle* 60mm dengan bukaan katup (*valve/stop kran*) 30°, 60°, dan 90°.
- c. Pengujian menggunakan jarak semprot *nozzle* 70mm dengan bukaan katup (*valve/stop kran*) 30°, 60°, dan 90°.
- d. Diameter nozzle 5 mm.
- e. Pengambilan data selama kurun waktu 5 detik.

Parameter-parameter kinerja *prototype Turbin Pelton*

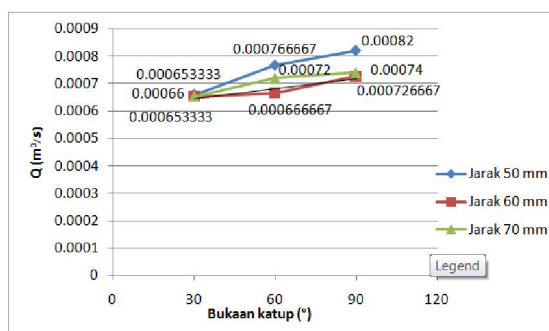
Untuk mengetahui parameter kinerja dari *prototype Turbin Pelton* maka diperlukan rumusan perhitungan dari data pengujian. Dalam pengambilan data pengujian, per bukaan katup dan jarak semprot *nozzle* diambil 3 sampel data dan dihitung untuk mencari rata-rata dari pengujian tersebut. Berikut adalah rekapitulasi dari perhitungan data *prototype Turbin Pelton*.

Tabel 3.1 Rekapitulasi data perhitungan aliran fluida beserta daya listrik yang dihasilkan pada *prototype Turbin Pelton*

No.	Jarak <i>Nozzle</i>	Bukaan Katup	Q (m^3/s)	v (m/s)	m (kg/s)	Re	Rpm	P ($Watt$)
1	50	30°	0,00066	11,21	0,66	67039,77	407,67	10,18
		60°	0,000767	13,02	0,76	77874,48	421,33	10,39
		90°	0,00082	13,53	0,82	83291,83	428,67	10,57
2	60	30°	0,000653	11,10	0,65	66362,60	392,67	10,05
		60°	0,000667	11,32	0,66	67716,94	401,33	10,14
		90°	0,000727	12,34	0,72	73811,46	409,33	10,49
3	70	30°	0,000653	11,10	0,65	66362,60	381,00	9,84
		60°	0,00072	12,23	0,72	73134,29	389,67	10,14
		90°	0,00074	12,57	0,74	75165,80	402,00	10,26

Dari tabel rekapitulasi perhitungan data pada setiap jarak semprot *nozzle* dan bukaan katup diatas, untuk selanjutnya bisa digambarkan diagram alir guna untuk mengetahui pengaruh perbedaan laju aliran fluida pada masing-masing jarak semprot *nozzle* dan bukaan katup terhadap laju putaran *runner* dan daya listrik yang dihasilkan pada *prototype Turbin Pelton*.

Berikut adalah gambar diagram grafik debit aliran fluida yang dihasilkan oleh *prototype Turbin Pelton*.



Gambar 3.1. Grafik hubungan antara bukaan katup dan jarak semprot *nozzle* yang digunakan terhadap debit aliran fluida yang dihasilkan pada *prototype Turbin Pelton*

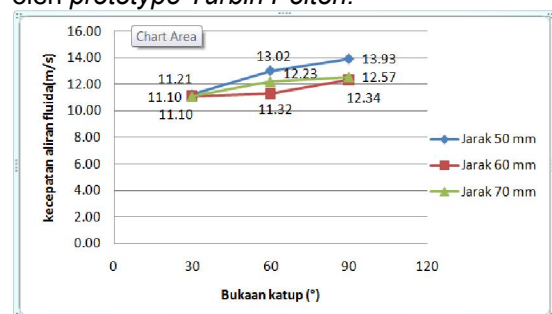
Dari gambar hubungan grafik diatas, diperoleh debit fluida yang bervariasi dari

ketiga bukaan katup dan jarak semprot *nozzle*, bisa dilihat semakin besar bukaan katup yang digunakan, maka debit aliran fluida yang dihasilkan akan semakin banyak pula.

