

## Kajian Eksperimental Unjuk Kerja Model Sistem Pembangkit Listrik Menggunakan Turbin Helik Bentuk Sudu NACA 0033

J B Sinaga<sup>1</sup>, A Suudi<sup>1</sup>, M D Susila<sup>1</sup>, R Admiral<sup>1</sup>, Sugiman<sup>1</sup>

<sup>1</sup>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  
 \*Email: jorfri6@yahoo.com

### Abstract

This paper presents an experimental study of a power generation system model that uses a helical turbine with NACA 0033 blades. The helical turbine has a diameter of 1 meter, a length of 1.2 meters, and three blades. Each blade has a chord length of 41.8 cm and an inclination angle of 62 degrees. Tests were conducted to harness the water flow energy in the Way Tebu irrigation canal in Banjar Agung Udik Village, Tanggamus Regency. The test results show that the power generation system model, operating at water flow velocities of 0.398 m/s, 0.491 m/s, and 0.548 m/s, generates electrical power outputs of 13.705 W, 20.987 W, and 34.63 W, with corresponding efficiencies of 36.22%, 32.74%, and 34.67%.

**Keywords:** power plants helical turbine kinetic energy

### PENDAHULUAN

Pemanfaatan potensi energi air ini dirasa amat perlu mengingat tingginya kebutuhan listrik, dimana saat ini terjadi defisit energi listrik. Hal ini terjadi karena tingkat pertumbuhan permintaan tenaga listrik yang cukup tinggi dimana di Provinsi Lampung sebesar 15 % per tahun dibanding kemampuan pemerintah menyediakan pasokan listrik (Sampurna, 2014). Di Provinsi Lampung terdapat 2114 desa, 113 di antaranya belum masuk aliran listrik [1].

Sistem pembangkit listrik tenaga air (PLTA) umumnya menggunakan turbin air dimana sumber energi aliran air yang menggerakkan turbin harus memiliki tinggi jatuh yang tinggi. Namun banyak potensi energi aliran air di desa-desa yang belum masuk aliran listrik, hanya memiliki tinggi jatuh rendah (*ultra low head*) atau hanya memiliki energi kinetik (tidak memiliki tinggi jatuh) yang belum dimanfaatkan untuk sistem pembangkit listrik ini.

Pada tahun 1931 turbin Darrieus dipatenkan untuk memanfaatkan energi aliran head rendah atau sangat rendah (aliran bebas). Turbin Darrieus adalah turbin yang memiliki bentuk seperti drum dengan sejumlah sudu sudu lurus atau berbentuk lengkung *airfoil* dan sebuah poros yang tegak lurus terhadap aliran fluida. Turbin ini memungkinkan torsi yang tinggi untuk aliran arus lambat, dan memberikan aliran fluida yang besar melalui turbin tersebut tanpa pembesaran diameter. Namun turbin Darrieus belum dapat diterima untuk aplikasi yang luas, terutama karena fluktuasi selama berotasi dan secara relatif efisiensinya rendah. Kegagalan akibat *fatigue* dari sudu umumnya terjadi pada turbin ini akibat dari sifat getaran yang terjadi. Turbin ini juga memiliki masalah pengoperasian awal pada kecepatan rotasi yang rendah akibat sudu yang lurus yang mengubah sudut serang.

Turbin helik memiliki seluruh keunggulan yang dimiliki turbin Darrieus dan mampu mengatasi kelemahan yang dimilikinya. Susunan helik sudu rotor turbin meningkatkan unjuk kerja yang dihasilkan turbin Darrieus sehingga dihasilkan karakteristik sebagai berikut: putaran yang seragam secara relatif pada aliran fluida yang lambat, putaran turbin tidak berpengaruh akibat arus aliran fluida yang balik, efisiensi tinggi, torsi yang dihasilkan tidak mengalami fluktuasi, air tidak mengalami kavitasi untuk kecepatan putar yang tinggi, mampu berputar sendiri pada kecepatan aliran air yang rendah [2].

