

Penggunaan Saluran Untuk Meningkatkan Unjuk Kerja Model Sistem Pembangkit Listrik Ultra Low Head

Jorfri Boike Sinaga, Ahmad Suudi, Okta Syahputra Sembiring, Rizki Zakaria Manalu

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung

E-mail: *jorfri6@yahoo.com, ahmad.suudi@eng.unila.ac.id, oktabirong@gmail.com, rizkizakariamanalu1995@gmail.com

Abstrak--Pada makalah ini diberikan peningkatan unjuk kerja model sistem pembangkit listrik untuk memanfaatkan energi aliran irigasi Way Tebu yang ada di Desa Banjar Agung Udik, Kecamatan Pugung, Kabupaten Tanggamus dengan menggunakan turbin helik. Model sistem pembangkit listrik ini menggunakan turbin helik dengan bentuk sudu yang simetri yaitu NACA 0030, panjang chord 41,8 cm, jumlah sudu 3 buah, dan kemiringan sudu turbin 62°. Peningkatan unjuk kerja model sistem pembangkit listrik dengan menggunakan saluran pengarah, dimana hasil pengujian menunjukkan saluran pengarah ini dapat meningkatkan kecepatan aliran air dari 31,1 % sampai 38 %. Hasil pengujian menunjukkan unjuk kerja turbin helik dengan menggunakan sudu turbin tiga buah, dihasilkan daya poros maksimum turbin dengan saluran 240,7 W, dimana tanpa saluran 98,74 W. Daya listrik maksimum yang dibangkitkan dengan menggunakan model sistem pembangkit listrik dengan saluran ini juga meningkat menjadi 127,68 W dengan efisiensi sistem 39,17% terhadap daya hidro (energi kinetik air) dimana sebelumnya 26,01 W dengan efisiensi 26,34 %.

Kata kunci: Turbin helik, saluran, unjuk kerja, ultra low head

Abstract--In this paper given enchancement of the performance of the power plant system model to utilize the flow energy of Way Tebu irrigation in the Desa Banjar Agung Udik, Kecamatan Pugung, Tanggamus using helic turbines. The model of the power plant system uses helical turbines with symmetrical blade shapes, namely NACA 0030%, chord length 41.8 cm, number of blades 3 pieces, and turbine blade slant 62°. Performance increase of the power generation system model using a channeling where the tests results show that the directing channel can increase the speed of water flow from 31.1% to 38%. The test results show the performance of the helical turbine using three turbine blades, resulting in maximum shaft power of the turbine with a channel 240.7 W, which is without channels 98.74 W. The maximum electrical power generated using the power generation system model with this channel also increases to 127.68 W with a system efficiency of 39.17% of hydro power (water kinetic energy) which was previously 26.01 W with an efficiency of 26.34%.

Keywords: Helical turbine, channel, performance, ultra low head

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi sumber daya energi terbarukan yang cukup banyak sebagai pengganti energi fosil. Salah satu sumber energi yang terbarukan yang ramah terhadap lingkungan tersebut adalah tenaga air dan diperkirakan potensinya di Provinsi Lampung mencapai 2.697,4 MW. Saat ini potensi tersebut dimanfaatkan sebagian besar merupakan pembangkit listrik tenaga air skala besar (PLTA). Alternatif pemanfaatan tenaga air yang sudah populer di Indonesia dan berpotensi untuk dikembangkan di daerah ini adalah pembangkit listrik tenaga air skala kecil atau yang lebih dikenal dengan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH).

Pemanfaatan potensi energi air ini dirasa amat perlu mengingat tingginya kebutuhan listrik, dimana saat ini terjadi defisit energi listrik. Defisit ini terjadi karena tingkat pertumbuhan permintaan tenaga listrik yang cukup tinggi dimana di Provinsi

Lampung sebesar 12 % per tahun dibanding kemampuan pemerintah menyediakan pasokan listrik. Dari 81.626 desa di Indonesia saat ini 2.519 desa atau 293.532 rumah masih gelap gulita. Secara keseluruhan di Provinsi Lampung ada 113 desa yang belum ada listrik [1].

Turbin air yang umum digunakan untuk sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah yang menggunakan sumber energi aliran air yang harus memiliki tinggi jatuh. Sementara banyak potensi energi aliran air di desa-desa yang hanya memiliki tinggi jatuh rendah (ultra low head) atau hanya memiliki energi aliran bebas (tidak memiliki tinggi jatuh) yang belum dimanfaatkan untuk sistem PLTMH.

