

RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO JENIS TURBIN PELTON SKALA LABORATORIUM

Ignatius Gunawan Widodo^{1)*}, Ampala Khoryanton²⁾, Agus Pramono³⁾, Gutomo³⁾, Eni Safriana⁴⁾

^{1, 2, 3, 4}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. H. Soedarto S.H., Tembalang, Semarang 50275, Telp. +62247473417

*Email : Ignatius.gunawan.widodo@polines.ac.id

Abstract

Small-scale hydroelectric power plants are currently being developed in many developing countries, both on mini-hydro, micro- and pico-hydro scales. Currently the development of small-scale hydropower which belongs to the renewable energy group is being intensively developed in Indonesia, bearing in mind that many remote and underdeveloped areas do not yet have a source of electrical energy from the government because of access roads and locations that are very far from sources of power plants. The purpose of this study is to design and build a Pelton turbine with a capacity of below 500 watts which can be applied to low water source heights and can be moved according to the needs of its use. In this design the Pelton turbine type picohydro power plant uses a laboratory scale with pump pressure as a substitute for the height and water discharge that drives the turbine. The method in this study includes component design, component manufacture and assembly and testing of Pelton turbines. The results of the design of the Pelton turbine type water turbine nozzle water velocity is 6.59 m/s, the nozzle diameter is 16 mm, the nozzle diameter is 129 mm, the number of blades is 16, the blade width is 40.36 mm, the blade height is 40.36 mm, the blade depth is 14.53 mm, the diameter of the turbine shaft is 20 mm. The pipe is connected to two pumps with a discharge capacity of 81 L/minute and a head of 36 m as the driving force, with pipes with a diameter of ¾". The test results show that the performance of the Pelton turbine is with a maximum pressure of 15 psi, a maximum effective power capacity of 87 watts, an efficiency of 24%, with a voltage of 220 v, amperes of 0.39 A, rotation of 212 rpm.

Keywords: Water Source, Pelton Turbine, Electrical power

Abstrak

Pembangkit listrik tenaga air skala kecil, saat ini banyak dikembangkan di banyak Negara berkembang, baik skala minihidro, mikro maupun picohidro. Saat ini pembangunan tenaga air skala kecil yang termasuk kelompok energi terbarukan lagi gencar dikembangkan di Indonesia, mengingat banyak daerah-daerah terpencil dan tertinggal belum memiliki sumber energi listrik dari pemerintah karena akses jalan dan lokasi yang sangat jauh dari sumber-sumber pembangkit listrik. Tujuan penelitian ini adalah melakukan rancang bangun turbin pelton kapasitas dibawah 500 watt yang dapat diaplikasikan pada ketinggian sumber air yang rendah dan dapat dipindah-pindahkan sesuai kebutuhan pemakaiannya. Pada perancangan ini pembangkit listrik tenaga pikohidro jenis turbin pelton menggunakan skala laboratorium dengan tekanan pompa sebagai pengganti ketinggian dan debit air yang menggerakkan turbin. Metode dalam penelitian ini meliputi perancangan komponen, pembuatan komponen dan perakitan serta pengujian turbin pelton. Hasil perancangan turbin air jenis turbin pelton kecepatan air keluar nozel 6,59 m/s, diameter nozel 16 mm, diameter tusuk runner 129 mm, jumlah sudu 16, lebar sudu 40,36 mm, tinggi sudu 40,36 mm, kedalaman sudu 14,53 mm, diameter poros turbin 20 mm. Pipa dihubungkan dengan dua buah pompa kapasitas debit 81 L/menit dan head 36 m sebagai penggerak, dengan pipa berdiameter ¾".

Hasil pengujian menghasilkan unjuk kerja turbin pelton dengan tekanan paling besar 15 psi, kapasitas daya efektif maksimal 87 watt, efisiensi 24%, dengan voltase 220 v ampere 0,39 A, putaran 212 rpm.

Kata kunci : Sumber Air, Turbin Pelton, daya Listrik

PENDAHULUAN

Di Indonesia kebutuhan energi listrik sebagian besar dipasok oleh PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) yang mana sumber energinya adalah batu bara. PLTU memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan jenis pembangkit listrik lainnya. Keunggulan tersebut antara lain dapat dioperasikan menggunakan berbagai jenis bahan bakar (padat, cair dan gas), dapat dibangun dengan kapasitas yang

bervariasi, dapat dioperasikan dengan berbagai mode pembebanan dan kontinuitas operasinya tinggi. Namun PLTU juga memiliki kelemahan seperti sangat tergantung pada tersedianya pasokan bahan bakar fosil yang akan habis di masa mendatang.

