

# ANALISIS UNJUK KERJA PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO TURBIN PELTON SUMBER DAYA *HEAD* POTENSIAL

## *PERFORMANCE ANALYSIS PROTOTYPE OF MICRO HYDRO POWER PLANT PELTON TURBINE POTENTIAL HEAD RESOURCE*

Aida Syarif<sup>\*1</sup>, Yohandri Bow<sup>1</sup>, KA Ridwan<sup>1</sup>, Delvi Karlini<sup>\*1</sup>, Septiani Wulandari<sup>1</sup>  
Teknik Energi /Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Srijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139, Telp. 0711-353414  
e-mail: [aida\\_syarif@gmail.com](mailto:aida_syarif@gmail.com) / [24delvikarlini@gmail.com](mailto:24delvikarlini@gmail.com)

### ABSTRACT

*The increase in population has an impact on increasing the demand for electricity in various sectors. Indonesia's geographical conditions with a tropical climate and high rainfall make Indonesia has many water sources that have the potential as a source of renewable electricity such as micro-hydro power. Research on Prototype of Microhydro Power Plant Pelton Turbine of Potential Head Resource laboratory scale by utilizing potential energy of water and using application on Pelton Turbine. There are two types of variables taken, including fixed and not fixed. Fixed variables in the form of flow direction, water volume and penstock cross-sectional area, while the not fixed variable in the form of difference in height and valve opening. Performance Analysis Prototype of Micro Hydro Power Plant uses the basic equations that is applied on the calculation analysis to determine the best performance analysis of the generating power of 9 watts is located at of head 1.8 m by opening full valve or flow rate variation of 140.5 Liter Per Minute with number of 16 blades. The results of optimum performance analysis of the plant are on different altitudes of PLTMH performance shows best performance in different of head 1.4 m by opening valve ½ or 60.8 Liter Per Minute flow rate variation with the result of 20.71%.*

*Key words: Microhydro, Pelton, Head, Flowrate, Blades*

### 1. PENDAHULUAN

Energi merupakan suatu aspek penting dalam kehidupan secara menyeluruh. Sumber energi yang saat ini banyak digunakan di Indonesia adalah energi fosil batubara, minyak bumi, dan gas alam. Namun seiring berjalannya waktu, ketersediaan alam tersebut kini semakin menipis, dan untuk mengatasipasinya energi baru terbarukan (EBT) merupakan alternatif yang terbaik. Energi alternatif yang bersifat terbarukan dan dapat selalu dimanfaatkan yaitu energi air, angin, matahari, dan panas bumi.

Salah satu energi alternatif yang berpotensi dimanfaatkan di Indonesia adalah energi air. Indonesia memiliki iklim tropis serta curah hujan tinggi sehingga melalui pemanfaatan secara luas maka kebutuhan energi listrik dapat terpenuhi bahkan di daerah pedesaan. Menurut *Blueprint* Energi hingga tahun 2025, potensi energi air di Indonesia yang dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik mencapai 75.670 MW sedangkan baru sebesar 4.200 MW atau sekitar 5,55% dari potensi tersebut yang termanfaatkan (Kementerian ESDM, 2007).

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro merupakan salah satu pembangkit listrik energi terbarukan yang ramah lingkungan. Indonesia memiliki potensi tenaga air yang cukup besar. Potensi tenaga air yang dapat

dikembangkan menjadi Pembangkit Listrik Mikro/Minihidro sebesar 19.385 MW yang tersebar di seluruh Indonesia. Prospek pengembangan Pembangkit Listrik Mikro/Minihidro di Indonesia masih sangat menjanjikan. Pemerintah melalui Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) menargetkan porsi Energi Baru dan Energi Terbarukan (EBT) dalam bauran energi nasional sebesar 23% pada tahun 2025. Pembangunan Pembangkit Listrik Mikro/Minihidro ditargetkan sebesar 3.000 MW pada tahun 2025 (Direktorat Jenderal EBTKE, 2016).

Berdasarkan data statistik EBTKE 2016 potensi pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro dan Mikrohidro di Sumatera Selatan memiliki potensi sebesar 448 MW. Salah satu contoh pemanfaatan energi air yaitu pembangunan PLTMH Ogan Komering Ulu Selatan di Dusun Saruan, Desa Merbau melalui program CSR Pertamina yang menghasilkan 10,75 kWh dengan debit air sebesar 80 liter/detik dan ketinggian 20 meter yang dapat dimanfaatkan untuk 31 kepala keluarga (Priyono, 2018).

Menurut data BBWS Sumatera VIII Sumatera Selatan (2018), rata-rata debit aliran sungai induk antara 0,5-1208,0 m<sup>3</sup>/s sehingga besar potensi yang dapat dimanfaatkan untuk pembangunan pembangkit

listrik dalam rangka mengatasi permasalahan peningkatan kebutuhan listrik di daerah terpencil. Pemanfaatan PLTMH seperti contoh diatas dalam prosesnya memiliki kekurangan yaitu debit aliran air yang tidak konstan dan berfluktuasi sehingga pengoptimalan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) sangat penting dilakukan untuk menghasilkan energi listrik yang optimum dengan debit aliran kecil dengan cara membuat sebuah simulasi prototipe PLTMH dengan memanfaatkan *head* potensial air sebagai bahan kajian awal untuk menganalisis kinerja PLTMH yang akan diaplikasikan ke lapangan nantinya. Pembuatan simulasi prototipe tersebut diharapkan dapat menjadi simulator dalam perancangan PLTMH pada daerah-daerah potensial dengan debit aliran kecil khususnya di Sumatera Selatan.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Irawan (2014) yaitu prototipe Turbin Pelton sebagai Energi Alternatif Mikrohidro di Lampung didapatkan kondisi efektif dari perancangan PLTMH yaitu dengan jumlah sudu turbin Pelton 40 pada debit 0,0005 m<sup>3</sup>/s didapat daya yang dihasilkan sebesar 4,97 Watt dengan efisiensi turbin 4,9%.

