

KAJIAN EKSPERIMENTAL PENGARUH PANJANG *CHORD* SUDU TERHADAP UNJUK KERJA TURBIN HELIK UNTUK SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)

Ahmad Rapa'i¹⁾ Jorfri B. Sinaga²⁾ dan M. Dyan Susila ES²⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung

²⁾ Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung

Jln. Prof.Sumantri Brojonegoro No. 1 Gedung H FT Lt. 2 Bandar Lampung

Telp. (0721) 3555519, Fax. (0721) 704947

Abstract

All this time microhydro power plants (MHP) created a resource use of water flow has high fall of water (head) while for areas that have stream of river but do not have high fall of water (head) still a lot of untapped but has potential hydrokinetic be able rotating turbine. This is what lies behind the research conducted to determine the effect of chord length on the performance of the helical turbine which is expected to come helical turbine performance as the optimum use of the potential hydrokinetic. Helical turbine tested had dimensions of 1.2 m high and 1 m in diameter, blade profile NACA 0030, chord length 15 cm, 20 cm and 25 cm with number of blades 3 pieces. Tests performed on the irrigation canals that open to varying water velocity of 0.52 m/s, 0.68 m/s and 0.8 m/s. From the test results obtained helical turbine performance as follows. The largest torque obtained in water velocity of 0.52 m/s, 0.68 m/s and 0.8 m/s is 3.89 Nm, 27.09 Nm and 39.38 Nm is the chord length of the turbine with 25cm and the smallest torque on the chord length of 15 cm of 2.31 Nm. Power largest turbine in the water velocity of 0.52 m/s, 0.68 m/s and 0.8 m/s is 7.12 Watt, 60.41 Watt and 103.96 Watt, turbine that is on the chord length of 25 cm and the smallest turbine power chord length of 15 cm by 3.58 watts. Largest turbine efficiency at water velocity of 0.52 m/s, 0.68 m/s and 0.8 m/s is 8.44%, 32.02% and 33.84% in the turbine with a chord length of 25 cm and efficiency the smallest turbines on the chord length of 15 cm of 1,17%.

Keywords : *microhydro, water turbine, helical turbine, chord length, helical turbine performance*

PENDAHULUAN

PT. PLN (Persero) mencatat konsumsi listrik Indonesia tumbuh 10,17% sepanjang tahun 2012 atau tertinggi dalam 14 tahun terakhir. Pada tahun lalu, penjualan listrik PLN mencapai 173 TWh. Ini merupakan pencapaian tertinggi sejak krisis ekonomi yang pernah melanda Indonesia pada tahun 1998. Kenaikan konsumsi listrik mulai terlihat signifikan pada tahun 2010 sekitar 9,4%^[5] dan kebutuhan listrik di Lampung khususnya di daerah pedesaan yang totalnya berdasarkan data Dinas Pertambangan dan Energi Lampung dari 4.355 desa terdapat 681 desa yang belum dialiri listrik. Artinya sebanyak 15,6,% desa belum menikmati penerangan listrik, baru 84,4% desa teraliri listrik^[2]. Berarti kebutuhan listrik merupakan kebutuhan yang sangat vital dan

terus tumbuh setiap tahunnya namun secara umum belum diimbangi dengan ketersediaan listrik yang cukup untuk skala nasional dan skala lokal khususnya di daerah Lampung.

Hal ini karena belum maksimalnya pemanfaatan sumber energi terbarukan dan keterbatasannya sumber energi fosil yang mengakibatkan kurang terpenuhinya kebutuhan listrik nasional. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) sangat cocok untuk dikembangkan di daerah pedesaan terpencil yang jauh dari jangkauan listrik PLN terutama yang memiliki aliran sungai, selama ini PLTMH yang dibangun merupakan pemanfaatan sumber aliran air yang memiliki tinggi jatuh air (*head*) sedangkan untuk daerah yang memiliki aliran sungai tetapi tidak memiliki tinggi jatuh air (*head*) masih banyak

belum dimanfaatkan padahal memiliki potensi hidrokinetik berupa arus air yang mampu menggerakkan turbin. Sehingga hal ini yang melatarbelakangi dilakukannya kajian eksperimental turbin helik sebagai pemanfaatan potensi hidrokinetik. Untuk mendapatkan unjuk kerja yang lebih optimal dari turbin tersebut, maka dilakukan kajian terhadap pengaruh panjang *chord* sudu turbin helik sebagai pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH), diharapkan dalam penelitian ini didapat unjuk kerja yang maksimum.