Sinaga dkk., [2] telah melakukan perancangan model sistem PLTMH untuk memanfaatkan energi kinetik aliran irigasi Way Tebu. Andereas, dkk.[3] melakukan kajian terhadap penggunaan berbagai bentuk sudu pada model sistem pembangkit listrik ini, dimana bentuk sudu NACA 0030, memberikan hasil unjuk kerja yang lebih

baik dibandingkan dengan penggunaan NACA 0020 dan NACA 0025. Rapii, dkk [4] mengkaji variasi penggunaan panjang chord untuk penggunaan sudu turbin helik. Berdasarkan hasil pengujian penggunaan panjang chord sudu 25 cm memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan 20 cm 15 cm.

Kirka [5] juga telah melakukan pengkajian untuk meningkatkan unjuk kerja hydrokinetic turbines tipe Darrieus sudu lurus dan helik dengan penambahan diffuser, dimana hasil pengujian menunjukkan penggunaan diffuser meningkatkan 3 kali daya keluaran turbin dibandingkan dengan tidak menggunakan diffuser. Pengkajian Pengaruh Penambahan Diffuser terhadap Performa 3D Print Turbin Hidrokinetik Helikal Savonius juga telah dilakukan Hardiatama dan Trifiananto [6]. Dari hasil pengujian diperoleh Penambahan diffuser dapat meningkatkan (coefficient of performance) C_p turbine hingga 0,3. Berdasarkan rujukan-rujukan penelitian sebelumnya tersebut, maka pada penelitian ini akan digunakan saluran pada model sistem pembangkit listrik yang telah dirancang oleh Sinaga, dkk [7], untuk meningkatkan unjuk kerja model sistem pembangkit listrik yang telah dirancang tersebut.

1.1 Turbin Air untuk Head Aliran Sangat Rendah (*Ultra Low Head*)

Selama puluhan tahun para ilmuwan telah mencoba untuk memanfaatkan turbin konvensional untuk head aliran yang rendah. Turbin air yang sangat efisien untuk head aliran yang tinggi menjadi sangat mahal bila diaplikasikan pada stasiun pembangkit listrik tenaga air dengan head rendah atau sangat rendah. Jenis utama turbin air saat ini yang digunakan untuk memanfaatkan tenaga air, yaitu: Kaplan, Francis, Pelton, dan turbin aliran menyilang (*cross flow*). Turbin Kaplan salah satu turbin air yang secara teknik dapat digunakan untuk ketinggian head dua meter atau head air yang lebih rendah namun biaya satuan pengoperasian turbin meningkat sampai sekitar 4 kali ketika head air jatuh dari 5 menjadi 2 meter.

Pada tahun 1931 turbin reaksi Darrieus dipatenkan untuk untuk memanfaatkan energi aliran head rendah atau sangat rendah (aliran bebas). Turbin ini 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 membenarkan 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.

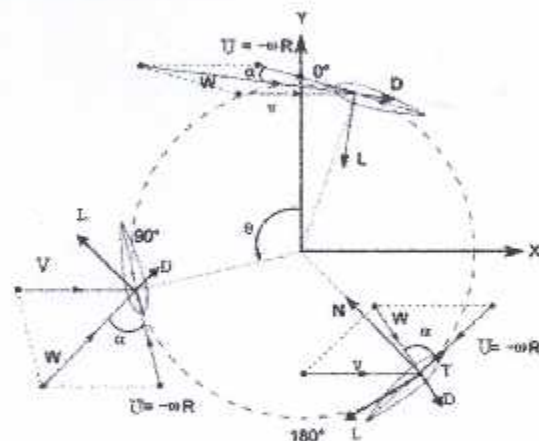
Turbin helik memiliki seluruh keunggulan yang dimiliki turbin Darrieus dan mampu mengatasi kelemahan yang dimilikinya seperti mampu memberikan laju aliran massa dari aliran air yang mengalir lambat, dapat menangkap energi kinetik aliran fluida dan menggunakan rotor yang sangat simpel yang menjadikan biaya turbin ini murah dibanding dengan turbin lainnya. Susunan helik sudu rotor turbin meningkatkan unjuk kerja yang dihasilkan turbin Darrieus sehingga dihasilkan karakteristik berikut ini: 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.