Sedangkan pada penelitian lainnya yang dilakukan oleh Purnomo (2013) yaitu Analisis Ketinggian dan Debit Air pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro pada Daerah Terpencil, penelitian ini memanfaatkan *head* potensial air sebagai penggerak turbin *cross flow* dengan menggunakan bak penampung 33 liter dan memvariasikan ketinggian, pada penelitian tersebut didapatkan kondisi optimal dengan debit sebesar 0,0825 m<sup>3</sup>/s, *head* 2,96 m dapat menghasilkan daya sebesar 244,97 Watt. Namun pada penelitian tersebut hanya menghitung debit aliran dan ketinggian secara teoritis saja sehingga belum didapatkan keadaan aktual yang sebenarnya.

Pada penelitian ini masih menggunakan tenaga pompa sebagai penggerak turbin pelton sehingga prototipe PLTMH tersebut belum menerapkan prinsip PLTMH sebenarnya yang memanfaatkan energi potensial air dan tidak ada perbedaan tinggi jatuh air untuk penelitian pertama, serta variasi sudu turbin untuk penelitian kedua. Oleh karena itu, Peneliti mengambil judul analisis kinerja dari prototipe PLTMH turbin Pelton sumberdaya *head* potensial yang pada dasarnya tidak menggunakan listrik untuk mengalirkan fluida, melainkan memanfaatkan energi potensial gravitasi air pada simulasi air terjun yang berubah menjadi energi kinetik.

Penerapan prototipe pembangkit listrik tenaga mikrohidro turbin Pelton untuk menghasilkan daya listrik yang berasal dari sumber daya *head* potensial, perlu dilakukan suatu kajian analisis kinerja secara menyeluruh terhadap prototipe dengan meninjau daya listrik secara desain dan daya listrik yang didapat secara aktual dalam berbagai aspek pengaruh dari variasi beda ketinggian dan debit aliran air serta jumlah sudu turbin untuk menggerakkan turbin Pelton dalam menghasilkan energi yang optimal.

Adapun tujuan dari perancangan alat Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Pelton ini ialah mendapatkan satu unit prototipe pembangkit listrik tenaga mikrohidro turbin Pelton sumberdaya *head* potensial. Menghitung desain prototipe pembangkit listrik tenaga mikrohidro turbin Pelton sumberdaya *head* potensial dan membandingkannya terhadap data-data yang didapat secara aktual. Mengetahui kinerja terbaik yang dihasilkan oleh prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro turbin Pelton sumberdaya *head* potensial berdasarkan variasi beda ketinggian dan debit aliran air serta jumlah sudu turbin.

Parameter-parameter pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

#### A. Menghitung Debit Aliran Air (Q)

Jumlah debit aliran air yang mengalir dapat dihitung setelah menghitung panjang *penstock*, sudut elevasi, dan kecepatan aliran air.

##### 1. Menghitung Panjang *Penstock* (Lp) (Hartadi, 2015)

$$Lp = \sqrt{A^2 + B^2} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan: Lp adalah panjang *penstock* dalam meter, A adalah *Head nett* dalam meter dan B adalah *Head* potensial dalam meter.

##### 2. Menghitung Sudut Elevasi *Penstock* ( $\theta$ ) (Hartadi, 2015)

$$\sin \theta = \frac{B}{Lp} \dots\dots\dots (2)$$

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{B}{Lp} \right) \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:  $\theta$  adalah Sudut elevasi *penstock*, B adalah *Head* potensial dalam meter dan Lp adalah panjang *penstock* dalam meter.

##### 3. Kecepatan Aliran Air (v) (Dandekar dan Sharma, 1991)

$$v = kv\sqrt{2gh} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan: V adalah Kecepatan aliran air, h adalah beda ketinggian dan kv adalah kecepatan aliran air.

##### 4. Luas Penampang Pipa (A) (Bruce dkk, 2004)

$$A = \frac{1}{4}\pi d^4 \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan: A adalah luas penampang pipa, dan d adalah diameter dalam pipa.

##### 5. Debit Air (Q) (Bruce dkk, 2004)

$$Q = A.kv \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan: Q adalah debit aliran air dalam satuan volume per waktu.

#### B. Menghitung Energi Hidrolik

Energi hidrolik dapat ditentukan dengan menghitung energi potensial dan energi kinetik.

##### 1. Energi Potensial Air (E<sub>p</sub>) (Giancoli, 2014)

$$E_p = \rho QgH \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan  $\rho$  adalah densitas air dalam kilogram per meter kubik.