Koordinator Nasional Publish What You Pay (PWYP) Indonesia tahun 2018 mengatakan bahwa pertumbuhan konsumsi energi Indonesia rata-rata mencapai 4% per tahunnya. Konsumsi listrik nasional terus menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya akses listrik atau elektrifikasi serta perubahan gaya hidup masyarakat. (Embu,2018). Terlepas dari angka kenaikan konsumsi energi listrik tersebut, bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang masih sangat mendominasi pada sistem pembangkitan energi listrik. Kondisi penggunaan energi fosil seperti minyak bumi pada tahun 2013 mencapai 46%. Sementara penggunaan energi baru terbarukan masih sangat kecil sebesar 5%. Padahal Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menargetkan penggunaan energi baru terbarukan untuk tahun 2025 yang tertuang dalam Peraturan Pemerintah No.79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional sebesar 23%.

Di Indonesia, masih banyak daerah pedalaman yang belum dilewati jaringan PLN. Daerah pedalaman ini menjadi tempat yang terisolasi dan bergantung pada pemakaian energy tradisional yang tidak dapat diandalkan. Energi baru terbarukan menjadi solusi praktis terhadap kebutuhan energi di pedesaan dan dapat mudah diimplementasikan. Banyak alasan mengapa energy terbarukan menjadi pilihan, diantaranya: tersedia secara melimpah; tidak akan habis; relatif tidak mahal; mudah implementasinya; ramah lingkungan, tidak menimbulkan polusi; tidak memerlukan perawatan yang kompleks dan dapat memberikan peluang kemandirian kepada masyarakat pedesaan.

Sumber energi baru terbarukan memiliki beragam jenis diantaranya adalah energi air, matahari, angin, dan lain sebagainya. Sumber energi terbarukan jika dapat dimanfaatkan dengan maksimal akan memberikan dampak kepada ketersediaan energi bersih dimasa depan. Secara tidak langsung pemanfaatan energi baru terbarukan juga memberikan pengaruh yang besar terhadap keberlangsungan makhluk hidup lainnya.

Untuk energi air sendiri, Indonesia memiliki potensi besar untuk mengembangkan pembangkit listrik tenaga air dikarenakan kondisi topografi Indonesia. Kita dapat memanfaatkan energi air dari ombak atau gelombang, arus sungai atau pun energi potensial air akibat dari perbedaan ketinggian muka air. Energi air ini merupakan potensi yang sangat layak dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik di daerah pedesaan dengan daerah yang banyak dilalui aliran sungai. Energi potensial ini dapat dimanfaatkan untuk memenuhi penerangan rumah, menggerakkan pompa, menghidupkan televisi dan lain lainnya.

Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) merupakan pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti saluran irigasi, sungai, atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan dan jumlah debit air. Secara teknis, pikohidro memiliki 3 komponen utama, yaitu air sebagai sumber energi, turbin dan generator. Pikohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pikohidro memanfaatkan energi potensial jatuhan air, semakin tinggi jatuhan air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Di samping faktor geografis, tinggi jatuhan air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi.

Berdasarkan masalah di atas, peneliti memiliki gagasan untuk membuat rancang bangun pembangkit listrik tenaga air jenis turbin pelton skala laboratorium untuk media pembelajaran di laboratorium Perawatan dan Perbaikan Teknik Mesin Polines pada mata kuliah praktikum uji kinerja Mesin dan mata kuliah mesin kalor dan mesin fluida. Diharapkan hasil rancang bangun ini dapat dimanfaatkan sebagai praktikum turbin pelton skala laboratorium sebagai media pembelajaran yang dapat menambah pengetahuan dan pemahaman mahasiswa Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang. Pada rancang bangun simulasi pembangkit listrik picohidro dipilih jenis turbin Pelton. Turbin Pelton ini merupakan turbin aksial impuls. Turbin Pelton terdiri dari satu set mangkol, yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut nosel

METODOLOGI

Metodelogi yang pada penelitian ini menggunakan beberapa metode, yaitu :

1. Perancangan dan Pembuatan Gambar

Tahap ini terdiri dari beberapa kegiatan diantaranya perancangan untuk menentukan dimensi turbin, pemilihan bahan, dan membuat gambar kerja sesuai dimensi yang telah ditentukan.