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian PLTMH

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerakannya, seperti saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi jatuh air (*head*) dan jumlah debit air [6]. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air sebagai sumber energi, turbin dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dari ketinggian tertentu menuju rumah instalasi (rumah turbin/*power house*). Di rumah instalasi air tersebut akan menumbuk turbin, dimana turbin sendiri dipastikan akan menerima energi air tersebut dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa berputarnya poros turbin. Poros turbin yang berputar tersebut kemudian dihubungkan ke poros generator dengan menggunakan *gearbox* atau *pulley*. Dari generator akan dihasilkan energi listrik yang akan masuk ke sistem kontrol arus listrik sebelum dialirkan ke rumah-rumah atau keperluan lainnya (beban).

B. Klasifikasi Turbin Air

Turbin air dibedakan dalam dua golongan utama, yaitu dipandang dari segi perubahan momentum fluida kerjanya.

1. Turbin Impuls

Turbin impuls merupakan turbin air yang memiliki tekanan sama pada setiap sudu gerakannya (*runner*). Energi potensial air diubah

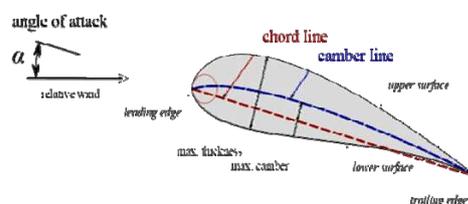
menjadi energi kinetik pada nosel. Air keluar nosel yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (*impuls*). Akibatnya roda turbin akan berputar. Jenis dari turbin impuls adalah turbin Pelton, turbin turgo dan turbin *crossflow*.

2. Turbin Reaksi

Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga *runner* (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin reaksi bekerja dengan secara langsung mengubah energi kinetik juga energi tekanan secara bersamaan menjadi energi mekanik. Jenis dari turbin ini adalah turbin Francis dan turbin Kaplan.

C. Airfoil

Airfoil adalah merupakan suatu struktur dengan bentuk geometri spesifik yang digunakan untuk menghasilkan gaya mekanis karena gerakan relatif dari *airfoil* tersebut dan juga fluida sekitarnya [4].

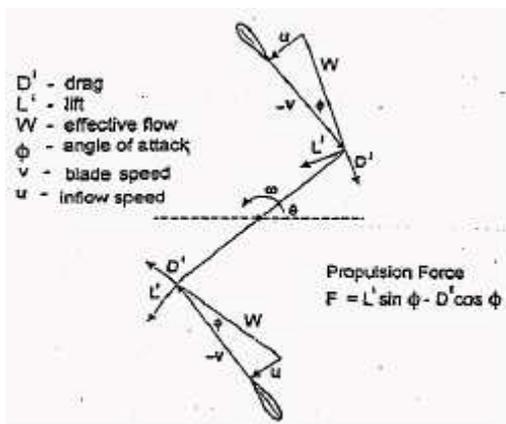


Gambar 1. Bagian-bagian *airfoil* [7].

Untuk *airfoil* NACA telah dikeluarkan standar data beserta karakteristik aerodinamikanya yang dinyatakan dalam bentuk *serial number* yang terdiri dari 4 digit, yang mana setiap digitnya mempunyai arti sebagai berikut:

- Angka pertama: menunjukkan harga maksimum *chamber* dalam persentase terhadap *chord*.
- Angka kedua: menunjukkan lokasi dari maksimum *chamber* dalam persepuluh *chord*.

- Dua angka terakhir: menunjukkan maksimum *thickness* dalam persentase *chord*.



