

# ANALISIS KINERJA PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO TURBIN KAPLAN SUMBERDAYA HEAD POTENSIAL

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

Aida Syarif<sup>1,a)</sup>, Yohandri Bow<sup>1</sup>, Muhammad Fadil Taufik<sup>1,b)</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Energi/Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Sriwijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139, Telp. 0711-353414

e-mail : <sup>a)</sup> [aida\\_syarif@yahoo.co.id](mailto:aida_syarif@yahoo.co.id) / <sup>b)</sup> [muhfadiltaufik@gmail.com](mailto:muhfadiltaufik@gmail.com)

### ABSTRACT

*Research on Prototype of Microhydro Power Plant Kaplan Turbine Potential Head Resource laboratory scale by utilizing potential energy of water and using application on Kaplan Turbine. Performance Analysis Prototype of Micro Hydro Power Plant uses the basic equations that is applied in the calculation analysis to determine the best performance analysis of the generating power of 8.5 watts is located at of head 1.8 m by opening full valve or flow rate variation of 140.5 L/min Minute with number of 16 blades. The results of optimum performance analysis of the plant are on different altitudes of head 1.7 m by opening valve  $\frac{3}{4}$  or a flow rate variation of 105.4 L/min obtained best performance in actual condition with electrical power performance of 6.4 watt. The electrical power got best performance at different of head 1.6 m by opening valve  $\frac{1}{4}$  or flow rate variation of 32.8 L/min with the result of 1.1 watt. The electrical power performance shows best performance in head different of 1.4 m by opening valve  $\frac{1}{2}$  or 60.8 L/min flowrate variation with the result of 4 watt.*

*Keywords: Microhydro, Kaplan, Performance, Head, Flowrate, Blades*

## 1. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Indonesia sebagai Negara kepulauan memiliki sumber daya alam melimpah ruah yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi bagi keberlangsungan hidup. Energi yang 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 mengantisipasi energy baru terbarukan (EBT) merupakan alternatif yang terbaik. Energi alternatif yang bersifat terbarukan dan dapat selalu dimanfaatkan yaitu energi air, angin, matahari, dan panas bumi. Menurut Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (2006), cadangan minyak bumi di Indonesia diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 23 tahun dengan rasio cadangan atau produksi pada tahun tersebut. Sedangkan gas diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 62 tahun dan batubara 146 tahun.

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 Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (2006), 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.

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, 2017).

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 Frisca Anugra Putra (2018) yaitu prototipe Turbin Kaplan sebagai Energi Alternatif Mikrohidro di Surabaya didapatkan kondisi efektif dari perancangan PLTMH yaitu dengan pada debit  $0,0004 \text{ m}^3/\text{s}$  didapat daya yang dihasilkan sebesar  $0,926 \text{ Watt}$  dengan ketinggian  $1,17 \text{ m}$ .

Sedangkan pada penelitian lainnya yang dilakukan oleh Purnomo dkk(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  $33 \text{ liter}$  dan memvariasikan ketinggian, pada penelitian tersebut didapatkan kondisi optimal dengan debit sebesar  $0,0825 \text{ m}^3/\text{s}$ , *head*  $2,96 \text{ m}$  dapat menghasilkan daya sebesar  $244,97 \text{ Watt}$ . Namun pada penelitian tersebut hanya menghitung debit aliran dan ketinggian secara teoritis saja sehingga belum didapatkan keadaan aktual yang sebenarnya.

Pada penelitian ini menggunakan sumber daya *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. Sehingga prototipe PLTMH tersebut menerapkan prinsip PLTMH sebenarnya yang memanfaatkan energi potensial air dan ada perbedaan tinggi jatuh air dan variasi sudu turbin. Oleh karenanya, Peneliti mengambil judul analisis kinerja dari prototipe PLTMH Turbin Kaplan

### Tinjauan Pustaka

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  $19.385 \text{ MW}$  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  $3.000 \text{ MW}$  pada tahun 2025 (Direktorat Jenderal EBTKE, 2016).