2. Pembuatan Komponen

Tahap pembuatan komponen turbin sesuai hasil rancangan dan dilanjutkan dengan perakitan sehingga sistem pembangkit listrik terbangun. Perakitan dari komponen-komponen yang telah dibuat dengan memperhatikan aspek perancangan.

3. Pengujian Kinerja Mesin dan analisa hasil

Menguji alat yang telah dibuat guna mengetahui dari rancangan yang telah dibuat. Apabila nanti masih ada kekurangan, diharapkan alat ini dapat diperbaiki dan disempurnakan kembali sehingga tujuan akhir pembuatan alat dapat tercapai dengan sempurna. Proses analisa data yang dilakukan yaitu dengan metode analisis.

PerancanganTurbin Pelton

Perhitungan rancangan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut. Nosel, sudu dan runner turbin :

a) Kecepatan pancaran air keluar nozel :

$$C_1 = kc \times \sqrt{2gxH}$$

(kc =KoefisienNozel -0.0 s/d 0.98)

Dimana :

g = gravitasi (m/det²)

H = head /tinggi tekan (m)

Z = Kecepatan Keliling runner

3) Persamaan Daya

$$P_{hidrotik} : p g Q H$$

Dimana :

p = density (kg/dm³)

g = gaya grafitasi

Q = laju aliran (m/dt)

H = Head/tinggi tekan (m)

4) Diameter Nozel

$$d_n = \sqrt{\frac{4Qt}{\pi c_1}}$$

5) Diameter Runner

$$d_{drum} = \frac{60.U.i}{\pi.n}$$

$n = \text{putaran}$

6) Jumlah sudu

$$z = \frac{\pi D d_{\text{rum}}}{2 d_n}$$

7) Dimensi sudu

Lebar sudu

$$b = 3,2 \times d_n$$

Kedalaman sudu

$$t = 0,9 \times d_n$$

Lebar bukaan sudu

$$a = 1,2 \times d_n$$

Panjang mangkok

$$H = 2,7 \times d_n$$

Perancangan Poros Turbin

Perancangan diameter poros turbin menggunakan persamaan sebagai berikut :

1) Daya yang akan diterima oleh turbin

$$P_d = f_c \times P_{\text{Turbin}}$$

f_c adalah factor koreksi daya yang akan ditransmisikan, adapun nilai f_c sendiri diambil dari koefisien tergantung nilai daya yang di trasnmisikan.

2) Momen punter maksimal.

$$T = (9,74 \times 10^5) \times \frac{P_d}{n \text{ sinkron}}$$

3) Tegangan geser maksimal.

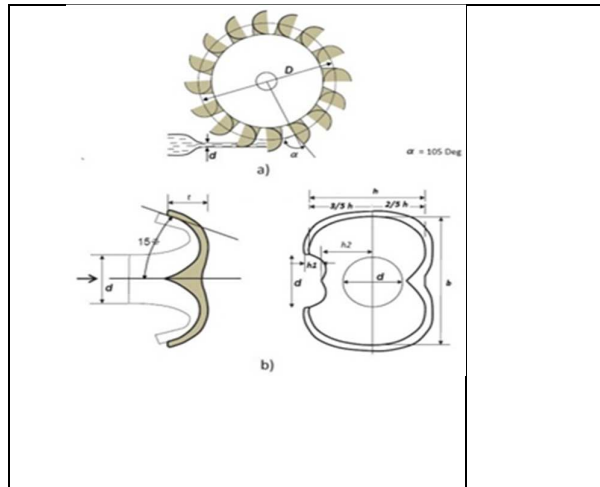
$$\tau_a = \frac{\tau B}{s f_1 + s f_2}$$

4) Diameter Poros

$$D_p = \left\{ \frac{5,1}{\tau_a} \times K c x C b x T \right\}^{2/3}$$

Tabel 2.1. Hasil rancangan sebagai berikut :

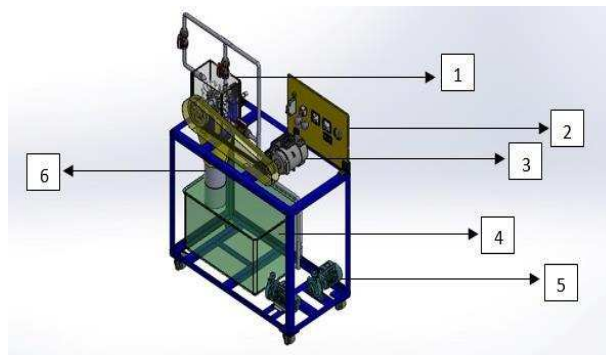
Nama komponen	Ukuran
1. Kecepatan keluar nozel	6,59 m/s
2. Diameter nozel	16 mm
3. Diameter tusuk runner	129 mm
4. Jumlah sudu	16
5. Lebar sudu	40,36 mm
6. Tinggi sudu	40,36 mm
7. Kedalaman sudu	14,53
8. Diameter poros	20 mm