2. Potensi Energi Air ( $E_K$ ) (Giancoli, 2014)

$$E_k = \frac{1}{2} \rho Q v^2 \dots\dots\dots (8)$$

3. Energi Hidrolik ( $P_h$ ) (Giancoli, 2014)

$$P_h = E_p + E_k \dots\dots\dots (9)$$

C. Energi Mekanik Turbin Pelton ( $P_T$ )

Energi mekanik turbin Pelton dapat ditentukan dengan menghitung kecepatan keliling turbin, jumlah putaran turbin, gaya tangensial, dan torsi turbin pelton.

1. Kecepatan Keliling Turbin Pelton ( $U$ ) (Furnes, 2013)

$$U = 2 \pi n r = \frac{1}{2} v \cos \alpha \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:  $n$  adalah jumlah putaran turbin dalam rpm,  $r$  adalah jari – jari turbin dalam meter dan  $A$  adalah sudut aliran ke turbin terhadap garis radial.

2. Jumlah Putaran Turbin Pelton ( $n$ ) (Furnes, 2013)

$$n = \frac{60 U}{\pi D} \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:  $D$  adalah diameter *runner* turbin.

3. Gaya Tangensial Turbin ( $F$ ) (White, 2016)

$$F = \rho \times Q \times (v - U)(1 - \cos \beta_2) \dots\dots (12)$$

Keterangan:  $\beta_2$  adalah sudut pancaran air keluar sudu (sudut pantul)  $\beta_2 = 165^\circ$ .

4. Energi Mekanik Turbin Pelton ( $P_T$ ) (Yusri,dkk, 2004)

$$P_T = F \times U \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan:  $P_T$  adalah energi mekanik yang dihasilkan dari turbin.

D. Perhitungan Efisiensi Turbin Pelton

Efisiensi turbin ditentukan oleh perbandingan daya hidrolik dengan daya poros turbin. (Daugherty dan E. J. Finnemore, 2006)

$$\eta_{Turbin} = \frac{P_T}{P_H} \times 100\% \dots\dots\dots (14)$$

Keterangan:  $P_H$  adalah daya hidrolik dalam *watt* dan  $P_T$  adalah daya Poros dalam *watt*.

E. Perhitungan Efisiensi Generator

Perhitungan efisiensi generator dapat digunakan persamaan sebagai berikut (Kanoglu dkk, 2012)

$$\eta_G = \frac{W_{electric\ out}}{W_{shaft\ in}} = \frac{P_G}{P_T} \times 100\% \dots\dots\dots (15)$$

Keterangan:  $P_g$  adalah daya generator dalam *watt* dan  $P_T$  adalah daya Poros dalam *watt*.

F. Perhitungan Efisiensi PLTMH

Perhitungan efisiensi keseluruhan PLTMH Turbin Pelton sebagai berikut, (Kanoglu dkk, 2012)

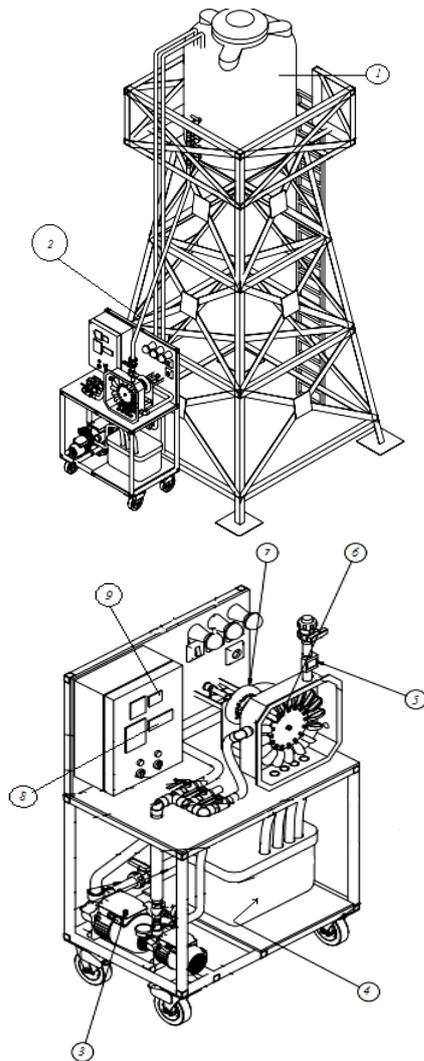
$$\eta_{Total} = \frac{Energy\ Output\ (Watt)}{Energy\ Input\ (Watt)} \times 100\% \dots\dots (16)$$

Keterangan: *Energi Output* adalah daya generator dalam *watt* dan *Energi Input* adalah daya hidrolik dalam *watt*.

2. METODE

Secara garis besar rancangan ini dibagi menjadi 5 bagian utama yaitu tangki penampung air, *penstock*, turbin Pelton, *reservoir*, dan pompa sirkulasi. Tangki penampung air dengan volume 600 liter diletakkan pada bagian atas dengan ketinggian kotor (*head gross*) 4.6 m sebagai simulasi waduk yang memanfaatkan energi potensial air jatuh sebagai tenaga penggerak turbin, pada bagian tangki terdapat lima *valve* untuk memvariasikan ketinggian jatuh air dengan masing-masing ketinggian bersih (*head net*) (1,8 m), (1,7 m), (1,6 m), (1,5 m) dan (1,4 m). *Penstock* (pipa pesat) pada prototipe PLTMH ini menggunakan pipa PVC sebagai saluran pengarah dengan ketinggian dan kemiringan sebesar 1.8 m dan  $40^\circ$  yang dihubungkan dengan *valve* dan *flowmeter* untuk mengatur dan mengukur debit aliran menabrak turbin. *Reservoir* air 95 liter dipasang dibagian bawah agar mudah mensirkulasikan air yang nantinya dapat dipompakan menuju tangki penampung air. Pompa sirkulasi yang digunakan adalah pompa sentrifugal dengan kebutuhan energi sebesar 200 watt yang disuplai melalui sumber listrik. Turbin Pelton yang digunakan memiliki 16 sudu. Turbin pelton yang dirancang menggunakan campuran logam timah dan nikel dengan bobot turbin sebesar 3,59 kg, diameter *runner* 0,20 m, panjang sudu 0,057 m, lebar sudu 0,048 m dan kedalaman lengkungan sebesar 0,026 m.