Perhitungan daya yang dihasilkan pada sudu turbin helik ini merupakan pendekatan dari turbin udara sumbu vertikal seperti dapat dilihat pada Gambar 1. Resultan vektor kecepatan ( $\vec{W}$ ) merupakan jumlah dari vektor kecepatan fluida ( $\vec{V}$ ) dan vektor kecepatan keliling sudu ( $\vec{U}$ ) [3].

$$\vec{W} = \vec{V} + (-\vec{\omega} \times \vec{R}) \quad (1)$$

Dimana  $R$  adalah jari-jari turbin (m), dan  $\omega$  adalah kecepatan sudut putaran (rad/s).

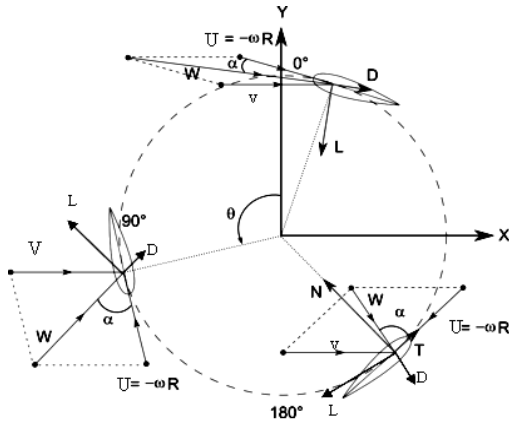
Dari gambar diagram kecepatan pada Gambar 1 tersebut dihasilkan kecepatan yang bervariasi yaitu kecepatan maksimum pada  $\theta = 0^\circ$  kecepatan minimum pada  $\theta = 180^\circ$ , dimana  $\theta$  adalah posisi orbital sudu. *Angel of attack* (sudut serang sudu) adalah sudut antara resultan vektor kecepatan ( $\vec{W}$ ), dan vektor kecepatan sudu. Resultan kecepatan vektor dan *angel of attack* dapat dihitung sebagai berikut:

$$W = v\sqrt{1 + 2\lambda \cos\theta + \lambda^2} \quad (2)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{\sin \theta}{\cos \theta + \lambda} \right) \quad (3)$$

Dimana  $\lambda$  adalah *tip speed ratio*, dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\lambda = \frac{\omega R}{U} \quad (4)$$



Gambar 1. Diagram kecepatan pada turbin udara sumbu vertikal

Gaya aerodinamis yang dihasilkan adalah gaya angkat ( $F_l$ ) dan gaya geseran ( $F_d$ ) dimana gaya-gaya ini dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$F_l = \frac{1}{2} C_l \rho V^2 A \quad (5)$$

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho V^2 A \quad (6)$$

Dimana  $C_d$  adalah koefisien geseran,  $C_l$  adalah koefisien angkat,  $\rho$  adalah massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ ),  $V$  adalah kecepatan fluida ( $\text{m/s}$ ),  $A$  adalah luas penampang sudu *hidro foil* ( $\text{m}^2$ ).

Dengan memproyeksikan gaya angkat dan geseran sebagai gaya yang tegak lurus terhadap lengan (jari-jari) turbin, maka nilai torsi ( $T$ ) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T = F \cdot R = (F_l \sin \alpha - F_d \cos \alpha) \times R \quad (7)$$

Dimana  $T$  adalah torsi ( $\text{Nm}$ ),  $F$  adalah gaya tegak lurus terhadap lengan ( $\text{N}$ ), dan  $R$  adalah jari-jari ( $\text{m}$ ). Selanjutnya dari Persamaan 7 dapat di ketahu daya poros  $P_b$  ( $\text{W}$ ) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_b = T \omega \quad (9)$$

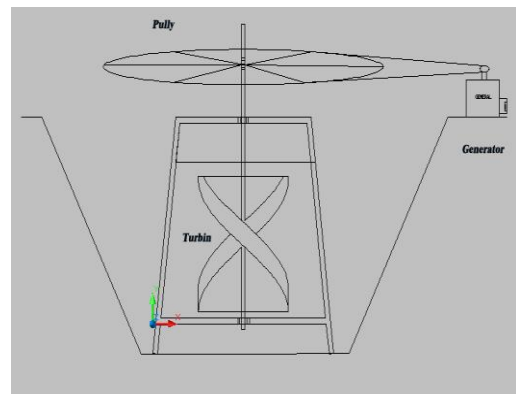
Pada makalah ini diberikan kajian eksperimental unjuk kerja model sistem pembangkit listrik