Masing-masing bukaan katup yang divariasikan sudut bukaannya, terlihat debit aliran fluida yang dihasilkan cenderung tidak akurat dari hasil perhitungan yang diterapkan dengan menggunakan rumus perhitungan debit aliran yang dihasilkan, itu dikarenakan pada saat pengambilan data volume air yang dihasilkan oleh ketiga *nozzle* terjadi kelebihan waktu dan adanya sebagian air yg tidak langsung tertampung gelas ukur pada saat pengambilan data berlangsung.

Nilai debit terbanyak terdapat pada pemakaian *nozzle* pada jarak semprot 50 mm pada saat bukaan katup 90° yaitu menghasilkan nilai debit aliran fluida sebanyak $0,00082 \text{ m}^3 / \text{s}$, sedangkan yang terendah terdapat pada pemakaian *nozzle* pada jarak semprot 70 mm pada saat bukaan katup 30° yaitu menghasilkan nilai debit aliran fluida hanya $0,000653333 \text{ m}^3 / \text{s}$. Perhitungan nilai debit fluida juga dipengaruhi oleh bukaan katup dan volume fluida yang diambil dalam kurun waktu tertentu yang ditampung pada gelas ukur, dimana semakin lamanya waktu yang digunakan pada saat melakukan pengambilan data volume fluida, maka semakin banyak pula volume fluida yang didapatkan.

Berikut adalah gambar diagram grafik laju aliran *massa* aliran fluida yang dihasilkan oleh *prototype Turbin Pelton*.



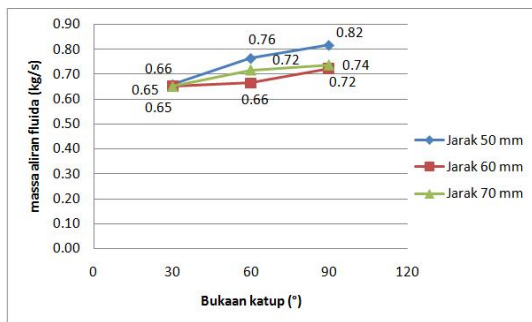
Gambar 3.3. Grafik hubungan antara bukaan katup dan ukuran *nozzle* yang digunakan terhadap laju aliran *massa* fluida pada *prototype Turbin Pelton*

Hasil perhitungan laju kecepatan aliran fluida dipengaruhi oleh perolehan debit aliran fluida yang didapat dari perhitungan dan juga luas penampang pipa *nozzle* bagian dalam, semakin besar ukuran luas penampang pada *nozzle*, maka semakin besar laju kecepatan aliran fluida yang dihasilkan. Faktor lain yang

mempengaruhi laju kecepatan aliran fluida adalah faktor pendukung untuk mengalirkan suatu aliran fluida dari satu tempat ketempat lain. Didalam pengambilan data, faktor pendukung yang digunakan adalah berupa pompa sentrifugal jenis semi jet pomp. Sehingga kecepatan aliran yang berada didalam pipa tergantung pula pada kapasitas *head* pompa yang dihasilkan.

Dari setiap pemakaian variasi ukuran jarak semprot *nozzle* yang digunakan dan juga bukaan katup yaitu 30°, 60°, dan 90°, yang menghasilkan nilai kecepatan aliran fluida yan tertinggi yaitu 13,93 m/s dengan debit aliran fluida sebanyak 0,00082 m³/s pada saat katub terbuka 90°, sedangkan yang terendah terdapat pada jarak semprot *nozzle* 60 mm dan 70 mm pada saat bukaan katup 30°, yaitu menghasilkan nilai kecepatan aliran fluida masing-masing 11,10 m/s dengan debit aliran fluida sebanyak 0,653333 m³/s.

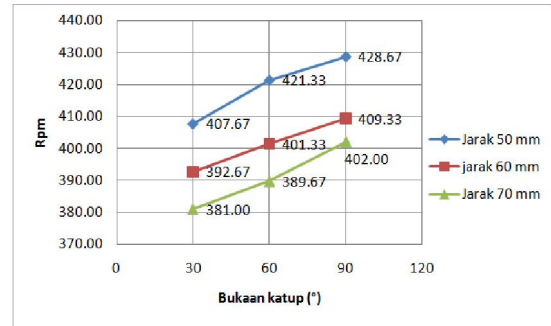
Berikut adalah gambar diagram grafik laju laju aliran massa yang dihasilkan oleh *prototype Turbin Pelton*



Gambar 5.4. Grafik hubungan antara bukaan katup dan jarak semprot *nozzle* yang digunakan terhadap laju aliran *massa* fluida pada *prototype Turbin Pelton*

Semakin besar luas penampang diameter *nozzle* yang digunakan dan debit aliran fluida yang dihasilkan, maka semakin besar pula laju aliran *massa* fluida yang diperoleh. Hal ini dikarenakan setiap fluida mempunyai kerapatan *massa* jenis fluida (*density*) yang berbeda-beda, sedangkan untuk kerapatan *massa* jenis fluida dipengaruhi oleh suhu temperatur fluida itu sendiri. Semakin tinggi harga temperatur fluida, maka semakin rendah harga kerapatan *massa* jenis fluida yang didapatkan.