Penelitian yang dilakukan yaitu pengujian kinerja dari prototipe PLTMH yang telah dibuat meliputi daya dan efisiensi prototipe PLTMH yang dihasilkan secara keseluruhan. Parameter atau variabel tetap yang ditentukan dalam penelitian ini yaitu luas penampang *penstock* dan volume air pada tangki penampung air, sedangkan variabel tak tetap berupa variasi debit aliran air yang didapatkan dengan mengatur bukaan *valve*, beda ketinggian jatuh air dan jumlah sudu turbin yang digunakan. Data aktual yang didapat yaitu berupa debit aliran air yang dibaca melalui *flowmeter* digital, tegangan, arus dan daya yang dihasilkan dapat dibaca melalui *multimeter* digital. Data hasil penelitian tersebut, kemudian diolah untuk mengetahui daya hidrolik, putaran turbin, daya mekanik, daya listrik dan efisiensi yang dihasilkan, selanjutnya data tersebut akan dilakukan analisis perbandingan terhadap variabel tak tetap yang telah ditentukan baik secara desain maupun aktual.



Gambar 1. Komponen Prototipe PTMH Turbin Pelton

Keterangan Gambar 1 :

- |                                   |                      |
|-----------------------------------|----------------------|
| 1. Tangki penampung air           | 6. Turbin pelton     |
| 2. Pipa pesat ( <i>penstock</i> ) | 7. Generator AC      |
| 3. Pompa sirkulasi air            | 8. <i>Tachometer</i> |
| 4. <i>Reservoir</i> air           | 9. <i>Multimeter</i> |
| 5. <i>Flowmeter</i>               |                      |

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Pelton Sumber Daya *Head* Potensial menunjukkan perbedaan antara data desain dan data secara aktual. Penelitian ini menggunakan variabel tak tetap berupa debit aliran air, variasi debit aliran ini diambil dengan cara mengatur bukaan *valve* air pada *penstock* sebesar  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ , dan bukaan *full* yang diatur secara manual, pengambilan data dilakukan pada setiap beda ketinggian jatuh air serta variasi sudu turbin Pelton, dengan jumlah sudu 16, 8, dan 4. Sedangkan variabel tetap berupa volume air dan luas penampang *penstock*. Hasil penelitian yang didapat

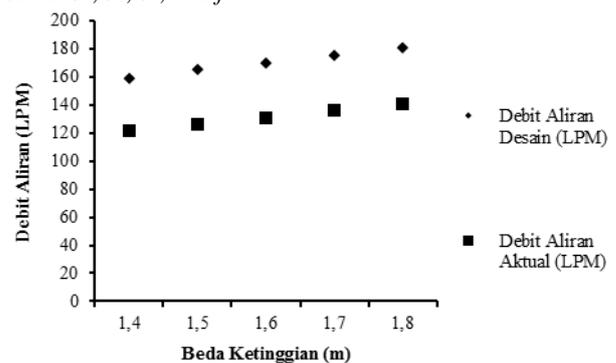
berupa jumlah putaran turbin, tegangan, arus dan daya listrik yang dihasilkan.

Analisis kinerja prototipe pembangkit listrik tenaga mikrohidro bertujuan untuk mengetahui kemampuan prototipe bekerja dengan baik dalam menghasilkan energi yang optimum dengan mengetahui perbedaan debit aliran, jumlah putaran, daya mekanik, daya listrik, efisiensi turbin, generator, dan PLTMH untuk setiap variasi beda ketinggian, debit aliran air dan jumlah sudu turbin terhadap perhitungan desain dan aktual.

### Pengaruh Beda Ketinggian Terhadap Debit Aliran Air

Analisis perbedaan beda ketinggian terhadap debit aliran air secara desain dan aktual dapat dilihat pada Gambar 2.

Pada grafik tersebut dapat diamati bahwa semakin besar beda ketinggian jatuh air yang digunakan maka semakin tinggi debit aliran air yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena gaya gravitasi air jatuh melalui *penstock* yang memiliki sudut elevasi atau sudut pancar  $40^\circ$  dan jika diamati dari persamaan perhitungan debit aliran, sudut elevasi itu tidak berpengaruh untuk analisis perhitungan selanjutnya, sudut elevasi dari perhitungan hanya digunakan untuk mendesain sudut pancar *penstock*. Debit aliran air yang dihasilkan dari variasi beda ketinggian jatuh air itu memiliki rentang yang cukup signifikan, hal ini disebabkan untuk menentukan variasi beda ketinggian jatuh air itu menggunakan metode bukaan katup yang dibuka secara  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ , dan *full*.