HASIL DAN PEMBAHASAN

Turbin Pelton skala Laboratorium

Pada perancangan ini turbin pelton dibuat pada skala laboratorium dengan menggunakan pompa sebagai pendorong pancaran air menuju sudu-sudu turbin sebagaimana pada gambar 3.1. dibawah ini.



Gambar 3.1 Turbin Pelton skala laboratorium

Keterangan :

1. Turbin pelton
2. Panel monitor
3. Generator
4. Tangki air
5. Pompa air
6. Hooper

Prinsip Kerja

Prinsip kerja mesin ini menggunakan pompa air untuk menggerakkan turbin yang akan di transmisikan dengan puli dan sabuk v untuk memutarakan generator sehingga dapat menghasilkan listrik. Pada mesin ini memanfaatkan sumber daya berupa air untuk dimanfaatkan untuk membuat energy mekanik yang digunakan untuk menggerakkan generator sehingga diubah menjadi energi listrik.

Air dari tangki dipompa melalui pipa-pipa yang diatur debitnya melalui bukaan kran, air menuju nozel untuk menggerakkan sudu-sudu turbin sehingga menghasilkan putaran pada poros turbin. Selanjutnya putaran poros turbin ditransmisikan dengan sabuk dan puli yang digunakan untuk menggerakkan poros generator, sehingga generator menghasilkan energy listrik yang akan ditunjukkan pada monitor alat ukur yang meliputi tekanan air daari pompa (p), putaran turbin (n) , voltase (V), ampere (A) dan lampu pembebanan.

Jumlah nozzle yang menumbuk sudu-sudu turbin dibuat dengan variasi tiga buah nozel, sehingga dapat dilakukan percobaan dengan 1 buah nozel, 2 buah nozel, dan 3 buah nozel, digunakan sebagai media pembelajaran laboratorium untuk menganalisa uji kinerja mesin turbin pelton.

KODE	P	VAC	VDC	N	A
N1,B1,C	15	220	13.5	212	0,1
N1,B2,C	14.5	220	13	210	0,2
N1,B3,C	14.5	219.5	13.5	207	0,3
N2,B1,C	6	220	13	204	0,1
N2,B2,C	6	220	13	198	0,2
N2,B3,C	6.5	219.5	13	194	0,3
N3,B1,C	0.5	220	12.5	175	0,1
N3,B2,C	0.5	220	12.5	173	0,2
N3,B3,C	0.5	219.5	11.5	166	0,3

Hasil Pengujian

Proses pengujian merupakan suatu uji coba dari keberhasilan alat atau mesin yang dirancang berdasarkan tujuan dan fungsi dari pembuatan alat atau mesin tersebut. Proses pengujian dilakukan dengan cara menjalankan turbin pelton, mengamati hasil luaran pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Jenis Turbin Pelton. Hasil dari seluruh proses pengujian yang dilakukan dicatat dan ditabelkan sebagai data pengujian.

Berikut ditampilkan tabel dan grafik hasil pengujian :

Tabel 3.1 Pengujian Pompa 1 dan 2 dengan Variabel Bukaan jumlah *Nozzle* dan Pemberian beban

Keterangan kode pengujian:

N1 = Bukaan nozzle 1

N2 = Bukaan nozzle 2

N3 = Bukaan nozzle 3

B1 = 1 lampu

B2 = 2 lampu

B3 = 2 lampu, 1 kipas

A = Pompa 1

B = Pompa 2

C = Pompa 1 dan pompa 2

P = Tekanan (Psi)

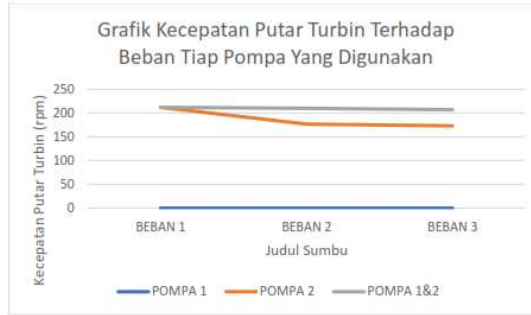
VAC = Voltase AC

VDC = Voltase DC

N = Kecepatan putar

A = Ampere

Grafik hasil Pengujian



Gambar 3.1 Grafik Kecepatan Putar Turbin Terhadap Beban Tiap Pompa Yang Digunakan