Berikut adalah gambar diagram grafik laju kecepatan putaran *runner* yang dihasilkan oleh *prototype Turbin Pelton*.



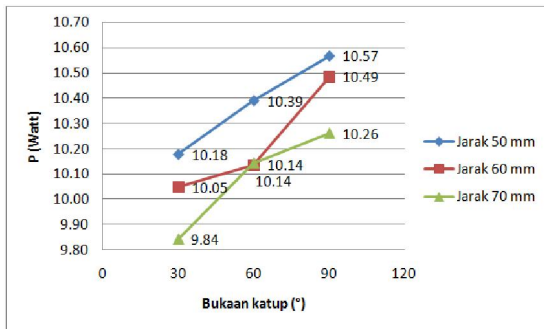
Gambar 3.4. Grafik hubungan antara bukaan katup dan jarak semprot *nozzle* yang digunakan terhadap laju putaran *runner prototype Turbin Pelton*

Pengaruh kecepatan dari *Turbin Pelton* dipengaruhi oleh instalasi *Head* pipa pesat, ukuran diameter dari *runner* turbin itu sendiri, dan juga tentunya jumlah *nozzle* beserta jarak semprot *nozzle* terhadap sudu, semakin tinggi harga instalasi *Head* pipa pesat dan semakin sedikit pula pembagian jumlah *nozzle* maka semakin tinggi harga kecepatan aliran fluida yang dihasilkan untuk memutar *runner* itu sendiri.

Pada proses pengamatan pengujian *prototype Turbin Pelton* yang telah dibuat, untuk *Head* fluida direkayasa dengan menggunakan bantuan pompa, jadi *Head* laju aliran dipengaruhi oleh harga kapasitas pompa yang disediakan. Selain itu terdapat juga harga laju aliran *massa* yang dibutuhkan untuk mendorong daun-daun sudu tersebut. Tetapi semua itu harus terukur secara signifikan, bilamana kecepatan laju aliran fluida mempunyai harga tinggi sedangkan untuk harga laju aliran *massa* tidak signifikan, maka beban yang diterima oleh daun sudu cenderung melemah sehingga mempengaruhi laju putar dari *runner* tersebut.

Pada grafik hubungan yang saling menghubungkan antara, laju kecepatan fluida, laju aliran *massa* fluida, dan juga laju putaran *runner* yang dihasilkan. Bisa dilihat, pada jarak semprot *nozzle* 70 mm cenderung melemah laju putaran *runner* yang dihasilkan dikarenakannya laju kecepatan aliran fluida dan laju aliran *massa* fluida tidak signifikan harganya. Sedangkan untuk penggunaan jarak semprot *nozzle* 50 mm, bertambah tinggi untuk harga laju putaran *runner* yang dihasilkan, itu dikarenakan bertambahnya tekanan air pada sudu, laju kecepatan fluida dan laju aliran *massa* fluida sangat signifikan harganya.

Berikut adalah gambar diagram grafik daya listrik yang dihasilkan oleh *prototype Turbin Pelton*.



Gambar 3.5. Grafik hubungan antara bukaan katup dan jarak semprot nozzle yang digunakan terhadap daya listrik yang dihasilkan oleh *prototype Turbin Pelton*

Harga dari daya listrik yang dihasilkan pada *prototype Turbin Pelton* tergantung pada seberapa cepat laju putaran *runner* yang dihasilkan, semakin cepat laju putaran *runner* yang dihasilkan, maka semakin besar pula harga daya listrik yang dihasilkan. Dan sebaliknya, semakin lemah laju putaran yang dihasilkan oleh *runner* semakin lemah pula harga daya listrik yang dihasilkan.

