

RANCANG BANGUN PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) TURBIN PELTON

THE DESIGN OF PELTON TURBINE MICRO HYDRO POWER PLANT PROTOTYPE

Aida Syarif*¹, Lety Trisnaliani¹, dan Dimas M Furqon¹

¹Jurusan Teknik Kimia Program Studi Sarjana Terapan Teknik Energi,
Politeknik Negeri Sriwijaya, Jalan Sriwijaya Negara Bukit Besar Palembang
E-mail : *aida_syarif@yahoo.co.id

Abstract

Hydro power utilization as the power plant has been becoming one of the potential solutions to be applied in overcoming limited electricity supply for society in rural areas. Its utilization has been already applied by using waterwheel or water turbine using head potential energy (waterfall) or kinetic energy (river flow). The design of the Micro Hydro Power Plant (PLTMH) equipment in the laboratory scale is analyzed by some factors, they are valve opener, debit and number of blades. At the influencing of the water flow rate on the rotameter and the effect of the maximum of the nozzle valve opener is actually obtained the best generator performance 7.35% at Overshot Horizontal flow with full aperture 100% and water flow rate at 4.5 GPM. Meanwhile, the best number of blades using is at 16 blades which is influences turbine rotation and electrical power generated is 573,9 rpm and 14,7 Watt.

Keywords: PLTMH, Pelton Turbine, Valve Opener, Debit, Number of Blades

PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil (< 100 kW) yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan. Tenaga air berasal dari aliran sungai kecil atau danau yang dibendung dan kemudian dari ketinggian tertentu dan memiliki debit yang sesuai akan menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator listrik. Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Klasifikasi umum pembangkit listrik tenaga air dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

Tipe	Kapasitas (kW)
Mikro Hidro	< 100
Mini Hidro	101-2.000
Small Hidro	2.001-25.000
Large Hidro	>25.000

(Teacher Manual Diploma Hydro Power, 2008)

Potensi sumber daya air yang melimpah di Indonesia karena banyak terdapatnya hutan hujan tropis, membuat kita harus bisa mengembangkan potensi ini, karena air adalah sebagai sumber energi yang dapat terbarukan dan alami. Bila hal ini dapat terus dieksplorasi, konversi air menjadi energi listrik

sangat menguntungkan bagi negeri ini. Di Indonesia telah terdapat banyak sekali PLTMH dan waduk untuk menampung air, tinggal bagaimana kita dapat mengembangkan PLTMH menjadi lebih baik lagi dan lebih efisien (Stevi Nathanael Wenes, 2015).

Pada umumnya PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik. Sebuah skema mikrohidro memerlukan dua hal yaitu, debit air dan ketinggian jatuh (*head*) untuk menghasilkan tenaga yang dapat dimanfaatkan. Hal ini adalah sebuah sistem konversi energi dari bentuk ketinggian dan aliran (energi potensial) kedalam bentuk energi mekanik dan energi listrik. Potensi daya mikrohidro dapat dihitung menggunakan persamaan 1.

$$P = \rho g Q H \eta \quad (1)$$

(Teacher Manual Diploma Hydro Power, 2008)

Dimana:

P = Daya yang dibangkitkan PLTMH (Watt)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

g = gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Q = Debit aliran Air (m^3/s)

H = beda ketinggian (m)

η = efisiensi sistem PLTMH, efisiensi sistem PLTMH umumnya 0,85

Turbin Air

Turbin air adalah turbin yang menggunakan air sebagai fluida kerja. Air mengalir dari tempat yang lebih tinggi menuju tempat yang lebih rendah. Dalam proses aliran didalam pipa, energi potensial berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetik. Didalam turbin, energi kinetik air diubah menjadi energi mekanis dimana air akan memutar roda turbin yang ditransmisikan pada generator untuk menghasilkan energi listrik. Untuk menghitung energi listrik yang dihasilkan dapat digunakan persamaan sebagai berikut (Sari dan Fasha, 2012):

$$P_{listrik} = V \cdot I \quad (2)$$

Dimana:

$P_{Listrik}$ = Energi Listrik (W)
 V = Tegangan (V)
 I = Arus (A)

Klasifikasi Turbin Air Berdasarkan Sistem Aliran Air Pendorong

Turbin air digerakkan karena adanya dorongan aliran air yang tinggi sehingga dapat memutar sudu-sudu turbin. Berikut klasifikasi turbin air berdasarkan aliran arah tembak fluida yaitu *Overshot*, *Undershot* dan *Breastshot* (Morong, 2016).