Salah satu pengelolaan energi nasional dalam RUEN adalah Mendorong Pengelolaan Energi yang Berwawasan Lingkungan. Maka aspek lingkungan menjadi sangat penting dalam pengembangan PLTMH menurut Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) Pedoman Pengelolaan Lingkungan Hidup Bidang PLTMH.

Perhitungan parameter-parameter pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dapat digunakan 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* ( $L_p$ ) (Budi Hartadi, 2015)

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

Keterangan:  $L_p$  adalah panjang *penstock* dalam meter, Adalah *Head nett* dalam meter dan B adalah *Head* potensial dalam meter.

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

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

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

Keterangan:  $\theta$  adalah Sudut elevasi *penstock*, B adalah *Head* potensial dalam meter dan  $L_p$  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 R. Munson, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, 2002)

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

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

5. Debit Air (Q) (Bruce R. Munson, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, 2002)

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

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 ( $E_p$ ) (Giancoli Douglas C, 2014)

$$E_p = \rho Q g H \dots\dots\dots (7)$$

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

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

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

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

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

### C. Energi Mekanik Turbin Kaplan ( $K_T$ )

Energi mekanik turbin Kaplan dapat ditentukan dengan menghitung kecepatan keliling turbin, jumlah putaran turbin, gayatangensial, dan torsi turbin kaplan.

1. Kecepatan Keliling Turbin Kaplan ( $U$ ) (Kjartan 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 keturbin terhadap garis radial.

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

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

Keterangan:  $D$  adalah diameter runner turbin.

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

$$F = \rho \times Q \times v \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan:  $\rho$  adalah densitas air  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

4. Energi Mekanik Turbin Kaplan ( $K_T$ ) (Yusri, 2004)

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

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

### D. Perhitungan Efisiensi Turbin Kaplan

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

$$\eta_{Turbin} = \frac{K_T}{K_H} \times 100\% \dots\dots\dots (14)$$

Keterangan:  $K_H$  adalah daya hidrolik dalam watt dan  $K_T$  adalah daya Poros dalam watt.

### E. Perhitungan Efisiensi Generator

Perhitungan efisiensi generator dapat digunakan persamaan sebagai berikut (Kanoglu, Cengel, dan Dincer, 2012)

$$\eta_G = \frac{W \text{ electric out}}{W \text{ shaft in}} = \frac{K_G}{K_T} \times 100\% \dots\dots\dots (15)$$

Keterangan:  $K_G$  adalah daya generator dalam watt dan  $K_T$  adalah daya Poros dalam watt.

### F. Perhitungan Efisiensi PLTMH

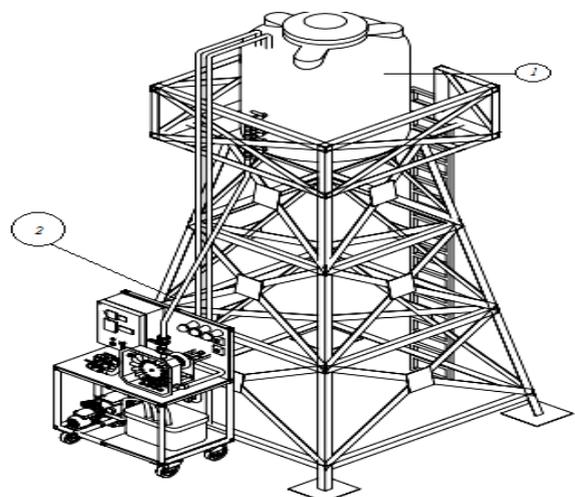
Perhitungan efisiensi keseluruhan PLTMH Turbin Kelton dapat digunakan persamaan sebagai berikut, (Kanoglu, Cengel, dan Dincer, 2012)