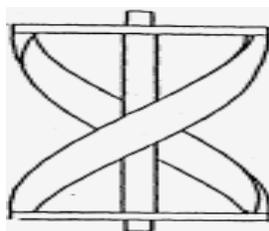
Gambar 2. Aliran gaya pada *airfoil* [1]

Dimana:

- D adalah gaya *drag*
- L adalah gaya *lift*
- W adalah kecepatan relatif
- v adalah kecepatan keliling sudu
- u adalah kecepatan aliran fluida
- α adalah sudut serang terhadap sudu.

D. Turbin Helik

Turbin helik adalah turbin yang mengubah energi kinetik yang dihasilkan oleh arus menjadi energi mekanis/gerak putar, jenis turbin ini baru dikembangkan pada tahun 1995 [1], ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3..Turbin helik dengan dua sudu [1]

E. Perhitungan Turbin Helik

1. Soliditas (σ)

$$\sigma = \frac{n}{\pi} \left[d + \sum_{k=1}^n \sin \left(\frac{\pi k}{n} - d \right) - \sin \frac{\pi k}{n} \right] \dots\dots(1)$$

Dimana:

- n adalah jumlah sudu
- d adalah setengah *chord* per jari-jari terhadap sumbu rotasi (rad)

2. Torsi

Untuk menghitung torsi pada turbin helik dapat dilihat pada Gambar 2. Dimana kecepatan relatif (W) merupakan jumlah dari vektor kecepatan air (u) dan vektor kecepatan sudu (v).

$$\vec{W} = \vec{u} + (-\vec{\omega} \cdot \vec{R}) \dots\dots\dots(2)$$

Angel of attack (sudut serang sudu) adalah sudut antara vektor kecepatan relatif dan vektor kecepatan sudu. Pertimbangan-pertimbangan geometris, kecepatan relatif dan *angel of attack* (α) dihitung sebagai berikut [8]:

$$W = u \cdot \sqrt{1 + 2\lambda \cdot \cos \theta + \lambda^2} \dots\dots\dots(3)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \theta}{\cos \theta + \lambda} \right) \dots\dots\dots(4)$$

$$\lambda = \frac{\omega R}{u} \dots\dots\dots(5)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_t}{60} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:

- W adalah kecepatan relatif (m/s)
- u adalah kecepatan air (m/s)
- v adalah kecepatan sudu (m/s)
- λ adalah *tip speed ratio* (TSR)
- R adalah jari-jari turbin (m)
- ω adalah kecepatan sudut (rad/s)
- n_t adalah putaran turbin (rpm)

Gaya aerodinamis yang dihasilkan adalah gaya *lift* (L) dan gaya *drag* (D), dimana gaya *lift* dan gaya *drag* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$D = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot W^2 \cdot A_b \dots\dots\dots(7)$$

$$L = \frac{1}{2} \cdot C_l \cdot \rho \cdot W^2 \cdot A_b \dots\dots\dots(8)$$

Dimana:

- C_l adalah koefisien *lift*
- C_d adalah koefisien *drag*
- W adalah resultan vektor kecepatan (m/s)
- ρ adalah massa jenis air (kg/m^3)
- A_b adalah luas penampang sudu (m^2)

Pada Gambar 2. Dengan memproyeksikan gaya *lift* dan *drag* sebagai gaya yang tegak lurus terhadap lengan (jari-jari), maka selanjutnya dapat diketahui nilai torsi (T) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T = F \cdot R = (L \cdot \sin \alpha - D \cdot \cos \alpha) \cdot R \dots\dots\dots(9)$$

Dimana:

- T adalah torsi (Nm)
- F adalah gaya tegak lurus terhadap lengan (N)
- R adalah jari-jari turbin (m)

3. Daya

Untuk mengetahui daya masukan/daya air dapat diperoleh dengan:

$$P_h = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_t \cdot V^3 \dots\dots\dots(10)$$

Dimana:

- P_h adalah daya air
- ρ adalah massa jenis air (kg/m^3)
- A_t adalah luas penampang turbin (m^2)

Untuk mengetahui daya keluaran yang dihasilkan turbin diperoleh dengan:

$$P_t = T \cdot \omega \dots\dots\dots(11)$$

Dimana:

- P_t adalah daya turbin (Watt)
- T adalah torsi (Nm)
- ω adalah kecepatan sudut turbin (rad/s)