1. Overshot

Tipe *overshot* adalah tipe turbin air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian atas turbin. Keuntungan dari penggunaan tipe *overshot* ialah:

- Tingkat efisiensi yang tinggi dapat mencapai 85 %.
- Tidak membutuhkan aliran yang deras.
- Konstruksi yang sederhana.
- Mudah dalam perawatan.
- Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terpencil.

Sedangkan kerugian dari tipe *overshot* yaitu:

- Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan sir memerlukan investasi lebih banyak.
- Tidak dapat digunakan untuk mesin putaran tinggi.
- Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan.

2. Undershot

Tipe *undershot* adalah turbin air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian bawah turbin. Keuntungan dari penggunaan tipe *undershot* ialah:

- Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan.
- Konstruksi lebih sederhana.
- Lebih ekonomis.
- Mudah untuk dipindahkan.

Sedangkan kerugian dari tipe *undershot* yaitu:

- Efisiensi kecil (25%-70%)
- Daya yang dihasilkan relatif kecil

3. Breastshot

Tipe *breastshot* adalah tipe turbin air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian tengah turbin. Keuntungan dari tipe *Breastshot* yaitu:

- Tipe ini lebih efisiensi dari tipe *undershot*.
- Dibandingkan tipe *overshot* tinggi jatuhnya lebih pendek.
- Dapat diaplikasikan pada sumber air aliran rata.

Sedangkan kerugian dari tipe *breastshot* yaitu:

- Sudu-sudu dari tipe ini tidak rata seperti tipe *undershot* (lebih rumit).
- Diperlukan pada arus aliran rata.
- Efisiensi lebih kecil daripada tipe *overshot* (20% - 75%).

Turbin Pelton

Turbin Pelton merupakan pengembangan dari turbin Impuls yang ditemukan oleh S.N. Knight pada tahun 1872 dan N.J. Colena pada tahun 1873 dengan memasang mangkok-mangkok pada roda turbin. Setelah itu turbin impuls dikembangkan oleh orang amerika Lester G. Pelton pada tahun 1880 yang melakukan perbaikan dengan penerapan mangkok ganda simetris, punggung membelah membagi jet menjadi dua paruh yang sama yang dibalikan menyamping. Pada turbin Pelton putaran terjadi akibat pembelokan pada mangkok ganda runner Oleh sebab itu turbin pelton disebut juga sebagai turbin pancaran bebas. Turbin Pelton merupakan suatu jenis turbin yang mengandalkan suatu reaksi impuls dari suatu daya yang dihasilkan dari daya hidrolisis. Semakin tinggi head yang dimiliki maka semakin baik untuk turbin jenis ini.

Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai tengah – tengah sudu dan pancara air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya – gaya samping. Turbin Pelton untuk pembangkit skala besar membutuhkan head lebih kurang 150 meter tetapi untuk skala mikro, head 20 meter sudah mencukupi. Turbin Pelton memiliki komponen utama yaitu sudu turbin, nozel dan rumah turbin. Berikut penjelasan mengenai komponen tersebut (Prapti dkk, 2015).

a. Sudu turbin

Sudu turbin ini berbentuk mangkok yang dipasang disekeliling roda jalan (*runner*). Setiap pemotongan pancaran air oleh mangkok pada umumnya terjadi secara mendadak dimana sebagian aliran akan membentur dan sebagian lain terbelokkan ke bagian samping sudu. Untuk menambah panjangnya usia suatu *runner*, digunakan bahan mangkok yang memiliki mutu yang baik misalnya baja tahan karat.

b. Nosel

Nosel adalah alat atau perangkat yang dirancang untuk mengontrol arah atau karakteristik dari aliran fluida (terutama untuk meningkatkan kecepatan) saat keluar (atau memasuki) sebuah ruang tertutup atau pipa. Sebuah nosel sering berbentuk pipa atau tabung dari berbagai variasi luas penampang, dan dapat digunakan untuk mengarahkan atau memodifikasi aliran fluida (cairan atau gas). Nosel sering digunakan untuk mengontrol laju aliran, kecepatan, arah, massa, bentuk, dan / atau tekanan dari aliran yang muncul. Kecepatan nosel dari fluida meningkat sesuai energi tekanannya. Prinsip utama penggunaan nosel untuk fluida air atau tak mampat menggunakan prinsip hukum kontinuitas yaitu kekekalan massa atau menggunakan prinsip Bernoulli dengan pengaruh ketinggian.