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 (W) merupakan jumlah dari vektor kecepatan fluida (V) dan vektor kecepatan keliling sudu (U) [8].

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

Dimana R adalah jari-jari turbin (m), dan ω 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 θ adalah posisi orbital sudu.



Gambar 1. Diagram kecepatan pada turbin udara sumbu vertikal

Angel of attack (sudut serang sudu) adalah sudut antara resultan vektor kecepatan (W), dan vektor kecepatan sudu. Pertimbangan-pertimbangan geometris, resultan kecepatan vektor dan *angel of attack* 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 λ adalah *tip speed ratio*, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

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

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

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

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

Dimana C_d adalah koefisien geseran, C_l adalah koefisien angkat, ρ adalah massa jenis fluida (kg/m^3), V adalah kecepatan fluida (m/s), A adalah luas penampang sudu *hidro foil* (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:

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

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

Selanjutnya dari Persamaan 7 dapat di ketahui daya poros P_b (W) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_b = T\omega \quad (8)$$

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pembuatan Alat Pengujian

Untuk memperoleh korelasi pengaruh penggunaan saluran terhadap unjuk kerja sistem pembangkit listrik maka dilakukan pembuatan alat pengujian seperti dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan kondisi saluran irigasi Way Tebu maka digunakan diameter turbin 1 m, lebar (tinggi) turbin 1,2 m, dan jumlah sudu turbin 3 buah, bentuk sudu turbin NACA 0030. Skema alat pengujian dapat dilihat pada Gambar 3. Pembuatan alat pengujian model sistem

pembangkit listrik ini di Laboratorium Produksi Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung.



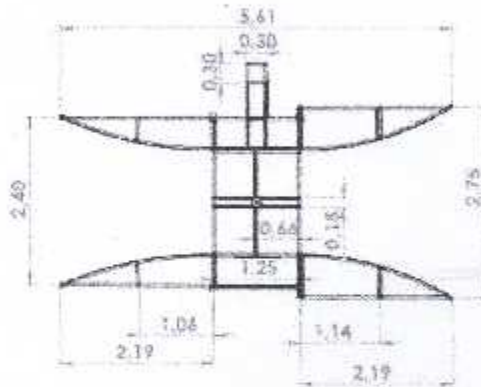
Gambar 2. Turbin helik yang digunakan



Gambar 3. Skema sistem PLTMH menggunakan turbin helik yang akan digunakan pada saluran irigasi Way Tebu.

2.2 Pembuatan Saluran

Saluran yang dirancang untuk digunakan pada sistem pembangkit ini adalah saluran yang dibentuk terdiri atas susunan mosek, saluran datar, dan diffuser [9]. Bentuk ini sesuai dengan yang digunakan Ponta dkk., [10,11]. Berdasarkan hasil penelitian yang mereka lakukan. Skema tipe saluran ini dapat meningkatkan kecepatan aliran hingga 70 %. Bentuk dan ukuran penampang saluran yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Ukuran saluran pengarah

2.3 Pelaksanaan pengujian

Setelah dilakukan pembuatan hasil rancangan model sistem PLTMH, maka dilakukan pengujian di saluran irigasi Way Tebu. Alat-alat ukur yang digunakan pada pengujian ini adalah:

a) Tachometer

Alat ukur tachometer digunakan untuk menunjukkan besarnya putaran yang dihasilkan dalam satuan rpm. Alat ukur tachometer dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tachometer

b) Torsimeter

Alat ukur torsimeter digunakan untuk menunjukkan besarnya torsi yang dihasilkan oleh poros turbin dalam satuan N.m.

c) Current meter

Current meter yang digunakan jenis propeler, dan alat ini digunakan untuk mengukur kecepatan aliran V yang ada di saluran irigasi saat pengujian. Alat ukur current meter dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Tachometer

d) Clamp meter

Alat multimeter ini digunakan untuk mengukur beda potensial listrik V_{el} dan kuat arus I yang keluar melalui generator listrik. Alat ukur clamp meter dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Clamp meter

2.4 Analisis data

Hasil-hasil pengujian unjuk kerja model sistem PLTMH menggunakan turbin air ultra low head kemudian dianalisis untuk mengetahui unjuk kerja model sistem PLTMH yang telah dirancang sebelumnya dengan menggunakan saluran untuk memanfaatkan energi kinetik aliran irigasi Way Tebu) dengan potensi kecepatan aliran.