Efisiensi turbin diperoleh dengan:

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_h} \cdot 100\% \dots\dots\dots(12)$$

METODE PENELITIAN

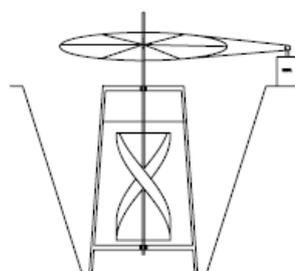
A. Alat

Adapun alat yang digunakan untuk pengambilan data sebagai berikut:

- | | |
|----------------------------|------------------|
| 1. <i>Clamp meter</i> | 6. Obeng |
| 2. <i>Multimeter</i> | 7. kunci |
| 3. <i>Tachometer</i> | 8. Pahat |
| 4. Generator AC | 9. <i>Pulley</i> |
| 5. Rangkaian lampu Paralel | 10. Tabung pitot |

B. Metode Pengambilan Data

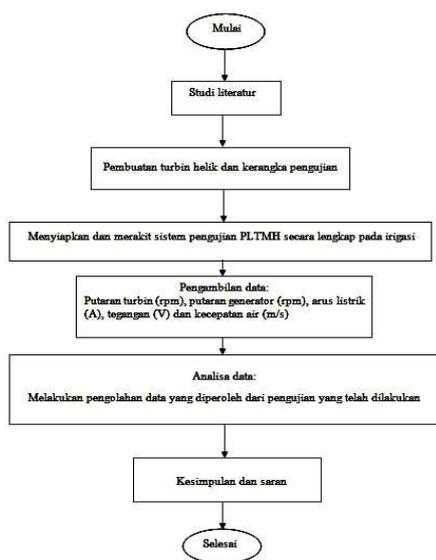
Adapun data yang akan diambil dalam penelitian turbin helik adalah kecepatan putaran turbin (rpm), kecepatan putaran generator (rpm), arus listrik (A), tegangan (Volt) dan kecepatan air (m/s). Gambar skema pengujian turbin helik pada saluran irigasi dapat dilihat pada Gambar 4. Pada saat pengujian turbin helik dengan variasi panjang chord sudu 15 cm, 20 cm dan 25 cm. Dalam pengambilan datanya dilakukan variasi ketinggian air terhadap permukaan turbin yaitu 10 cm di bawah permukaan turbin, sejajar permukaan turbin dan 10 cm di atas permukaan turbin.



Gambar 4. Skema sistem pengujian turbin helik pada saluran irigasi.

Tujuan memvariasikan ketinggian air adalah untuk mendapatkan variasi kecepatan air pada saluran irigasi tersebut. Disetiap titik kecepatan air dilakukan pengujian turbin helik dengan panjang chord sudu 15 cm, 20 cm dan 25 cm.

C. Diagram Alir Penelitian

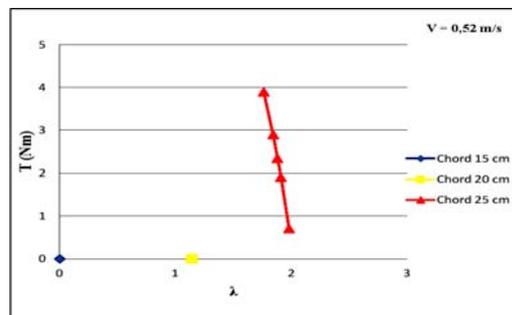


Gambar 5. Diagram alir penelitian.

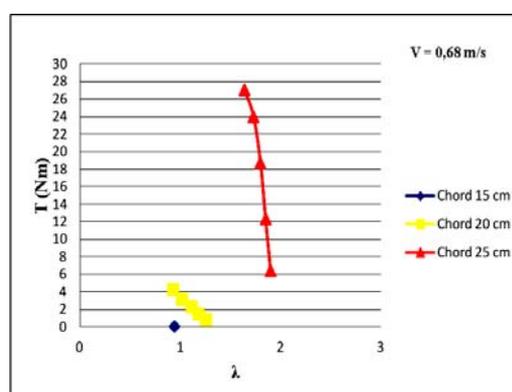
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian didapatkan data berupa tegangan (V), arus (I), putaran turbin (n_t), putarn generator (n_g) dan kecepatan air (v), yang mana digunakan untuk menghitung torsi (T), *tip speed ratio* (λ), daya turbin (P_t), daya air (P_h) efisiensi turbin (η_t). Hasil perhitungan data tersebut dapat digambarkan dalam bentuk grafik hubungan antara torsi (T) terhadap *tip speed ratio* (λ), daya turbin (P_t) terhadap *tip speed ratio* (λ), dan efisiensi turbin (η_t) terhadap *tip speed ratio* (λ).