c. Rumah Turbin

Rumah turbin ini berfungsi sebagai tempat kedudukan roda jalan dan penahan air yang keluar dari sudu-sudu turbin. Agar *runner* tidak terendam air, posisi rumah turbin harus cukup tinggi diatas permukaan air. Konstruksinya pun harus cukup kuat untuk perlindungan dari kemungkinan mangkok atau *runner* rusak dan terlempar saat turbin beroperasi.

METODOLOGI PENELITIAN

Perlakuan dan Rancangan Percobaan

Dalam penelitian ini terdapat variabel yang diambil yaitu variabel tetap dan variabel tak tetap. Variabel tetap yang diambil berupa 1 jam waktu operasi, sedangkan variabel tak tetap yang diambil berupa debit, jumlah sudu dan arah aliran (*Overshot Horizontal*, *Overshot Vertikal* dan *Undershot*).



Gambar 1. Prototipe PLTMH Turbin Pelton

Tempat dan Waktu Percobaan

Perancangan alat dilakukan di Laboratorium Program Studi Teknik Energi Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang.

Prosedur Percobaan

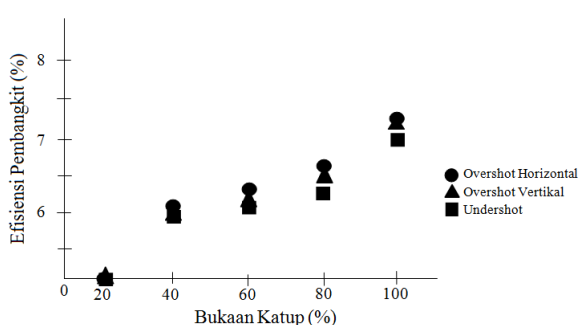
- a. Percobaan pada simulasi PLTMH Turbin Pelton dengan Variasi Buka-an Katup
 1. Menyalakan pompa untuk mulai mengalirkan fluida.
 2. Membuka dan mengatur valve debit sebesar 4.5 GPM.
 3. Membuka dan mengatur valve arah aliran nosel overshoot horizontal buka-an 100%.
 4. Mengamati proses yang terjadi dan putaran yang dihasilkan.
 5. Mengamati tegangan dan arus yang dihasilkan setelah 60 menit pengecasan.
 6. Menghidupkan lampu untuk melihat kemampuan alat menyuplai daya.
 7. Mengulangi percobaan ini untuk besar buka-an valve aliran untuk 80%, 60%, 40% dan 20% serta arah aliran *Overshoot Vertical* dan *Undershot*.
 8. Mematikan pompa untuk mengakhiri proses percobaan.
- b. Percobaan Pada Simulasi PLTMH Turbin Pelton Dengan Variasi Laju Alir
 1. Menyalakan pompa untuk mulai mengalirkan fluida.
 2. Membuka dan mengatur *valve* debit 4,5 GPM.
 3. Membuka penuh *valve nozzle Overshot Horizontal*.
 4. Mengamati proses yang terjadi dan putaran yang dihasilkan.
 5. Mengamati tegangan dan arus yang dihasilkan setelah 60 menit pengecasan aki.
 6. Menghidupkan lampu untuk melihat kemampuan alat menyuplai daya.
 7. Mengulangi percobaan ini untuk laju alir 4, 3,5 dan 3 GPM serta arah aliran *Overshot Vertical* dan *Undershot*.
 8. Mematikan pompa untuk mengakhiri proses percobaan.
- c. Percobaan Pada Simulasi PLTMH Turbin Pelton Dengan Variasi Jumlah Sudu
 1. Mengatur dan menyiapkan jumlah sudu turbin sebanyak 16 buah.
 2. Menyambungkan kabel listrik ke stop kontak.
 3. Menyalakan pompa untuk mengalirkan fluida.
 4. Membuka dan mengatur valve debit sesuai keperluan percobaan.
 5. Membuka dan mengatur valve injektor sesuai keperluan percobaan serta mengamati proses yang terjadi.
 6. Mencatat putaran turbin yang dihasilkan pada display rpm digital.
 7. Mengamati tegangan dan arus yang dihasilkan pada display panel.
 8. Memasangkan lampu pada holder dan menghidupkan lampu untuk melihat kemampuan alat dalam menyuplai daya.
 9. Mengulangi prosedur diatas sebanyak 5 kali percobaan.