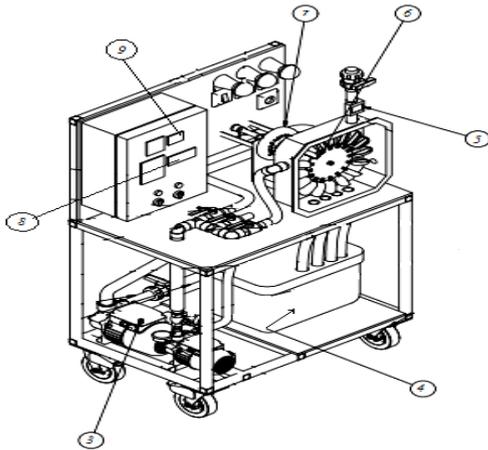
$$\eta_{Total} = \frac{\text{Energy Output (Watt)}}{\text{Energy Input (Watt)}} \times 100\% \dots\dots\dots (16)$$

Keterangan:  $\text{Energy Output}$  adalah daya generator dalam watt dan  $\text{Energy Input}$  adalah daya hidrolik dalam watt.

## 2. METODE

Secara garis besar rancangan ini dibagi menjadi 5 bagian utama yaitu tangki penampung air, penstock, turbin Kaplan, 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, 1,7, 1,6, 1,5 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° 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 Kaplan yang digunakan memiliki variasi 16 sudu. Turbin Kaplan yang dirancang menggunakan campuran logam timah dan nikel dengan bobot turbin sebesar 3,17 kg, diameter runner 0,20 m, panjang sudu 0,057 m, lebar sudu, 0,048 m dan kedalaman lengkungan sebesar 0,026 m.





**Gambar 1.** Komponen Prototipe PTMH

Turbin Kaplan

Keterangan Gambar 1 :

- |                                   |                      |
|-----------------------------------|----------------------|
| 1. Tangki penampung air           | 6. Turbin Kaplan     |
| 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>               |                      |

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.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Padapenelitian Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Kaplan Sumberdaya *Head* Potensial menunjukkan data pada saat penelitian dilaksanakan. Penelitian ini menggunakan variabel tak tetap berupa debit aliran air, variasi debit yang digunakan ialah 35,1 L/Min, 70,3 L/Min, 105,4 L/Min, 140,5 L/Min, pengambilan data dilakukan pada setiap beda ketinggian jatuh air yaitu 1,8 m, 1,7 m, 1,6 m, 1,5 m, 1,4 m, serta variasi sudu Turbin Kaplan, dengan jumlah sudu 16, sudu 8, dan sudu 4. Sedangkan variabel tetap berupa volume air dan luas penampang *penstock*. Hasil penelitian yang didapat berupa debit

aliran, jumlah putaran turbin, 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, dan daya listrik yang dihasilkan untuk setiap variasi beda ketinggian, debit aliran air dan jumlah sudu turbin terhadap perhitungan desain dan aktual.

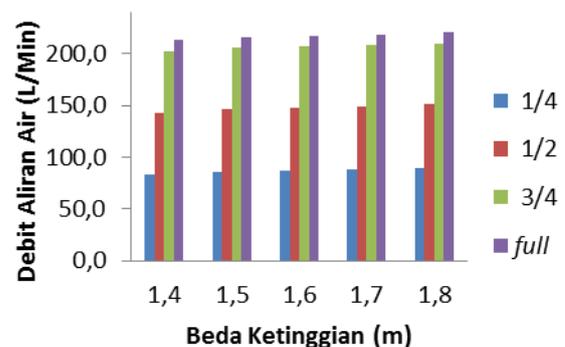
#### 3.2.1 Analisis Variasi Beda Ketinggian Terhadap Kinerja Prototipe

Variasi beda ketinggian jatuh air akan berpengaruh terhadap besar putaran turbin yang dihasilkan dan berpengaruh terhadap kinerja turbin dalam menghasilkan energi yang optimum serta efisiensi turbin. Perubahan yang terjadi pada debit air akan berpengaruh terhadap kinerja prototipe PLTMH Turbin Kaplan.