Berikut ini persamaan yang digunakan untuk menghitung daya turbin untuk memanfaatkan energi kinetik aliran air [12]:

$$P_t = C_p P_h \quad (9)$$

dimana P_t adalah daya yang dihasilkan turbin (W), P_h adalah daya air yang melalui penampang turbin helik, dan C_p adalah coefficient of performance turbin. Besar daya air ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

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

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

Daya yang dihasilkan turbin juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_t = T \omega = T \frac{2\pi n}{60} \quad (11)$$

Dimana T (N.m) adalah torsi yang didapat dari pengukuran langsung menggunakan torsi meter, dan n adalah putaran turbin (rpm) diperoleh dari pengukuran menggunakan tachometer.

Daya listrik yang dihasilkan dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$P_{el} = V_{el} \cdot I \quad (12)$$

Dimana V_{el} adalah tegangan listrik, dan I adalah kuat arus yang dihasilkan generator. Kedua besaran ini diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan Clamp meter.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Sistem Pengujian Turbin Helik

Sebelum pengujian dilakukan maka terlebih dahulu dilakukan perancangan dan pembuatan sistem pengujian PLTMH dengan menggunakan turbin helik. 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. Pembuatan sudu turbin helik sendiri dibuat dengan menggunakan pelat 2 mm yang dilas dan membentuk helik menggunakan silinder setengah lingkaran yang berdiameter 1 m dan panjang 1,2 m, dan untuk pembentukan profil sudu digunakan dempul dan mal cetakan yang dibuat dari bahan akrilik. Alat pengujian model sistem PLTMH menggunakan turbin helik ini dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



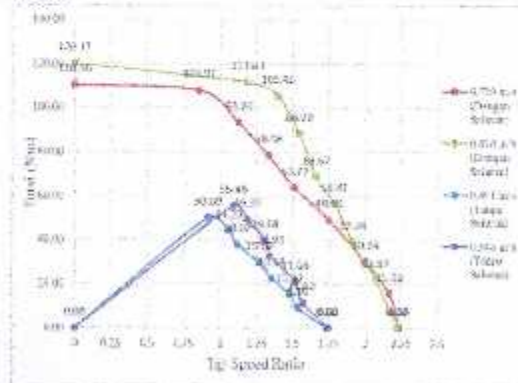
Gambar 8. Model sistem PLTMH menggunakan turbin helik



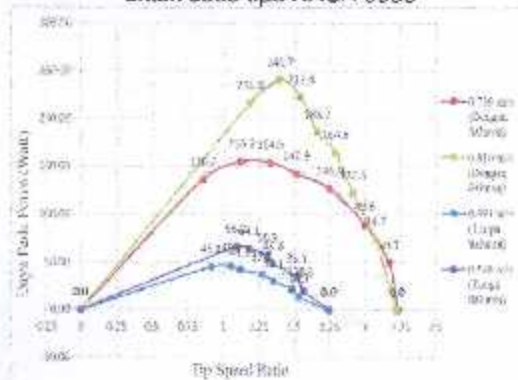
Gambar 9. Model sistem PLTMH menggunakan turbin helik yang diuji pada saluran irigasi Way Tebu

3.2 Hasil Pengujian dan Pembahasan

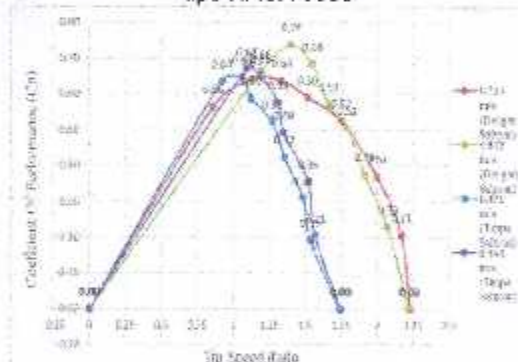
Setelah dilakukan pembuatan sistem alat pengujian, maka dilakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh penggunaan saluran terhadap unjuk kerja turbin helik dan sistem pembangkit listrik tersebut. Pada Gambar 8 sampai gambar 12 diberikan hasil pengujian pengaruh bentuk sudu terhadap unjuk kerja turbin helik.