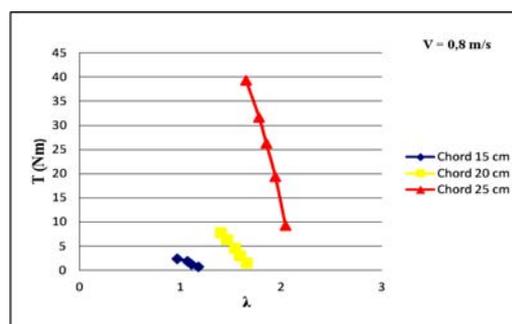
a. Hubungan torsi terhadap *tip speed ratio*



Gambar 6. Grafik hubungan torsi terhadap *tip speed ratio* dengan variasi pembebanan untuk kecepatan air 0,52 m/s.

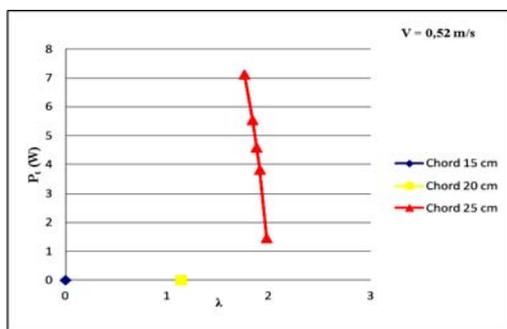


Gambar 7. Grafik hubungan torsi terhadap *tip speed ratio* dengan variasi pembebanan untuk kecepatan air 0,68 m/s.



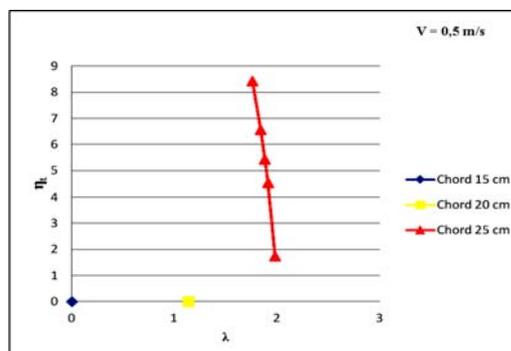
Gambar 8. Grafik hubungan torsi terhadap *tip speed ratio* dengan variasi pembebanan untuk kecepatan air 0,8 m/s.

b. Hubungan daya turbin terhadap *tip speed ratio*

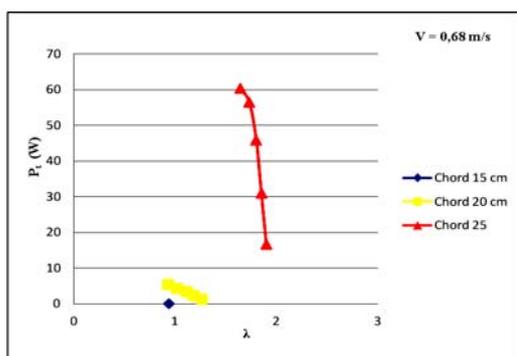


Gambar 9. Grafik hubungan daya turbin terhadap *tip speed ratio* dengan variasi pembebanan untuk kecepatan air 0,52 m/s.