Gambar 3.2 Grafik Daya Terhadap Kecepatan Putar Turbin

Pembahasan

Dari data yang telah didapatkan dari pengujian, dapat analisa sebagai berikut :

1. Pada pengujian pompa 1 dengan kondisi bukaan nozzle 3, 2 maupun 1, diberi beban B1, B2 maupun B3, didapatkan hasil bahwa turbin tidak dapat berputar.
2. Pada pengujian pompa 2 dengan kondisi bukaan nozzle 3 maupun 2, diberi beban B1, B2 maupun B3, didapatkan hasil bahwa turbin tidak dapat berputar.
3. Pada pengujian pompa 2 dengan kondisi bukaan nozzle 1, diberi beban B1, didapatkan hasil bahwa turbin berputar 180 rpm, voltase AC 219v, tekanan 7 psi, voltase DC 13 v dan ampere sebesar 0,11A.
4. Pada pengujian pompa 2 dengan kondisi bukaan nozzle 1, diberi beban B2, didapatkan hasil bahwa turbin berputar 177 rpm, voltase AC 219,5 v, tekanan 7 psi, voltase DC 13 v dan ampere sebesar 0,22 A.
5. Pada pengujian pompa 2 dengan kondisi bukaan nozzle 1, diberi beban B3, didapatkan hasil bahwa turbin berputar 173 rpm, voltase AC 210 V, tekanan 7 psi, voltase DC 12 v dan ampere sebesar 0,39 A.
6. Pada pengujian kedua pompa (pompa 1 + pompa 2) dengan kondisi bukaan nozzle 3, diberi beban B1, didapatkan hasil bahwa turbin berputar 175 rpm, voltase AC 220 v, tekanan 0,5 psi, voltase DC 12,5 v dan ampere sebesar 0,11A.
7. Pada pengujian kedua pompa (pompa 1 + pompa 2) dengan kondisi bukaan nozzle 3, diberi beban B2, didapatkan hasil bahwa turbin berputar 173 rpm, voltase AC 220 v, tekanan 0,5 psi, voltase DC 12,5 v dan ampere sebesar 0,22A.
8. Pada pengujian kedua pompa (pompa 1 + pompa 2) dengan kondisi bukaan nozzle 3, diberi beban B3, didapatkan hasil bahwa turbin berputar 166 rpm, voltase AC 219,5 v, tekanan 0,5 psi, voltase DC 11,5 v dan ampere sebesar 0,39 A.

9. Pada pengujian kedua pompa (pompa 1 + pompa 2) dengan kondisi bukaan nozzle 2, diberi beban B1, didapatkan hasil bahwa turbin berputar 204 rpm, voltase AC 220 v, tekanan 6 psi, voltase DC 13 V, ampere 0,11 A.
10. Pada pengujian kedua pompa (pompa 1 + pompa 2) dengan kondisi bukaan nozzle 2, diberi beban B2, didapatkan hasil bahwa turbin berputar 198 rpm, voltase AC 220 v, tekanan 6 psi, voltase DC 13 v dan ampere 0,22 A.
11. Pada pengujian kedua pompa (pompa 1 + pompa 2) dengan kondisi bukaan nozzle 2, diberi beban B3, didapatkan hasil bahwa turbin berputar 194 rpm, voltase AC 219,5 v, tekanan 6,5 psi, voltase DC 13v dan ampere 0,39 A.
12. Pada pengujian kedua pompa (pompa 1 + pompa 2) dengan kondisi bukaan nozzle 1, diberi beban B1, didapatkan hasil bahwa turbin berputar 212 rpm, voltase AC 220 v, tekanan 15 psi, voltase DC 13,5 v dan ampere 0,11 A.
13. Pada pengujian kedua pompa (pompa 1 + pompa 2) dengan kondisi bukaan nozzle 1, diberi beban B2, didapatkan hasil bahwa turbin berputar 210 rpm, voltase AC 220 v, tekanan 14,5 psi, voltase DC 13 v dan ampere 0,22 A.
14. Pada pengujian kedua pompa (pompa 1 + pompa 2) dengan kondisi bukaan nozzle 1, diberi beban B3, didapatkan hasil bahwa turbin berputar 207 rpm, voltase AC 219,5 v, tekanan 14,5 psi, voltase DC 13,5 v dan ampere 0,39 A.