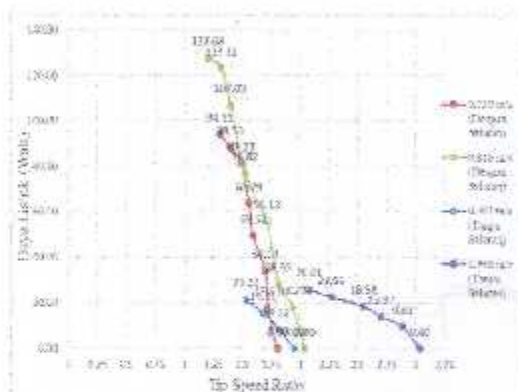
Gambar 10. Grafik hubungan antara torsi yang dihasilkan terhadap tip speed ratio (λ) turbin untuk sudu tipe NACA 0030



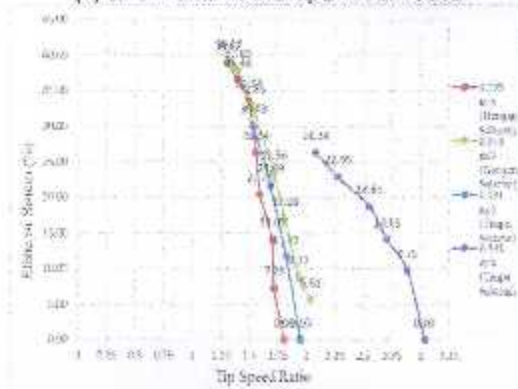
Gambar 11. Grafik hubungan antara Daya poros terhadap tip speed ratio (λ) turbin untuk sudu tipe NACA 0030



Gambar 12. Grafik hubungan antara Coefficient Of Performance (C_p) terhadap tip speed ratio (λ) turbin untuk sudu tipe NACA 0030.



Gambar 13. Grafik hubungan antara Daya listrik sistem yang dihasilkan terhadap tip speed ratio (λ) turbin untuk sudu tipe NACA 0033



Gambar 14. Grafik hubungan antara efisiensi sistem terhadap tip speed ratio (λ) turbin untuk sudu tipe NACA 0030

Berdasarkan pengujian sistem pembangkit menggunakan turbin helik yang dilakukan diperoleh C_p turbin 74 % saat menggunakan saluran dimana sebelum menggunakan saluran C_p turbin 67 %, atau terjadi peningkatan rata-rata 7 %. Demikian juga efisiensi sistem pembangkit mengalami peningkatan, dimana saat menggunakan saluran diperoleh efisiensi turbin 39%, dimana sebelum menggunakan saluran efisiensi turbin 30 %, atau terjadi peningkatan rata-rata 9 %. Daya listrik yang dihasilkan sistem PLTMH ini juga mengalami peningkatan, saat menggunakan saluran dihasilkan 127 W, saat tidak menggunakan saluran 26 W. Peningkatan unjuk kerja model sistem pembangkit listrik ini dikarenakan saluran yang digunakan meningkatkan kecepatan aliran sebelum menumbuk turbin. Dari hasil pengujian menggunakan saluran kecepatan aliran 0,398 m/s meningkat menjadi 0,642 m/s, atau mengalami peningkatan 38%, kecepatan aliran 0,491 m/s meningkat menjadi 0,739 m/s, kecepatan aliran 0,548 m/s meningkat menjadi 0,816 m/s. Hasil ini mendekati dengan hasil pengujian yang dilakukan Ponta, dkk., [6,7].