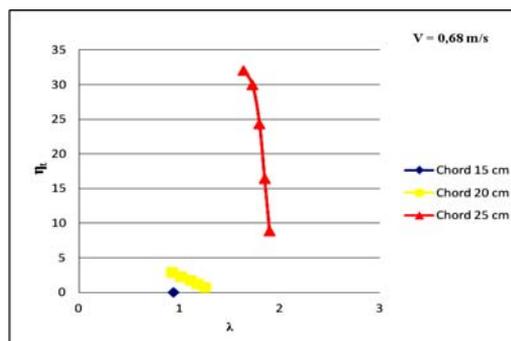
c. Hubungan efisiensi turbin terhadap *tip speed ratio*



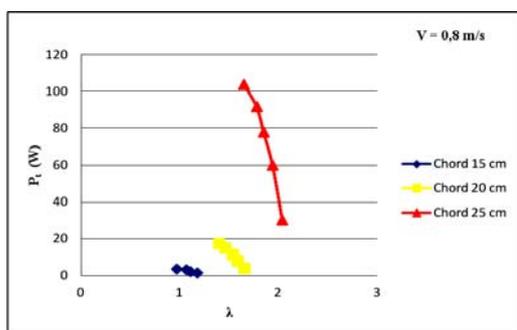
Gambar 12. Grafik hubungan efisiensi turbin terhadap *tip speed ratio* dengan variasi pembebanan untuk kecepatan air 0,52 m/s.



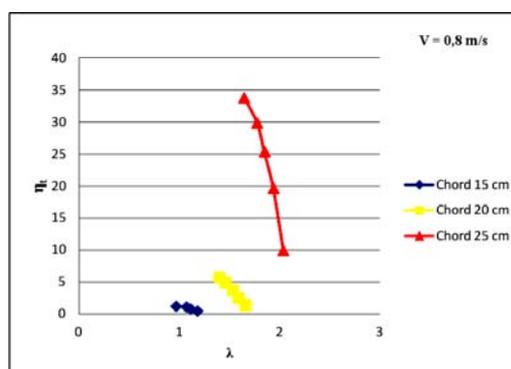
Gambar 10. Grafik hubungan daya turbin terhadap *tip speed ratio* dengan variasi pembebanan untuk kecepatan air 0,68 m/s



Gambar 13. Grafik hubungan efisiensi turbin terhadap *tip speed ratio* dengan variasi pembebanan untuk kecepatan air 0,68 m/s.



Gambar 11. Grafik hubungan daya turbin terhadap *tip speed ratio* dengan variasi pembebanan untuk kecepatan air 0,8 m/s.



Gambar 14. Grafik hubungan efisiensi turbin terhadap *tip speed ratio* pada variasi pembebanan untuk kecepatan air 0,8 m/s.

Dapat dilihat bahwa disetiap grafik hubungan antara torsi terhadap *tip speed ratio*, daya turbin terhadap *tip speed ratio* dan efisiensi turbin terhadap *tip speed ratio* grafiknya semakin meningkat disetiap kenaikan panjang *chord* sudu, dari hasil pengujian dikecepatan air yang sama didapatkan nilai torsi, daya turbin dan efisiensi turbin terbesar pada panjang *chord* 25 cm dan divariasi kecepatan air yang berbeda, panjang *chord* 25 cm tetap memiliki nilai torsi, daya turbin dan efisiensi turbin terbesar. Artinya ukuran panjang *chord* sudu sangat berpengaruh terhadap unjuk kerja dari turbin helik, dikarenakan ukuran panjang *chord* sudu berpengaruh terhadap besarnya soliditas dari turbin helik tersebut, peningkatan harga soliditas mengakibatkan meningkatnya nilai torsi dan menurunkan nilai *tip speed ratio* dan sebaliknya penurunan harga soliditas menurunkan nilai torsi dan menaikkan nilai *tip speed ratio*, hal ini disebabkan pada soliditas yang besar, area kontak sudu menjadi besar yang mengakibatkan gaya-gaya yang ditimbulkan pada sudu turbin semakin besar dan dalam hal ini juga mengakibatkan meningkatnya efek turbulen pada arus air, dimana pada daerah datangnya arus air (bagian frontal turbin) terjadi penurunan kecepatan air. Pada saat kondisi pembebanan pada turbin, efisiensi turbin akan semakin meningkat pada peningkatan soliditas lalu mengalami penurunan apabila soliditas semakin tinggi hal ini disebabkan oleh apa yang telah dijelaskan di atas.