##### A. Pengaruh Variasi Beda Ketinggian Terhadap Debit Aliran Air yang Dihasilkan

Debit aliran air yang dihasilkan untuk variasi beda ketinggian jatuh air terlihat terdapat perbedaan antara debit aliran yang dihasilkan. Pengaruh beda ketinggian jatuh air terhadap debit aliran air yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2.

Dapat diamati pada grafik tersebut, 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 Variasi Beda Ketinggian Terhadap Debit Aliran Air yang Dihasilkan

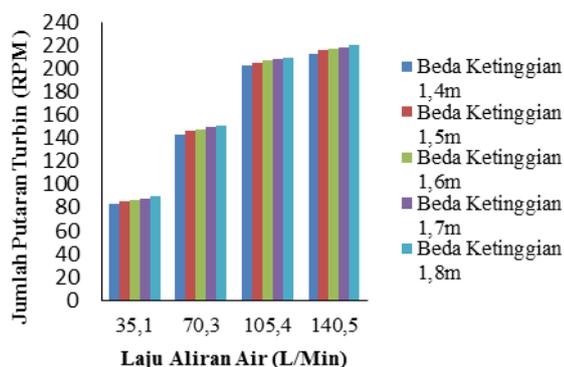
Debit aliran air terlihat naik secara signifikan, semakin beda ketinggian jatuh air maka semakin besar

debit aliran yang dihasilkan. Semakin besar bukaan *valve* maka semakin besar debit aliran air yang dihasilkan. Pada *head* yang paling tinggi yaitu 1,8 m dan bukaan *valve full*, debit aliran yang dihasilkan hanya mampu mengeluarkan debit 140,5 Liter Per Menit. Perbedaan debit aliran bisa juga disebabkan karena air yang keluar melalui lubang dalam tangki dengan perbedaan jarak (*h*) di bawah permukaan air. Adanya perbedaan debit aliran desain dan aktual tidak dipengaruhi oleh tekanan dalam fluida dikarenakan tekanan atmosferik pada permukaan air didalam tangki sama dengan pada keluaran *penstock*. Perbedaan debit aliran juga dipengaruhi oleh ukuran tangki air yang digunakan. Tangki air yang digunakan pada penelitian ini memiliki volume 600 L.

### B. Pengaruh Variasi Beda Ketinggian Terhadap Jumlah Putaran Turbin

Kinerja dari *prototype* PLTMH Turbin Kaplan dapat dilihat dari jumlah putaran turbin (RPM) yang dihasilkan. Jumlah putaran turbin di pengaruhi oleh banyaknya volume air tiap satuan detik yang dihasilkan dari tinggi jatuh air tersebut. Banyaknya volume air yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh bukaan katup yang mengontrol debit air yang akan menabrak turbin sehingga menghasilkan putaran pada turbin. Besarnya jumlah putaran pada turbin berpengaruh terhadap daya listrik yang dihasilkan. Pengaruh beda ketinggian jatuh air terhadap jumlah putaran turbin yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 3.

Namun dapat diamati pada grafik tersebut bahwa jumlah putaran yang mampu dihasilkan oleh turbin mengalami peningkatan walaupun tidak cukup signifikan.



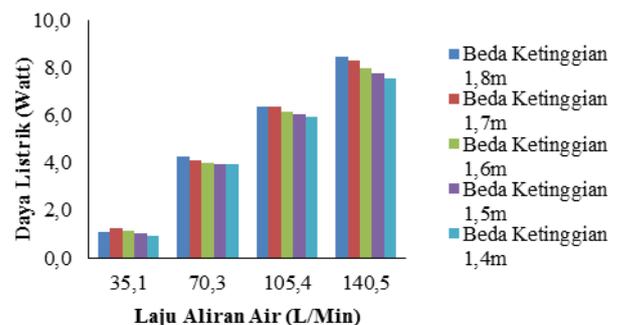
Gambar 3. Pengaruh Beda Ketinggian Terhadap Jumlah Putaran Turbin