Bisa dilihat dari diagram diatas, harga tertinggi daya listrik yang dihasilkan oleh *prototype Turbin Pelton* terjadi pada jarak semprot nozzle 50 mm pada saat katup terbuka 90° yaitu menghasilkan harga daya listrik sebesar 10,57 Watt. Sedangkan pada jarak semprot 70 mm cenderung melemah yaitu hanya mendapatkan harga daya listrik sebesar 9,84 Watt pada saat katup terbuka 30°.

Kesimpulan dan saran

Dari hasil pengujian pengaruh jarak semprot nozzle terhadap putaran *runner* dan daya listrik yang dihasilkan pada *prototype Turbin Pelton*, dengan jarak semprot 50 mm, 60 mm, 70 mm bukaan katup yaitu 30°, 60° dan 90°, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Perolehan laju putaran *runner prototype Turbin Pelton* yang paling tinggi terdapat pada jarak semprot nozzle 50 mm saat bukaan katup 90° dengan laju putaran *runner* sebesar 428,67 Rpm, menghasilkan daya listrik sebesar 10,57 Watt, dengan debit aliran fluida (Q) yang dihasilkan sebanyak 0,00082 m³/s, sedangkan untuk putaran terendah pada jarak semprot 70 mm saat bukaan katup

30° dengan laju putaran 381,00 Rpm, menghasilkan daya listrik 9,84 Watt, dengan debit aliran fluida (Q) yang dihasilkan sebanyak 0,00074 m³/s.

- 2) kecepatan aliran fluida perolehan harga yang lebih tinggi terdapat pada jarak semprot nozzle 50 mm saat bukaan katup 90° yaitu 13,93 m/s. Dengan laju aliran massa sebesar 0,82 m³/s.
- 3) Dalam hal laju aliran massa fluida semakin besar bukaan katup maka semakin besar pula laju aliran massa fluida dan debit aliran fluida yang dihasilkan. Hasil tertinggi dari laju aliran massa fluida yaitu pada jarak semprot 50 mm saat bukaan katup 90° memperoleh laju aliran massa fluida sebesar 0,82 kg/s dan menghasilkan debit aliran (Q) sebanyak 0,00082 m³/s.
- 4) Pada nilai bilangan Reynold yang telah dihasilkan dari setiap percobaan, hal yang mempengaruhi besar kecilnya bilangan Reynold adalah dari kecepatan fluida dan bukaan katup. Semakin besar kecepatan aliran fluida & jarak semprot, nilai bilangan Reynold yang besar terdapat pada saat jarak semprot nozzle 50 mm pada saat katup terbuka 60°. Dan terbukti dari hasil analisa dari setiap pengambilan data percobaan, semua aliran yang dibutuhkan untuk memutar *runner prototype Turbin Pelton* berjenis aliran Turbulen.

Untuk pengembangan pengujian *prototype Turbin Pelton* berikutnya, tentunya dapat memperhatikan saran sebagai berikut,

- 1) untuk pengembangan pengujian yang selanjutnya untuk menaikkan laju putaran *runner prototype Turbin Pelton*, cobalah untuk mengganti pompa. Karna setiap jenis pompa pasti berbeda dan mempengaruhi laju kecepatan aliran fluida terhadap laju kecepatan putaran *runner prototype Turbin Pelton*.
- 2) untuk runner turbin pelton hendaknya di las dengan baik karena ketika daun sudu tidak di las dengan baik bias mengakibatkan daun sudu terlepas akibat tekanan air yang keluar dari nozzle.
- 3) Pada waktu pengujian air dalam bak penampungan (*reservoir*) haruslah dalam keadaan penuh, karna itu

sangat mempengaruhi tekanan air pada saat air dihisap masuk ke dalam pompa.

- 4) Untuk pengambilan volume air hendaknya menggunakan gelas ukur yang ukuran besar sehingga pada saat pengambilan sampel volume air, air tidak ada yang tumpah.

DAFTAR PUSTAKA

1. Dietzel Fritz, 1988 *"Turbin Pompa dan Kompresor"*. Erlangga, Jakarta
2. [Dandekar, M.M. & Sharma, K.N, 1991. *"Pembangkit listrik Tenaga Air"*. UIP
3. 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
4. Rendi,(2013),*"Pengaruh Jarak dan Ukuran nozzle"*
5. Arianto, et all (2012), *"model sudu dan nozzle pada turbin pelton sebagai pembangkit listrik tenaga mikrohidro"*
6. Fasha, (2013) *"pengaruh ukuran diameter nozzle 7dan 9mm terhadap putaran sudu dan daya listrik yang dihasilkan"*