Dalam penelitian ini turbin dengan panjang *chord* sudu 15 cm memiliki harga soliditas sebesar 0,27, turbin dengan panjang *chord* 20 cm memiliki harga soliditas 0,35 dan turbin dengan panjang *chord* 25 cm memiliki harga soliditas 0,42. Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan unjuk kerja terbaik dari turbin helik yaitu pada turbin helik yang memiliki panjang *chord* 25 cm dengan soliditas 0,42, hal ini sesuai dengan referensi, bahwa soliditas terbaik untuk turbin sudu helikal dari *range* 0,2 sampai 0,5 yaitu 0,4^[3].

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada sistem instalasi pengujian PLTMH dapat

diambil simpulan sebagai berikut :

1. Panjang *chord* sudu sangat mempengaruhi unjuk kerja dari turbin helik, Panjang *chord* sudu 25 cm menghasilkan unjuk kerja yang lebih baik dari pada panjang *chord* sudu 20 cm dan 15 cm.
2. Torsi terbesar yang dihasilkan turbin helik pada kecepatan air 0,52 m/s, 0,68 m/s dan 0,8 m/s adalah 3,89 Nm, 27,09 Nm dan 39,38 Nm yaitu pada turbin dengan panjang *chord* sudu 25 cm dan terkecil yaitu pada turbin dengan panjang *chord* sudu 15 cm sebesar 2,31 Nm.
3. Daya turbin terbesar yang dihasilkan turbin helik pada kecepatan air 0,52 m/s, 0,68 m/s dan 0,8 m/s adalah 7,12 Watt, 60,41 Watt dan 103,96 Watt yaitu pada turbin dengan panjang *chord* sudu 25 cm dan terkecil yaitu pada turbin dengan panjang *chord* sudu 15 cm sebesar 3,58 watt.
4. Efisiensi turbin terbesar yang dihasilkan turbin helik pada kecepatan air 0,52 m/s, 0,68 m/s dan 0,8 m/s adalah 8,44 %, 32,02% dan 33,84% yaitu pada turbin dengan panjang *chord* sudu 25 cm dan terkecil yaitu pada turbin dengan panjang *chord* sudu 15 cm sebesar 1,17%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gorlov, A.M. 2010. *Helical Turbine and Fish Safety*.25 Februari 2013. <http://www.mainetidalpower.com/files/gorlovrevised.pdf.html>.
- [2] Kancee Ayep. 2013. *Adopsi Kincir Angin Belanda*. 19 Februari 2013. <http://www.radarlampung.co.id/read/bandarlampung/56700-adopsi-kincir-angin-belanda.html>.
- [3] Shiono, M. K. Suzuki. and S. Kiho. 2002. *Output Characteristics of Darrieus Water turbin with Helical Blades for Tidal Current Generations*. 20 februari 2014. <http://ebook.lib.sjtu.edu.cn/isope2002/pdf/iles/Volume1/1133p859.pdf.html>.
- [4] Sudargana. 2012. *Analisa Perancangan Turbin Darrieus Pada Hydrofoil Naca 0015 Dari kakteristik Cl Dan Cd Pada Variasi Sudut Serang Menggunakan Regresi Linier Pada Matlab*. 8 Januari 2014. <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/>

- rotasi/article/view/4614/4194.html.
- [5] Wicaksono, P.E. 2013. *Konsumsi Listrik RI Tumbuh Tertinggi dalam 14 Tahun Terakhir*. 21 Februari 2013. <http://bisnis.liputan6.com/read/505850/konsumsi-listrik-ri-tumbuh-tertinggi-dalam-14-tahun-terakhir.html>.
- [6] Wikipedia. 2013. *Mikrohidro*. Wikimedia Foundation, Inc. 15 April 2013. <http://id.wikipedia.org/wiki/Mikrohidro.html>.
- [7] Wikipedia. 2011. *Airfoil*. Wikimedia Foundation, Inc. 10 Februari 2014. <https://en.wikipedia.org/wiki/Airfoil.html>.
- [8] Wikipedia. 2008. *Vertical axis wind turbine*. Wikimedia Foundation, Inc. 10 Februari 2014. http://en.wikipedia.org/wiki/Vertical_axis_wind_turbine.html.