Pada ketinggian 1,4 m dengan laju aliran air 140,5 L/min kinerja turbin mencapai 213,37 rpm. Kemudian pada ketinggian 1,8 m terjadi peningkatan putaran turbin sebesar 220,67 rpm. Hal ini menunjukkan debit aliran fluida pada ketinggian tertentu yang menabrak sudu turbin berpengaruh terhadap kecepatan kinerja turbin dan energi yang dihasilkan. Air yang jatuh tersebut akan mengenai bagian tengah-tengah

penampang sudu yang mempunyai penampang berbentuk datar. Bentuk penampang bertujuan agar bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu-sudu dari gaya samping. Akibat adanya tumbukan antara pancaran air dan sudu, maka putaran turbin yang dihasilkan akan semakin besar sehingga energi mekanik yang dihasilkan akan semakin besar untuk terkonversi menjadi energi listrik. Menurut Sugiyanto (2016), penambahan debit air akan mengakibatkan perubahan putaran pada sudu roto turbin, hal ini terjadi karena jumlah debit air yang bertambah mengakibatkan banyaknya air yang keluar dari sudu strator menuju pipa keluar semakin besar dari penambahan debit aliran air tersebut.

### C. Pengaruh Beda Ketinggian Terhadap Daya Listrik

Pada Gambar 4 yang diperlihatkan adalah grafik pengaruh variasi beda ketinggian terhadap daya listrik yang merupakan unjuk kerja turbin kaplan. Pada ketinggian 1,8 m dengan laju aliran air 35,1 L/min daya listrik yang dihasilkan mencapai 1,1 watt. Kemudian pada laju aliran air 140,5 L/min terjadi peningkatan daya listrik sebesar 8,5 watt. Namun 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 4. Pengaruh Variasi Beda Ketinggian Terhadap Efisiensi Turbin

Semakin besar debit aliran yang digunakan maka semakin besar daya listrik yang dihasilkan. Hal ini disebabkan dengan bertambahnya debit atau volume air yang dialirkan 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.

Dari analisa yang telah dilakukan dapat diamati bahwa daya yang mampu dihasilkan oleh turbin dipengaruhi oleh tinggi jatuh air sehingga dapat mempengaruhi debit air yang jatuh menabrak sudu turbin dan putaran turbin. Menurut Purnomo (2013) pada analisa ketinggian dan debit air pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Daerah terpencil, menyebutkan bahwa semakin besar tinggi jatuh airnya, semakin besar pula kecepatan dan daya air yang masuk ke turbin, yang menyebabkan semakin besarnya kinerja turbin untuk dapat membangkitkan energi melalui generator.

Tekanan hidrostatik memiliki pengaruh terhadap besarnya debit air yang dihasilkan, dikarenakan semakin besar tinggi jatuh air akan meningkatkan tekanan hidrostatik sehingga debit air yang menabrak turbin semakin besar. Debit air yang dihasilkan dari tinggi jatuh air akan menyentuh bagian tengah-tengah penampang sudu yang mempunyai penampang berbentuk datar. Bentuk penampang bertujuan agar bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu-sudu dari gaya samping. Akibat adanya tumbukan antara pancaran air dan sudu, maka putaran turbin yang dihasilkan akan semakin besar sehingga energi mekanik yang dihasilkan semakin besar untuk terkonversi menjadi energi listrik. Sebagaimana telah dijelaskan pada analisis sebelumnya yaitu hubungan antara debit aliran air dengan putaran turbin, bahwa dengan bertambahnya debit aliran air maka akan berpengaruh pada semua parameter tersebut