10. Setelah pengukuran dari penggunaan sudu 16 buah, melanjutkan pengamatan dengan menggunakan jumlah sudu 12 dan 8 buah.
11. Setelah semua variabel telah dilakukan, mematikan pompa dan menutup semua nozel untuk mengakhiri proses.
12. Mencabut semua kabel listrik dari stop kontak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan Bukaannya Katup Nozel Terhadap Efisiensi Pembangkit

Hubungan antara bukaannya katup nozel terhadap efisiensi pembangkit ditunjukkan pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Grafik Hubungan Pengaruh Bukaannya Katup Nozel Terhadap Efisiensi Pembangkit

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa digunakan 3 jenis aliran air yaitu *Overshot Horizontal*, *Overshot Vertical*, dan *Undershot* terhadap bukaannya katup nozel yang digunakan. Peningkatan efisiensi akibatnya besar bukaannya katup nozel terlihat bahwa peningkatan yang terjadi dimulai pada bukaannya katup 80% dan 100%. Secara desain, tidak ada perubahan pada efisiensi pembangkit yaitu sebesar 6% walaupun terjadi perubahan pada efisiensi turbin yang mengartikan adanya perubahan pada daya mekanik yang dihasilkan. Daya mekanik berhubungan langsung pada pembangkitan daya listrik melalui generator untuk menghidupkan beban listrik yaitu lampu dengan daya 12 Watt.

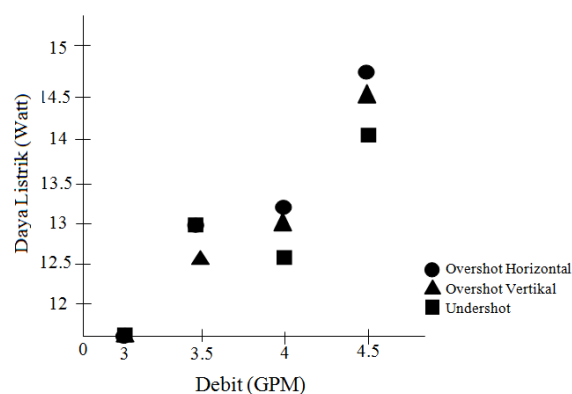
Jika dibandingkan antara ketiga arah aliran yang digunakan, kinerja terbaik diperlihatkan pada arah aliran *Overshot Horizontal* yang memiliki efisiensi pembangkit sebesar 7,35%. Sedangkan untuk penurunan akibatnya pengaruhnya besar bukaannya katup, ketiga arah aliran memberikan hasil yang tidak jauh berbeda, dimana ketiga arah aliran dengan bukaannya katup nozel 20% belum mampu menghasilkan daya listrik. Hal ini diakibatkan pada penurunan jumlah putaran karena penurunan besar bukaannya katup nozel sehingga energi yang digunakan untuk memutar turbin berkurang.

Perbandingan antara efisiensi pembangkit secara desain dan secara aktual menunjukkan bahwa efisiensi secara aktual lebih baik dari desainnya. Hal ini didasarkan pada daya mekanik yang aliran ke

generator untuk membangkitkan listrik berdasarkan beban yang digunakan. Daya mekanik yang dihasilkan tidak terlalu besar terhadap beban listrik yang digunakan sehingga efisiensi pembangkit mampu melebihi desainnya.