Gambar 2. Pengaruh Beda Ketinggian Terhadap Debit Aliran Air

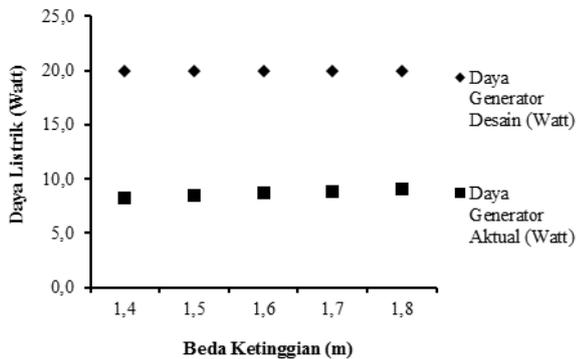
Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin besar beda ketinggian maka debit aliran akan semakin besar, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Guruh (2013) dimana beda ketinggian jatuh air mempengaruhi debit aliran yang dihasilkan, dimana debit aliran yang dihasilkan berbanding lurus dengan beda ketinggian. Selain itu terbukti dengan persamaan kontinuitas yang menyatakan bahwa debit aliran dipengaruhi oleh luas penampang dan kecepatan aliran, dengan kecepatan aliran dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan ketinggian. Pada Gambar 2 juga dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan debit aliran yang dihasilkan secara desain dan aktual. Debit aliran air yang dihasilkan secara

desain nilainya lebih besar dibandingkan secara aktual yaitu pada ketinggian 1,8 m, debit aliran yang dihasilkan secara desain 180,50 LPM sedangkan secara aktual 140,5 LPM. Perbedaan debit aliran secara desain dan aktual dipengaruhi oleh ukuran tangki air yang digunakan. Tangki air yang digunakan pada penelitian ini memiliki volume 600 L sehingga untuk mencapai keluaran aliran desain seharusnya menggunakan tangki yang memiliki volume lebih besar seperti lebih dari 1000 L.

### Pengaruh Beda Ketinggian Terhadap Daya Listrik Desain dan Aktual

Pengaruh beda ketinggian terhadap daya listrik yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 3.

Grafik pengaruh variasi beda ketinggian terhadap daya listrik yang dihasilkan merupakan unjuk kerja turbin pelton. Namun grafik dapat diamati bahwa ketinggian yang berbeda akan mempengaruhi debit aliran untuk menabrak turbin. Semakin besar debit aliran maka semakin besar pula daya listrik yang akan dihasilkan.

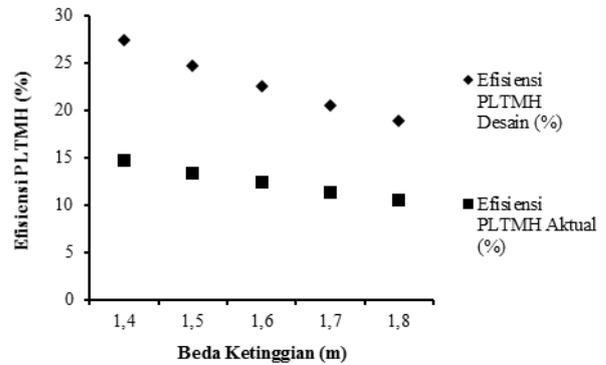


Gambar 3. Pengaruh Beda Ketinggian Terhadap Daya Listrik

Gambar 3 menunjukkan bahwa daya listrik yang dihasilkan semakin meningkat seiring dengan besarnya beda ketinggian, semakin besar beda ketinggian maka daya listrik yang dihasilkan juga akan semakin meningkat karena debit aliran yang dihasilkan juga akan semakin besar. Hal ini sesuai dengan pernyataan Sitompul (2011) pada manual pelatihan mikrohidro yang menyatakan bahwa daya yang dihasilkan sebanding dengan hasil dari tinggi jatuh air dan kecepatan aliran. Pada penelitian ini daya yang dihasilkan secara aktual nilainya lebih kecil dibandingkan desain yaitu 9 watt pada beda ketinggian tertinggi yaitu 1,8 m, sedangkan secara desain daya listrik yang dihasilkan generator sebesar 20 watt. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh kondisi generator yang tidak memiliki kekuatan untuk berputar dengan kata lain turbin tidak memberikan kekuatan atau energi mekanik yang cukup untuk memutar generator sehingga membuat torsi pada generator lebih besar dari pada torsi yang diberikan turbin kepada generator.

### Pengaruh Beda Ketinggian Terhadap Efisiensi PLTMH

Pengaruh beda ketinggian terhadap efisiensi PLTMH dapat dilihat pada Gambar 4. Kinerja dari *prototype* PLTMH Turbin Pelton dapat dilihat dari efisiensi PLTMH yang dihasilkan. Efisiensi PLTMH di pengaruhi oleh rasio daya listrik dan daya hidrolik. Daya listrik yang dihasilkan dari generator yang merupakan *energy output* dari pembangkit listrik dan daya hidrolik yang dihasilkan dari energi kinetik dan energi potensial air yang merupakan *energy input* dari pembangkit listrik.