Daya poros maksimum yang dihasilkan turbin meningkat menjadi 155W dimana sebelumnya 45 W dan kecepatan aliran meningkat dari 0,398 m/s menjadi 0,642 m/s atau terjadi peningkatan kecepatan aliran 38 %, 94 W dimana sebelumnya 28 W dan kecepatan aliran meningkat dari 0,491 m/s menjadi 0,739 m/s atau terjadi peningkatan kecepatan aliran 33,1 %, dan 216,3 W dimana sebelumnya 66,2 W dan kecepatan aliran meningkat dari 0,548 m/s menjadi 0,816 m/s atau terjadi peningkatan kecepatan aliran 48,91 %.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dan telah dijelaskan di atas tadi, maka dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Pada penelitian ini diberikan metode optimasi sistem pembangkit listrik dengan menggunakan turbin helik (*helical turbine*) untuk model sistem PLTMH 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 0,5 m/s dimana tinggi aliran air 1,6 m dan lebar dasar saluran aliran air 2,3 m.
2. Optimasi bentuk sudu turbin model sistem pembangkit listrik ini menghasilkan turbin helik berdiameter turbin 1 m, tinggi turbin 1,2 m menggunakan bentuk sudu yang simetri yaitu NACA 0030 , soliditas 0,4, panjang chord 41,8 cm, jumlah sudu 3 buah, dan kemiringan sudu turbin 62 °.
3. Optimasi unjuk kerja model sistem pembangkit listrik juga dengan perancangan saluran pengarah, dimana hasil pengujian menunjukkan saluran pengarah ini dapat meningkatkan kecepatan aliran air dari 33,1 % sampai dengan 37,8 %.
4. Hasil pengujian menunjukkan unjuk kerja turbin helik dengan menggunakan sudu NACA 0030 %, dihasilkan efisiensi turbin sekitar 65 %, dimana sebelumnya 36,74 %.
5. Daya listrik yang dapat dibangkitkan dengan menggunakan model sistem pembangkit listrik ini juga meningkat menjadi 127,68 W dengan efisiensi 39,17 % dimana sebelumnya 112,87 W dengan efisiensi 24,32 % dari sumber energi aliran air.
6. Berdasarkan hasil survei yang dilakukan Provinsi Lampung memiliki banyak potensi energi aliran air yang memiliki head rendah atau sangat rendah sehingga penggunaan turbin helik memberikan prospek yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ----, 2018. Catat, 2019 Tidak Ada Desa Gelap. Radar Lampung, 16 September 2018.

- [2]. Sinaga, J. B., Suudi, A., dan Susila, M. D., 2017. Optimalisasi 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 Tahun 1.
- [3]. Andareas, Sinaga, J.B., dan Sugiri, A. Kajian Eksperimental Pengaruh Bentuk Sudu terhadap Unjuk Kerja Turbin Helik untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Jurnal FEMA Vol.2 No.2., 2014.
- [4]. Rapa'i, Ahmad, Sinaga, J. B., Susila, M. D. Kajian Eksperimental Pengaruh Panjang Chord Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Helik Untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), Jurnal Ilmiah Teknik Mesin FEMA, Vol 2, No 2 (2014)
- [5]. Kirke, B. K., 2011. Tests on ducted and bare helical and straight blade Darrieus hydrokinetic turbines Renewable Energy. No. 36 Pp. 3013-3022.
- [6]. Intan Hardiatama, Muhammad Trifiananto, Pengaruh Penambahan *Diffuser* terhadap Performa 3D *Print* Turbin Hidrokinetik *Helical Savonius* (*Twist Angle* 45o), Jurnal Teknik Mesin: Vol. 07, No. 2, Juni 2018.
- [7]. Sinaga, J. B., 2013. Perancangan Turbin Air Helik untuk Sistem PLTMH guna Memanfaatkan Energi Aliran Irigasi Way Tebu di Desa Banjar Agung Udik Kabupaten Tanggamus, Prosiding Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI) 2013.
- [8]. ——— *Vertical axis wind turbine*. Wikimedia Foundation, Inc. (http://en.wikipedia.org/wiki/Vertical_axis_wind_turbine.html) . Diakses tanggal 9 Juli 2009.
- [9]. Jorfri Boike Sinaga, Ahmad Suudi, Okta Sembiring dan Rizki Zakaria Manalu, Perancangan Saluran Pengarah untuk Meningkatkan Unjuk Kerja Model Sistem Pembangkit Listrik Menggunakan Turbin Helik, Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Sains, Teknik, dan Aplikasi Industri 2018.
- [10]. F.L. Ponta, P.M. Jacovkis, Marine-current power generation by diffuser-augmented floating hydro-turbines, Renewable Energy 33 (2008) 665–673.
- [11]. Fernando Ponta, Gautam Shankar Dutt, An improved vertical-axis water-current turbine incorporating a channelling device, Renewable Energy 20 (2000) 223-241
- [12]. Kumar, Anuj dan Saini, R.P., 2016. Performance parameters of Savonius type hydrokinetik turbine – a review'. J. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 64 (2016), 289-310.