Hubungan Variasi Debit Terhadap Daya Yang Dihasilkan

Hubungan antara debit terhadap daya listrik yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Variasi Debit Terhadap Daya Listrik Yang Dihasilkan

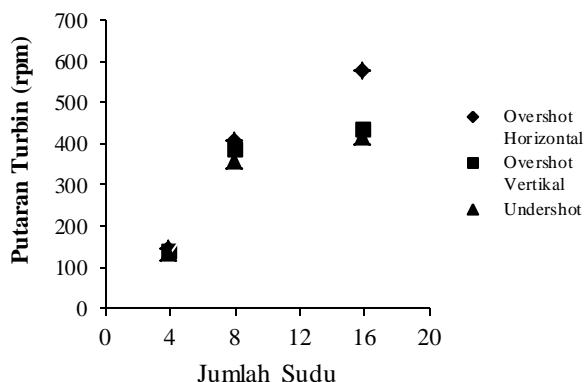
Pada Gambar 3 menjelaskan pengaruh variasi debit terhadap daya yang dihasilkan untuk setiap arah aliran nozel yaitu *Overshot Horizontal*, *Overshot Vertical*, dan *Undershot*. Dapat diamati untuk debit 3 GPM dari ketiga arah *nozzle* pada debit tersebut tidak mampu menghasilkan listrik. Selanjutnya dapat diamati untuk debit 4,5 GPM untuk *Overshot Horizontal*, *Overshot Vertical* maupun *Undershot* menghasilkan daya yang diuji dengan beban yaitu 14,7 Watt, 14,56 Watt serta 14 Watt. Untuk debit 4 GPM dihasilkan daya *Overshot Horizontal* 13,16 Watt, *Overshot Vertical* 12,95 Watt dan *Undershot* 12,6 Watt. Dan untuk debit 3,5 GPM dihasilkan daya *Overshot Horizontal* 12,95 Watt, *Overshot Vertical* 12,6 Watt dan *Undershot* 12,95 Watt.

Gambar 3 diatas menunjukkan bahwa semakin besar debit aliran maka akan semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan. Hal ini disebabkan semakin besarnya debit yang dialirkan maka unjuk kerja dari turbin akan semakin meningkat begitupun sebaliknya. Air yang akan dialirkan menuju turbin terlebih dahulu akan melalui *nozzle* yang mengkonversi energi air menjadi energi kinetik, ini terjadi akibat adanya penyempitan luas permukaan dari pipa menuju *nozzle*, akibatnya semakin besarnya energi kinetik ini maka kecepatan pancaran airpun akan meningkat. Selanjutnya pancaran air yang keluar dari *nozzle* akan mengenai bagian tengah-tengah penampang sudu, akibat adanya tumbukan antara pancaran air dan sudu, maka terjadilah putaran turbin. Sehingga dengan semakin besarnya debit yang dialirkan maka semakin besar pula unjuk kerja turbin.

Menurut teori yang dikemukakan oleh Richard Pietersz tahun 2013, bahwa semakin bertambahnya debit air, semakin besar putaran kincir maka semakin besar energi listrik yang dihasilkan. Sebaliknya, semakin berkurangnya debit air, semakin kecil putaran kincir maka semakin kecil energi listrik yang dihasilkan.

Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Putaran Turbin

Hubungan antara jumlah sudu terhadap putaran turbin ditunjukkan pada Gambar 4 dibawah ini.



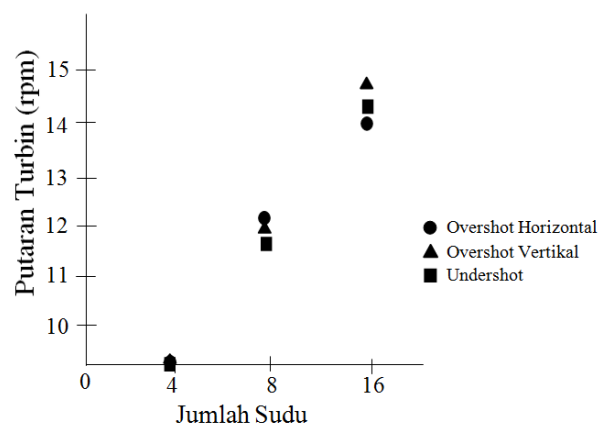
Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Jumlah Sudu Terhadap Putaran Turbin

Dari Gambar 4 menunjukkan bahwa jumlah sudu berpengaruh terhadap putaran turbin yang dihasilkan baik pada arah aliran *Overshot* Vertikal, *Overshot* Horizontal dan *Undershot*. Semakin banyak jumlah sudu yang digunakan maka semakin banyak putaran turbin yang dihasilkan. Putaran turbin tertinggi terdapat pada arah aliran *Overshot* Horizontal dengan penggunaan jumlah sudu 16 yaitu sebesar 573,9 rpm. Sedangkan putaran turbin terendah terdapat pada arah aliran *Undershot* dengan penggunaan jumlah sudu 4 yaitu sebesar 130,2 rpm. Hal ini sesuai dengan teori Napitupulu dan Fritz (2013) bahwa kecepatan putaran turbin akan semakin banyak seiring dengan penambahan jumlah sudu, semakin banyak jumlah sudu maka jumlah putaran turbin akan semakin banyak dan semakin sedikit jumlah sudu maka jumlah putaran turbin akan semakin sedikit.