Gambar 4. Pengaruh Beda Ketinggian Terhadap Efisiensi PLTMH

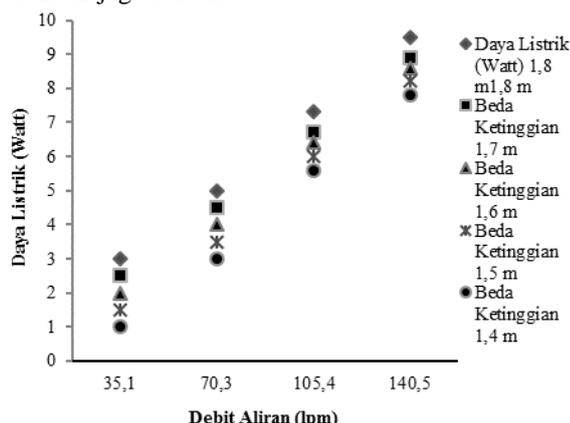
Gambar 4 menunjukkan bahwa efisiensi secara desain nilainya lebih besar dibandingkan secara aktual. Hal ini disebabkan karena efisiensi generator secara desain nilainya lebih besar sehingga dapat diketahui bahwa efisiensi generator mempengaruhi efisiensi PLTMH yang dihasilkan, semakin tinggi hasil efisiensi generator maka semakin tinggi efisiensi PLTMH. Hal ini disebabkan karena semakin rendah ketinggian maka semakin tinggi hasil efisiensi pembangkit yang dihasilkan. Pada Gambar 4 efisiensi pembangkit tertinggi secara desain terdapat pada beda ketinggian 1,4 m sebesar 27,47% dan secara aktual terdapat pada beda ketinggian yang sama dengan hasil 14,63%.

### Pengaruh Variasi Debit Aliran Terhadap Daya Listrik Aktual

Pengaruh variasi debit aliran air terhadap daya listrik dapat dilihat pada Gambar 5. Grafik tersebut menunjukkan bahwa ketinggian yang berbeda akan mempengaruhi debit aliran untuk menabrak turbin. Semakin besar debit aliran maka semakin besar pula daya listrik yang akan dihasilkan. Hal ini disebabkan dengan bertambahnya debit aliran akan membuat kinerja turbin semakin meningkat untuk mengkonversi energi tersebut menjadi energi listrik. Daya listrik yang dihasilkan dari variasi debit aliran memiliki rentang yang cukup signifikan, hal ini disebabkan oleh tekanan yang berasal dari variasi tinggi air jatuh tersebut.

Debit aliran akan mempengaruhi kecepatan turbin berputar dan berpengaruh pada gaya tangensial yang dihasilkan untuk memberikan daya mekanik yang akan ditransfer melalui rotor dan akan memutar generator untuk menghasilkan daya listrik. Daya listrik yang dihasilkan rendah, bisa disebabkan oleh *head* atau

tinggi jatuh air yang rendah serta debit aliran yang rendah maka kecepatan putaran yang dihasilkan oleh turbin air juga rendah.

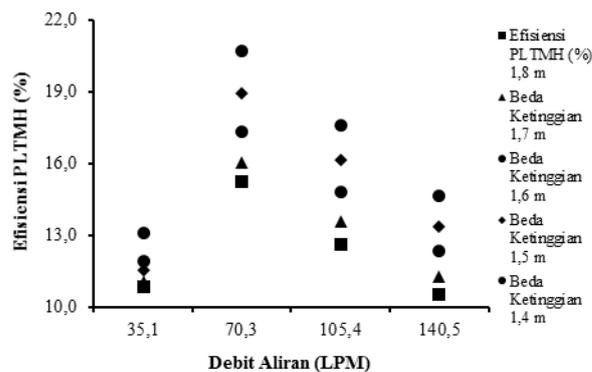


Gambar 5. Pengaruh Variasi Debit Aliran Terhadap Daya Listrik

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa debit aliran air mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan, semakin besar debit aliran air maka daya listrik yang dihasilkan juga semakin besar. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Fuhaid (2012) menyatakan bahwa besarnya daya listrik sangat tergantung dari besar daya kinetik yang dapat diubah menjadi daya mekanik, sedangkan energi mekanik tergantung dari turbin air, semakin cepat putaran turbin maka semakin besar energi listrik yang dihasilkan. Daya kinetik dalam hal ini yaitu kecepatan aliran dan debit aliran air, semakin besar debit aliran air maka akan membuat massa aliran air ke turbin semakin besar, jumlah putaran turbin juga semakin besar sehingga membuat daya listrik yang dihasilkan juga semakin meningkat. pada penelitian ini debit aliran optimum secara aktual sebesar 140,5 LPM menghasilkan daya listrik sebesar 9 watt.

### Pengaruh Variasi Debit Aliran Terhadap Efisiensi PLTMH

Pengaruh Variasi Debit Aliran terhadap efisiensi PLTMH dapat dilihat pada Gambar 4. Kinerja dari *prototype* PLTMH Turbin Pelton dapat dilihat dari efisiensi PLTMH yang dihasilkan. Efisiensi PLTMH di pengaruhi oleh rasio daya listrik dan daya hidrolik. Daya listrik yang dihasilkan dari generator yang merupakan *energy output* dari pembangkit listrik dan daya hidrolik yang dihasilkan dari energi kinetik dan energi potensial air yang merupakan *energy input* dari pembangkit listrik.