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan pompa 1, dapat dianalisis bahwa dengan kondisi bukaan nozzle 3, bukaan nozzle 2 maupun bukaan nozzle 1, diberi beban B1, B2 maupun B3, didapatkan hasil bahwa turbin tidak dapat berputar. Hal ini terjadi karena debit pada pompa terbagi menjadi 2 dan 3 nozel sehingga kecepatan akan turun dan tidak mampu mendorong sudu turbin.

Untuk hasil pengujian menggunakan kedua pompa, pada semua kondisi bukaan *nozzle* dan semua kondisi beban, didapatkan hasil bahwa turbin dapat berputar. Pada kondisi bukaan *nozzle* 1 beban 1, turbin berputar dengan kecepatan paling tinggi yaitu 212 rpm dan didapatkan tekanan 15 psi, voltase AC 220 v, voltase DC 13,5 v, ampere 0,11 A. Sedangkan pada kondisi bukaan *nozzle* 3 beban 3, turbin berputar dengan kecepatan paling rendah yaitu 166 rpm dan didapatkan tekanan 0,5 psi, voltase AC 219,5 v, voltase DC 11,5 v, ampere 0,39A.

Pada pengujian kecepatan putar turbin, didapatkan hasil bahwa semakin besar beban yang digunakan maka semakin berkurang kecepatan putar turbin. Sedangkan pada pengujian daya yang dihasilkan oleh turbin, didapatkan bahwa semakin tinggi kecepatan putar turbin maka semakin tinggi pula daya yang dihasilkan.

Pada pengujian kedua pompa (pompa 1 + pompa 2) dengan kondisi bukaan *nozzle 1* menghasilkan daya potensial paling besar yaitu 87 Watt, dengan beban maksimal 2 (dua) buah lampu masing-masing 25 watt dan 1 kipas dengan daya 37 watt, dengan efisiensi 24%

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari keseluruhan proses dalam perancangan dan pengujian Pembangkit Listrik Pihidro Jenis Turbin Pelton” yaitu :

1. Untuk menghasilkan keluaran generator mendekati 500 watt harus menggunakan tekanan air yang memiliki ketinggian dan debit air yang lebih besar, dengan mempertimbangkan pemilihan pompa dengan spesifikasi sesuai (debit dan head tinggi).

2. Untuk perancangan nozel sehingga mendapatkan kecepatan yang lebih besar pada nozel dan memperoleh putaran yang optimal, pastikan keluaran air dari nozzle memiliki debit yang sama pada setiap nozel.
3. Untuk mengurangi rugi-rugi dari instalasi pipa harusnya instalasi pompa dibuat lebih sederhana disesuaikan dengan kondisi ketinggian tangki air.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] AG, F. K. G. S. (1997). Rolling bearing lubrication. Publ. No. WL, 81(115), 4.
- [2] Anas, Muhammad. Alat peraga dan media pembelajaran. Muhammad Anas, 2014.
- [3] Budynass, G. R., & J. Keith Nisbett. 2011. Shigley's Mechanical Engineering *Design*.
- [4] Cross, N. (1989). *Engineering Design Methods*. Wiley.
- [5] Handoko, B. (2021). RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKO HIDRO DENGAN MEMANFAATKAN ALIRAN IRIGASI DIDESA PADANG CERMIN KABUPATEN LANGKAT. Kumpulan Karya Ilmiah Mahasiswa Fakultas sains dan Teknologi, 2(2), 70-70.
- [6] Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (2005). A textbook of machine design. S. Chand publishing.
- [7] Mafrudin, M., Irawan, D. (2020). Turbin Impuls. Laduny Alifatama.
- [8] Mott, R. L. (2004). Machine elements in mechanical design. Pearson Educación.
 - a. Ratnata, I. W., Surya, S. W., & Somantri,
- [9] Proceedings of the FPTK Expo—UP(2013) “ Analisis Potensi Pembangkit Energi Listrik Tenaga Air Di Saluran Air Sekitar Universitas Pendidikan Indonesia. I., Bandung, Indonesia, 1314.
- [10] Sularso, K. S., & Suga, K. (2008). Dasar Perencanaan dan Pemilihan Mesin. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [11] Yunus, A. Cengel, and M. Cimbala John. 2004. 148 Fluid Mechanics Fundamentals and Applications.