menggunakan turbin helik bentuk sudu NACA 0033. Pengujian model sistem pembangkit listrik ini dilakukan di saluran irigasi Way Tebu di Desa Bandar Agung Udik, Kecamatan Pugung, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung. Penelitian ini merupakan lanjutan dan penerapan dari penelitian yang dilakukan Sinaga, dkk [4], dimana sebelumnya telah dilakukan kajian eksperimental unjuk kerja turbin helik bentuk sudu NACA 0033 untuk memanfaatkan potensi energi kinetik aliran air yang ada di saluran irigasi Way Tebu di Desa Bandar Agung Udik, Kecamatan Pugung, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung.

## METODOLOGI

### Pembuatan Model Sistem Pembangkit Listrik

Skema model sistem pembangkit listrik yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan hasil perancangan yang dilakukan Sinaga, dkk [5], sesuai dengan kondisi saluran irigasi Way Tebu maka parameter-parameter turbin helik yang digunakan: diameter turbin 1 m dan panjang (tinggi) turbin 1,2 m, sudut kemiringan sudu  $\delta$  adalah  $62^\circ$ . Jumlah sudu yang digunakan pada perancangan turbin ini adalah 3 buah [6]. Penggunaan nilai *relative solidity* 0,4 [7] memberikan hasil yang maksimum dan dengan menggunakan data ini maka panjang *chord* sudu turbin yang digunakan 41,8 cm. Pembuatan alat pengujian model sistem pembangkit listrik dan turbin helik ini dibuat di Laboratorium Mekanika Fluida, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.



Gambar 2. Skema model sistem pembangkit listrik

### Pengujian dan Analisis Data

Setelah dilakukan pembuatan hasil rancangan model sistem pembangkit listrik menggunakan turbin helik, maka pengujian dilakukan di saluran irigasi Way Tebu dengan 3 variasi kecepatan aliran air. Alat-alat ukur yang digunakan pada pengujian ini adalah: *tachometer* digunakan untuk menunjukkan besarnya putaran yang dihasilkan poros turbin  $n$  ( $\text{rpm}$ ), *current meter* jenis propeler dan alat ini digunakan untuk mengukur kecepatan aliran  $V$  ( $\text{m/s}$ ) yang ada di saluran irigasi saat pengujian, dan avometer digunakan untuk untuk

mengukur beda potensial listrik  $V_{el}$  (V) dan kuat arus  $I$  (A) yang dihasilkan oleh generator listrik.

Nilai daya air  $P_h$  yang menggerakkan turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_h = 0,5 \rho A V^3 \quad (10)$$

dimana  $\rho$  adalah massa jenis air ( $1.000 \text{ kg/m}^3$ ),  $V$  adalah kecepatan aliran air (m/s),  $A = L D$  adalah penampang aliran melintang turbin heliks ( $\text{m}^2$ ),  $L$  adalah tinggi (lebar) turbin (m), dan  $D$  adalah diameter turbin (m).

Daya listrik  $P_{lis}$  (W) yang dihasilkan generator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_{lis} = V I \quad (11)$$

dimana  $V$  adalah tegangan listrik, dan  $I$  adalah kuat arus yang dihasilkan generator.

Efisiensi dari model sistem pembangkit listrik  $\eta_{sis}$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\eta_{sis} = \frac{P_{lis}}{P_h} \quad (12)$$



Gambar 3. Model sistem pembangkit listrik

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Model Sistem Pembangkit Listrik

Model sistem pembangkit listrik menggunakan turbin helik yang diuji pada aliran air di saluran irigasi Way Tebu dapat dilihat pada Gambar 3. Dudukan turbin helik dibuat dari pelat siku ukuran 5 cm dengan tebal 5 mm, dimana ukuran dudukan turbin 2 m x 2 m x 2,5 m. Sudu turbin yang digunakan adalah NACA 0033 dengan jumlah sudu 3 buah dan panjang *chord* 41,8 cm. Poros turbin digunakan pipa besi ukuran 2 in. dengan tebal 3 mm. Dan untuk penempelan sudu turbin pada poros digunakan pelat berbentuk lingkaran berdiameter 0,5 m.