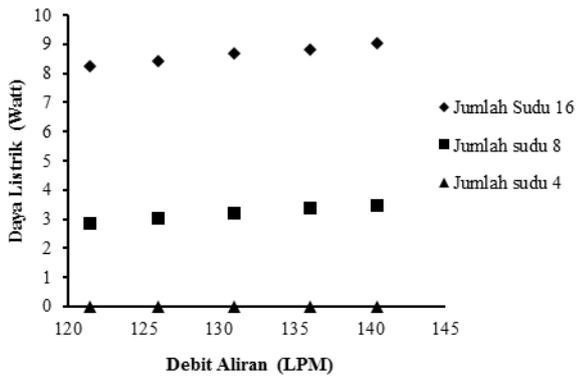
Gambar 6. Pengaruh Variasi Debit Aliran Terhadap Efisiensi PLTMH

Gambar 6 menunjukkan pengaruh variasi debit aliran terhadap efisiensi PLTMH yang dihasilkan. Dari gambar tersebut efisiensi PLTMH mempunyai nilai optimum pada debit aliran 70,3 LPM dengan hasil efisiensi sebesar 20,71%. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Nafis dkk (2012) menyatakan bahwa efisiensi PLTMH akan mengalami kenaikan seiring dengan pertambahan nilai debit aliran tetapi pada Gambar 6 terlihat pada penelitian ini terdapat titik optimum efisiensi dari prototipe PLTMH ini yaitu pada beda ketinggian 1,4 m dengan debit aliran sebesar 60,8 LPM. Titik optimum ini memperlihatkan bahwa pengkonversian energi hidrolik menjadi energi mekanik kemudian terkonversi menjadi energi listrik cukup baik dengan kata lain *energy loss* atau energi yang hilang pada saat pengkonversian hasilnya rendah.

### Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya Listrik

Daya listrik terhadap variasi jumlah sudu turbin dapat dilihat pada Gambar 7. Pada grafik tersebut dapat diamati bahwa semakin bertambahnya jumlah sudu yang mengelilingi poros rotor turbin maka semakin tinggi daya listrik yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat pada jumlah variasi sudu 16 yang mampu menghasilkan energi listrik yang jauh lebih besar dibandingkan sudu 8 dan 4.

Dalam penelitian ini metode aliran menggunakan aliran jenis *Overshoot* Vertikal disebabkan karena ketinggian masih relatif rendah. Menurut Yohannes, (2016) aliran *Overshoot* bekerja dengan suatu metode dimana bila air yang mengalir ke dalam bagian sudu turbin sisi bagian atas dan karena yang ditimbulkan oleh gaya berat air maka sudu turbin memiliki modal berputar dan memiliki efisiensi mencapai 85% sehingga aliran *Overshoot* paling banyak digunakan pada pembangkit tenaga air dibandingkan dengan jenis aliran yang lain.



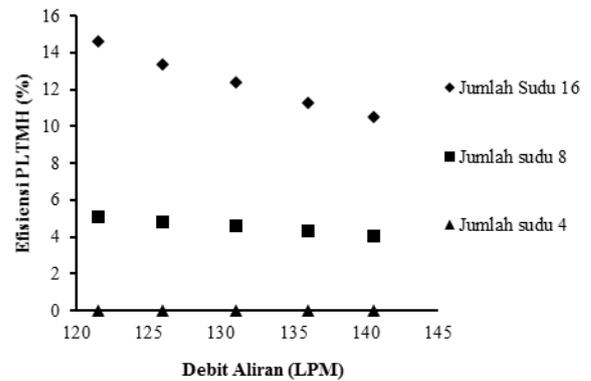
Gambar 7. Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya Listrik

Daya listrik yang dihasilkan oleh setiap variasi sudu itu memiliki rentang yang cukup signifikan. Grafik tersebut terlihat bahwa jumlah sudu 16 menghasilkan energi listrik paling optimal. Hal ini disebabkan karena jumlah sudu turbin yang terlalu sedikit, maka pancaran air yang melewati celah sudu akan bercampur dengan udara, sehingga putaran turbin yang dihasilkan tidak optimal. Penambahan jumlah sudu berarti menambah jumlah gaya tangensial sehingga hasilnya menjadi lebih besar, namun penambahan jumlah sudu memungkinkan adanya pengurangan besar nilai dari masing-masing gaya tangensial tersebut.

#### Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi PLTMH

Pengaruh Variasi Jumlah Sudu terhadap efisiensi PLTMH dapat dilihat pada Gambar 8. Kinerja dari *prototype* PLTMH Turbin Pelton dapat dilihat dari efisiensi PLTMH yang dihasilkan. Efisiensi PLTMH di pengaruhi oleh rasio daya listrik dan daya hidrolik. Daya listrik yang dihasilkan dari generator yang merupakan *energy output* dari pembangkit listrik dan daya hidrolik yang dihasilkan dari energi kinetik dan energi potensial air yang merupakan *energy input* dari pembangkit listrik.

Efisiensi PLTMH mempunyai nilai optimum pada ketinggian 1,8 m dengan debit aliran air 121,5 LPM dengan hasil efisiensi sebesar 14,63% dengan jumlah sudu 16. Jumlah sudu ini mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan oleh generator sehingga semakin banyak jumlah sudu turbin yang digunakan maka semakin besar daya listrik yang dihasilkan dan efisiensi PLTMH pun semakin besar.