Putaran turbin tertinggi dihasilkan pada arah aliran *Overshot* Horizontal baik pada penggunaan jumlah sudu 4, 8 dan 16 buah. Hal ini disebabkan oleh adanya energi kinetik dari semprotan air melalui nozel dan adanya gaya berat jatuh air yang menyebabkan sudu turbin berputar lebih cepat. Hal ini sesuai dengan teori menurut Jatmiko (2010) bahwa kerja pada arah aliran *Overshot* Horizontal dihasilkan oleh energi kinetik dari aliran fluida yang mengalir ke sudu kincir dan gaya berat jatuh fluida tersebut.

Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Daya Listrik Yang Dihasilkan

Hubungan antara jumlah sudu terhadap daya listrik yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Grafik Hubungan Antara Jumlah Sudu Terhadap Energi Listrik Yang Dihasilkan

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa jumlah sudu juga mempengaruhi energi listrik yang dihasilkan. Semakin banyak jumlah sudu, maka semakin besar energi listrik yang dihasilkan. Hal ini ditunjukkan dengan energi listrik tertinggi yang dihasilkan terdapat pada penggunaan jumlah sudu 16 buah pada aliran *Overshot* Horizontal yaitu sebesar 14,7 Watt, sedangkan energi listrik terendah yang dihasilkan yaitu terdapat pada penggunaan jumlah sudu 4 buah baik pada arah aliran *Overshot* Vertikal, *Overshot* Horizontal dan *Undershot* yaitu 0 Watt. Menurut Luther Sule (2012), energi listrik yang dihasilkan oleh kincir dipengaruhi oleh putaran kincir, dimana semakin bertambahnya jumlah sudu maka putaran kincir semakin besar sehingga energi listrik yang dikonversi akan semakin besar.

Dilihat dari Gambar 5, terlihat bahwa penggunaan jumlah sudu 4 buah tidak menghasilkan listrik pada ketiga arah aliran air. Hal ini disebabkan karena putaran turbin yang dihasilkan yaitu dibawah 300 rpm belum mampu memutar generator untuk dikonversikan menjadi energi listrik, sehingga energi listrik yang dihasilkan ialah 0 Watt. Sedangkan putaran turbin diatas 300 rpm dapat menghasilkan listrik. Kemudian penggunaan jumlah sudu 8 dan 16 buah menghasilkan energi listrik yang tidak berbeda jauh, hal ini disebabkan karena daya mekanik yang dihasilkan untuk memutar poros generator menjadi energi listrik tidak berbeda jauh.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dibuat kesimpulan bahwa kinerja dari desain alat simulasi prototipe PLTMH turbin Pelton berdasarkan berbagai pengaruh yang diterapkan yaitu:

1. Bukaannya katup nosel mempengaruhi efisiensi dari PLTMH, semakin besar bukannya katup maka semakin tinggi efisiensi. Bukaannya katup terbaik yaitu

pada bukaan katup maksimum 100%, dimana pada arah aliran *Overshot Horizontal* yang menghasilkan efisiensi sebesar 7,35%, sedangkan arah aliran *Overshot Vertical* sebesar 7,28% dan *Undershot* sebesar 7%.