### Hasil Pengujian dan Pembahasan

Hasil pengujian daya listrik dan efisiensi model sistem pembangkit listrik dapat dilihat pada Gambar 5 dan

6. Kecepatan aliran air yang digunakan pada pengujian ini adalah 0,398 m/s, 0,491 m/s, dan 0,548 m/s. Gambar 5 menunjukkan daya listrik yang dihasilkan berbanding lurus dengan kecepatan aliran, dimana semakin besar kecepatan aliran, maka semakin besar daya listrik yang dihasilkan sesuai dengan Persamaan 9, dimana daya listrik yang apling besar dihasilkan kecepatan aliran air 0,548 m/s. Hubungan daya listrik yang dihasilkan berbanding terbalik dengan putaran turbin, dimana daya listrik yang dihasilkan semakin kecil dengan bertambahnya kecepatan putaran turbin, hal ini sesuai dengan pernyataan Persamaan 11, dimana semakin besar kecepatan putaran turbin, torsi yang dihasilkan semakin kecil sehingga daya listrik yang dihasilkan semakin kecil.

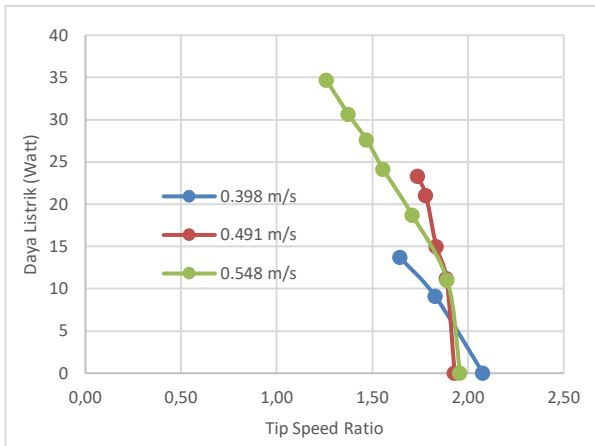


Gambar 4. Pengujian model sistem pembangkit listrik di saluran irigasi Way Tebu

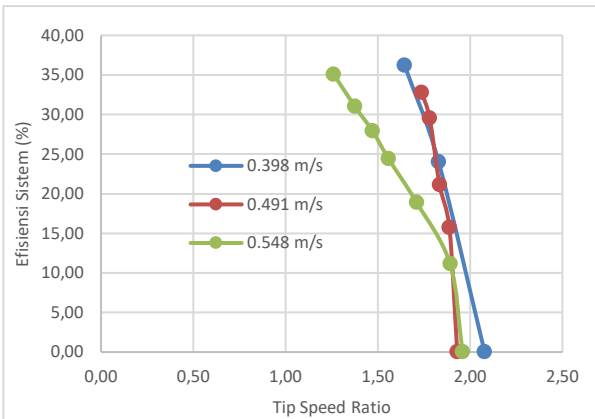
Tren grafik hubungan antara *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) terhadap efisiensi menyerupai trend hubungan antara hubungan antara *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) terhadap daya listrik, dimana efisiensi sistem pembangkit listrik semakin kecil dengan bertambahnya nilai kecepatan putaran turbin. Berdasarkan pengujian turbin helik bentuk sudu NACA 0033 yang dilakukan diperoleh efisiensi maksimum 36,22 % dan daya listrik yang dihasilkan 13,705 W pada kecepatan aliran 0,398 m/s, efisiensi maksimum 32,74 % dan daya listrik yang dihasilkan 20,987 W pada kecepatan aliran 0,491 m/s, dan efisiensi maksimum 35,07 % dan listrik yang dihasilkan 34,63 W pada kecepatan aliran 0,548 m/s. Efisiensi maksimum sistem pembangkit listrik 36,22 % yang dihasilkan pada kecepatan aliran



0,398 m/s memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan kecepatan aliran 0,491 dan 0,548 m/s.