### 3.2.3 Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Prototipe

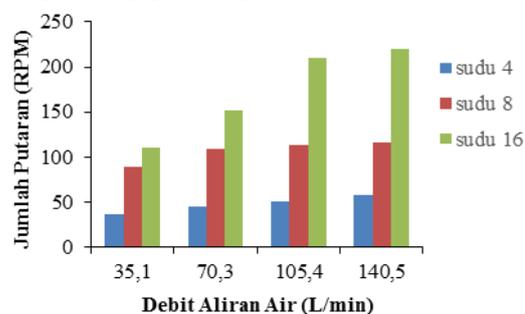
Selain dari variasi beda ketinggian jatuh air dan debit aliran, kinerja dari pembangkit listrik tenaga mikrohidro juga dipengaruhi oleh faktor jumlah sudu turbin. Jumlah sudu turbin memberi pengaruh terhadap kinerja turbin yang akan menambah gaya tangensial turbin kaplan karena setiap dari total sudu resultan gaya akan lebih besar.

#### A. Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Jumlah Putaran Turbin

Jumlah putaran turbin terhadap variasi jumlah sudu turbin dapat dilihat pada Gambar 5. Pada grafik tersebut dapat diamati hubungan antara debit air dengan putaran kincir berdasarkan jumlah sudu yaitu 4, 8, dan 16. Semakin besar debit air maka semakin besar putaran turbin yang dihasilkan. Pada jumlah sudu 4, 8 dan 16 dengan debit kisaran 0 – 30 L/min belum menghasilkan putaran turbin dan menghasilkan putaran turbin pada debit air diatas 30 L/min. Hal ini dikarenakan dengan kecepatan debit air dibawah 30 liter/menit tidak dapat mendorong sudu turbin dan tidak terjadi tumbukan antara air dan sudu turbin, sehingga tidak ada gaya air untuk memutar turbin.

Semakin bertambahnya jumlah sudu yang mengelilingi poros rotor turbin maka semakin besar jumlah putaran turbin sehingga meningkatkan daya listrik yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat pada jumlah variasi sudu 16 yang mampu menghasilkan putaran turbin yang jauh lebih besar dibandingkan sudu 8 dan 4.

Penambahan jumlah sudu juga berarti menambah jumlah gaya tangensial sehingga resultannya menjadi lebih besar, namun pertambahan jumlah sudu memungkinkan adanya pengurangan besar nilai dari masing-masing gaya tangensial tersebut.



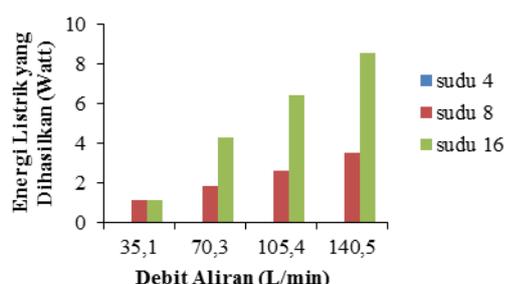
**Gambar 5.** Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Jumlah Putaran Turbin

Dengan demikian, dengan adanya pertambahan jumlah sudu akan menambah jumlah putaran turbin. Selain itu besarnya debit aliran air berpengaruh terhadap jumlah putaran turbin yang dihasilkan dikarenakan semakin besar debit aliran air maka semakin besar pula jumlah putaran turbin. Hal itu sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Pietersz (2013), 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 dihasilkan.

#### B. Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya Listrik yang Dihasilkan

Dari Gambar 6, terlihat hubungan antara debit air dengan daya listrik yang dihasilkan berdasarkan jumlah sudu yaitu 4, 8, dan 16. Semakin besar debit air maka semakin besar daya listrik yang dihasilkan. Pada jumlah sudu 4, 8 dan 16 dengan debit kisaran 0 – 30 liter/menit belum menghasilkan daya listrik. Hal ini dikarenakan dengan kecepatan debit air dibawah 30 liter/menit belum menghasilkan putaran turbin dan putaran pada generator untuk mengkonversi energi listrik sehingga energi listrik yang dihasilkan masih sebesar 0 watt. Sedangkan debit air diatas 30 liter/menit dapat menghasilkan energi listrik. Hal itu sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Pietersz (2013), semakin bertambahnya debit air, semakin besar putaran turbin maka semakin besar energi listrik yang dihasilkan. Sebaliknya, semakin berkurangnya debit air, semakin kecil putaran turbin maka semakin kecil energi listrik dihasilkan.