2. Debit mempengaruhi daya listrik, semakin besar debit maka daya listrik yang dihasilkan semakin besar. Debit 4,5 GPM menghasilkan daya listrik yang lebih besar dibandingkan debit 3, 3,5 dan 4 GPM, yaitu daya listrik tertinggi debit 4,5 GPM yaitu sebesar 14,7 Watt, sedangkan debit 4 GPM menghasilkan daya listrik sebesar 13,6 Watt, debit 3,5 GPM menghasilkan daya listrik sebesar 12,95 Watt dan debit 3 GPM belum menghasilkan daya listrik.
3. Jumlah sudu mempengaruhi putaran turbin, semakin banyak jumlah sudu maka putaran turbin yang dihasilkan semakin banyak. Jumlah sudu 16 buah menghasilkan putaran turbin yang lebih banyak dibandingkan sudu 8 dan 4 buah, yaitu putaran turbin tertinggi sudu 16 buah yaitu sebesar 573,9 rpm, sedangkan putaran turbin tertinggi sudu 8 buah yaitu sebesar 405,4 rpm dan putaran turbin tertinggi sudu 4 buah yaitu 142,2 rpm.
4. Jumlah sudu mempengaruhi energi listrik yang dihasilkan, semakin banyak jumlah sudu maka energi listrik yang dihasilkan semakin besar. Jumlah sudu 16 dan 8 buah dapat menghasilkan energi listrik tertinggi yaitu masing-masing 14,7 Watt dan 12,40 Watt, sedangkan penggunaan sudu 4 buah tidak dapat menghasilkan listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2008. *Teacher Manual Hydro Power Engineering for Diploma Level Courses. Alternate Hydro Energy Centre Indian Institute of Technology, India.*
- Bono dan Indarto. 2008. *Karakterisasi Daya Turbin Pelton Mikro Dengan Variasi Bentuk Sudu.* Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada
- Furnes, Kjartan. 2013. *Flow in Pelton Turbines. Norwegian University Of Science and Technology.*
- Hadimi, Supandi dan Agus Rohermanto. 2006. *Rancang Bangun Model Turbin Pelton Mini Sebagai Media Simulasi/Praktikum Mata Kuliah Konversi Energi Dan Mekanika Fluida.* Pontianak : Politeknik Negeri Pontianak
- Irawan, Dwi. *Prototype Turbin Pelton sebagai Energi Alternatif Mikrohidro di Lampung.* Metro : Universitas Muhammadiyah.Metro
- Jatmiko., Hasyim Asy'ari, dan Aryo Hendarto P. 2010. *Pemanfaatan Pemandian Umum Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Menggunakan Kincir Tipe Overshot.* Jurnal Emitor Vol.12 No.01.
- Kamal, Samsul dan Prajitno. 2013. *Evaluasi Unjuk Kerja Turbin Air Pelton Terbuat Dari Kayu Dan Bambu Sebagai Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan Untuk Pedesaan.* Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
- Morong, Juneidy Yohanes. 2016. *Rancang Bangun Kincir Air Irigasi Sebagai Pembangkit Listrik Di Desa Talawaan.* Manado : Politeknik Negeri Manado.
- Napitupulu, J dan Fritz., 2013. *Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro.* Bandar Lampung : Universitas Lampung.
- Nathanael, Stevi Wenes. 2016. *Study Kelayakan Saluran Irigasi Persawahan Di Desa Talawaan Sebagai Pembangkit Tenaga Listrik.* Manado : Politeknik Negeri Manado.
- Praпти, Cokorda, Sunyoto dan Rahmat. *Analisa Turbin Pelton Berskala Mikro Pada Pembuatan Instalasi Uji Laboratorium.* Depok : Universitas Gunadarma.
- Pietersz, Richard., Rudy Soenoko. dan Slamet Wahyudi. 2013. *Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Optimalisasi Kinerja Turbin Kinetik Roda Tunggal.* Jurnal Rekayasa Mesin Vol.4. No.3. 220-226.
- Sari, Poernama dan Ryan Fasha. 2012. *Pengaruh Ukuran Diameter Nozzle 7 dan 9 mm Terhadap Putaran Sudu dan Daya Listrik pada Turbin Pelton.* Depok : Universitas Gunadarma.
- Sule, Luther dan Erwin, T.S. 2015. *Kinerja yang Dihasilkan Oleh Kincir Air Arus Bawah dengan Sudu Berbentuk Mangkok.* Makasar : Universitas Hasanuddin.
- Susatyo, Anjar dan Lukman Hakin. 2003. *Perancangan Turbin Pelton.* Bandung : LIPI.
- Sihombing, Edis Sudianto. 2009. *Evaluasi Unjuk Kerja Turbin Air Pelton Terbuat Dari Kayu Dan Bambu Sebagai Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan untuk Pedesaan.* Medan : Universitas Sumatera Utara.