Gambar 5. Grafik hubungan antara *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) terhadap daya listrik yang dihasilkan



Gambar 6. Grafik hubungan antara *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) terhadap efisiensi sistem pembangkit listrik

Hal ini disebabkan koefisien lift yang dihasilkan pada saat kecepatan aliran 0,398 m/s dibandingkan dengan kecepatan aliran 0,491 m/s, dan 0,548 m/s. Hasil pengujian ini menunjukkan penggunaan turbin helik dengan bentuk sudu NACA 0033 pada model sistem pembangkit listrik, dimana hampir 34,63 % dari energi kinetik aliran air dapat diubah menjadi energi listrik. Dengan pengembangan model sistem pembangkit listrik ini potensi energi aliran air dengan kecepatan rendah (0,4 m/s sampai 0,55 m/s) dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik bagi masyarakat.

### KESIMPULAN

Pada penelitian ini diberikan pengkajian secara eksperimental unjuk kerja model sistem pembangkit listrik menggunakan turbin helik (*helical turbine*) bentuk sudu NACA 0033 yang digunakan untuk memanfaatkan energi aliran yang memiliki tinggi jatuh sangat rendah atau hanya energi kinetik saja seperti yang ada pada saluran irigasi

Way Tebu yang memiliki kecepatan aliran rendah. 0,548 m/s.

Turbin helik yang dirancang memiliki diameter 1 m, panjang 1,2 m, dan jumlah sudu 3 buah. Sudu turbin memiliki panjang *chord* 41,8 cm dan *inclination angle*  $62^\circ$ . Hasil pengujian yang dilakukan diperoleh efisiensi maksimum 36,22 % dan daya listrik yang dihasilkan 13,705 W pada kecepatan aliran 0,398 m/s, efisiensi maksimum 32,74 % dan daya listrik yang dihasilkan 20,987 W pada kecepatan aliran 0,491 m/s, dan efisiensi maksimum 35,07 % dan listrik yang dihasilkan 34,63 W pada kecepatan aliran 0,548 m/s.

Kondisi geografis Provinsi Lampung yang berbukit-bukit memiliki banyak potensi energi aliran air yang memiliki head rendah atau kecepatan aliran air lebih kecil dari 1 m/s sehingga penggunaan sistem pembangkit listrik menggunakan turbin helik ini dapat dapat dikembangkan dan digunakan untuk memenuhi energi listrik bagi masyarakat di daerah terpencil.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] -----, 2018, "Tidak Ada Desa Gelap", Radar Lampung. 16 September 2018.
- [2] -----, "Vertical axis wind turbine" Wikimedia Foundation, Inc. available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Vertical\\_axis\\_wind\\_turbine](https://en.wikipedia.org/wiki/Vertical_axis_wind_turbine), diakses tanggal 30 Juli 2020.
- [3] Gorlov, A., 2008, "Development of The Helical Reaction Turbine". *Final Technical Report*, available at: [www.mainetidalpower.com/files/gorlovrevised.pdf](http://www.mainetidalpower.com/files/gorlovrevised.pdf), diakses tanggal 10 Juli 2020.
- [4] Sinaga, J. B., Suudi, A., dan Susila, M. D., 2020, "Kajian Eksperimental Unjuk Kerja Turbin Helik Bentuk Sudu NACA 0033 untuk Sistem Pembangkit Listrik", *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2020 Univ Pamulang*, 6-7 Oktober 2020.
- [5] Sinaga, J. B., Suudi, A., dan Susila, M. D., 2017, "Optimasi Unjuk Kerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan Turbin Ultra Low Head untuk Memenuhi Listrik di Daerah Pedesaan Provinsi Lampung", *Laporan Penelitian Produk Terapan*.
- [6] Supramanto, D. W., 2016, "Kajian Eksperimental Pengaruh Jumlah Sudu terhadap Unjuk Kerja Turbin Helik untuk Model Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)", *Tugas Akhir Teknik Mesin*, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- [7] Shiono, M., K. Suzuki, dan S. Kiho, 2002, "Output Characteristics of Darrieus Water Turbine with Helical Blades for Tidal Current Generations", *Proceedings of The Twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference* Kitakyushu, Japan, May 26-31, 2002.