Gambar 8. Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi PLTMH

Efisiensi PLTMH akan mengalami kenaikan seiring dengan pertambahan sudu turbin dan nilai debit aliran. Semakin bertambahnya jumlah sudu turbin maka semakin tinggi nilai efisiensi PLTMH. Hal tersebut dikarenakan, menurut Winardi (2004) dengan jumlah sudu turbin terlalu banyak akan mengakibatkan aliran air yang melewati celah sudu, sehingga faktor hambatan ini berpengaruh terhadap putaran turbin menjadi lambat. Nilai efisiensi cukup PLTMH rendah untuk jumlah sudu 8 dan 4.

#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan pada data penelitian dan pembahasan yang telah diperoleh pada penelitian dengan kajian Analisis Kinerja Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Turbin Pelton Sumberdaya *Head* Potensial, dapat disimpulkan bahwa:

Beda Ketinggian, Debit Aliran, dan Jumlah Sudu sangat berpengaruh terhadap kinerja Prototipe dalam menghasilkan daya listrik dan efisiensi kerja turbin, generator, dan PLTMH. Kinerja Prototipe dalam menghasilkan daya listrik dari penelitian PLTMH Turbin Pelton terdapat pada beda ketinggian 1,8 m pada bukaan katup *full* atau debit aliran 140,5 LPM dan pada jumlah sudu 16 yang menghasilkan jumlah putaran 242,37 RPM, daya listrik optimum sebesar 9 Watt.

Kinerja prototipe dengan mengkaji dari nilai efisiensi kerja turbin, terdapat pada beda ketinggian 1,8 m, pada bukaan katup *full* atau debit aliran 140,5 LPM dan pada jumlah sudu 16 yang menghasilkan nilai efisiensi turbin sebesar 49,37%.

#### DAFTAR PUSTAKA

Balai BWS Sumatera VIII Direktorat Jendral Sumber Daya Air Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2018. *Daftar Inventarisasi Sungai-Sungai dan Daftar Satuan Wilayah Sungai*. Palembang.

Bruce, R. Munson., Donald F. Young dan Theodore H. Okiishi. 2004. *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga.

- Dandekar, M. M dan K.N. Shama. 1991. *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Daugherty, R. L., J.B. Franzini, dan E. J. Finnemore.. 1997. *Fluid Mechanics and Engineering Applications*, 9<sup>th</sup> ed., New York. McGraw-Hill.
- Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi. 2016. *Statistik EBTKE 2016*. Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi.
- Fuhaid. Naif. (2012). *Pengaruh Sudut Pipa Pesat Terhadap Efisiensi PLTMH*. Jurnal Proton. Vol 4 No 1 Hal 27-32.
- Furnes, Kjørtan. 2013. "Flow in Pelton Turbines". *Norwegian University Of Science and Technology*.
- Giancoli, Douglas C. 2014. *Fisika: Prinsip dan Aplikasi Edisi ke 7 Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Guruh, Ridho Syah Putra. 2013. *Pengaruh Pemberat pada Turbin Terhadap Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLMH)*. Jurnal Proton, Vol.5. No. 1.
- Hartadi, Budi. 2015. *Perencanaan Penstock, Runner, dan Spiral Casing Pada Turbin Air Kaplan Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Di Sungai Sampahan Desa Magalau Hulu Kabupaten Kota Baru*. Banjarmasin: Universitas Islam Kalimantan.
- Irawan, Dwi. 2016. *Prototype Turbin Pelton Sebagai Energi Alternatif Mikro Hidro Di Lampung*. Bandar Lampung: Universitas Muhammadiyah Metro.
- Kanoglu, Mehmet., Cengel, A. Yunus., dan Dincer, Ibrahim. 2012. *Efficiency Evaluation of Energy Systems*. Springer New York Heidelberg Dordrecht. London.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2016. *Solusi Listrik Off-Grid Berbasis Energi Terbarukan Di Indonesia*. Jakarta: Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi.
- Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.0983 K/16/MEM/2004. 2007. *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025*. Jakarta.
- Nafis, Subhan., Berlian, Akbar, Anggono, Tri, dan Maksum, Hasan. 2012. *Evaluasi Kinerja (PLTMH)*. Jawa Barat: Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konversi Energi.
- Priyono, Djoko. 2018. *Pertamina Operasikan PLTMH di Sumatra Selatan*. Jakarta: Media Indonesia.
- Purnomo, Arfah., Efrita, dan Suryanto, Edi. 2013. *Analisa Ketinggian dan Debit Air Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Pada Daerah Terpencil*. Surabaya: Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- Sitompul, Rislina. 2011. *Manual Pelatihan Teknologi Energi Terbarukan yang Tepat Untuk Aplikasi di Masyarakat Perdesaan*. Jakarta: PNPM Mandiri Pedesaan.
- White, M. Frank. 2016. *Fluid Mechanics*, 8<sup>th</sup> ed., New York. McGraw-Hill.
- Winardi, H Saptoadi. 2004. *Pengaruh Jumlah Sudu Roda Jalan Terhadap Unjuk Kerja Turbin Aliran Silang*. Program Studi Teknik Mesin UGM. Volume 17 (2).
- Yohannes, Junaedy Morong. 2016. *Rancang Bangun Kincir Air Irigasi Sebagai Pembangkit Listrik di Desa Telalawan*. Manado: Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado.
- Yusri, Zamri, Aidil., dan Asmed. 2004. *Analisis Daya dan Putaran Kincir Air Tradisional Sebagai Alternatif Sumber Daya Penggerak*. Padang: Politeknik Negeri Padang.