Daya listrik yang dihasilkan oleh setiap variasi sudu itu memiliki rentang yang cukup signifikan. Debit aliran untuk setiap ketinggian itu di buka secara *full*. Pada variasi sudu 4 tidak menghasilkan listrik, walaupun Debit aliran yang digunakan *full*. Hal ini disebabkan karena putaran yang dihasilkan oleh variasi sudu 4 itu relatif rendah. Dari grafik tersebut terlihat bahwa jumlah sudu 16 menghasilkan energi listrik paling optimal dengan Debit aliran air dibuka secara *full*, 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.



**Gambar 6.** Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya Listrik

Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar debit air maka semakin besar energi listrik yang dihasilkan dengan bertambahnya jumlah sudu. Semakin banyak jumlah sudu maka putaran turbin semakin besar dan energi listrik yang dihasilkan semakin besar. Sebaliknya, semakin sedikit jumlah sudu maka semakin sedikit daya listrik yang dihasilkan. Menurut Sule (2015), energi listrik yang dihasilkan oleh turbin dipengaruhi oleh kecepatan air, luas penampang, dan putaran turbin, serta semakin bertambahnya jumlah sudu maka putaran turbin semakin besar sehingga energi listrik yang dikonversi akan semakin besar. Untuk menghasilkan energi listrik yang lebih besar maka dibutuhkan daya mekanik yang lebih besar. Hal ini sesuai dengan Hukum kekekalan energi bahwa energi tidak dapat diciptakan tetapi dapat diubah dari bentuk satu ke bentuk energi yang lain.

#### 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 Kaplan Sumberdaya *Head* Potensial, dapat disimpulkan bahwa:

Beda Ketinggian, Debit Aliran, dan Jumlah Sudu sangat berpengaruh terhadap kinerja Prototipe dalam menghasilkan daya listrik. Kinerja Prototipe dalam menghasilkan daya listrik dari penelitian PLTMH Turbin Kaplan 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 8,5 Watt.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anugra Putra, Frisca. 2018. Analisa Pengaruh Sudu dan Debit Aliran Terhadap Performa Turbin Kaplan. Universitas 17 Agustus 1945: Publikasi Online Mahasiswa Teknik Mesin. Vol. 1 No.1
- 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 & Theodore H. Okiishi. 2004. *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga.
- Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi. 2016. *Statistik EBTKE 2016*. Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi.
- Dandekar, M. M dan K.N. Sharina. 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.
- Frank, M. White. 2016. *Fluid Mechanics*, 8<sup>th</sup> ed., New York. McGraw-Hill.
- Furnes, Kjartan. 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.
- 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.
- Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.0983 K/16/MEM/2004. 2006. *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025*. Jakarta.
- 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.
- Kanoglu, Mehmet., Cengel, A. Yunus., dan Dincer, Ibrahim. 2012. *Efficiency Evaluation of Energy Systems*. Springer New York Heidelberg Dordrecht. London.

- N Pietersz, Richard. 2013. *Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Optimalisasi Kinerja Turbin Kinetik Roda Tunggal*. Universitas Brawijaya : Malang.
- Priyono,Djoko. 2017. *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.
- Sule, Luther. 2015. *Kinerja yang Dihasilkan Oleh Kincir Air Arus Bawah dengan Sudu Berbentuk Mangkok*. Universitas Hasanuddin : Makasar.
- Sugiyanto, Didik. 2016. *Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Kaplan Dengan Variasi Debit Air*. Jurnal Kajian Teknik Mesin. Uta 45 Jakarta.
- Yusri, Zamri, Aidil., dan Asmed. 2004. *Analisis Daya dan Putaran Kincir Air Tradisional Sebagai Alternatif Sumber Daya Penggerak*. Padang: Politeknik Negeri Padang.