

Perancangan Saluran Pengarah untuk Meningkatkan Unjuk Kerja Model Sistem Pembangkit Listrik Menggunakan Turbin Helik

Jorfri Boike Sinaga*, Ahmad Suudi, Okta Sembiring dan Rizki Zakaria Manalu

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung (UNILA)
Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung 35145

*E-mail korespondensi: jorfri6@yahoo.com

Abstrak. Provinsi Lampung dengan luas wilayah 3.528.835 Ha memiliki potensi sumber daya energi terbarukan yang cukup banyak. Salah satunya adalah energi aliran air sebagai sumber energi untuk sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) ataupun Pembangkit Listrik Tenaga Nano Hidro (PLTNH). Sampai saat di Provinsi Lampung masih banyak desa yang belum terjangkau aliran listrik. Salah satu faktor penyebabnya adalah keterbatasan dana PLN sebagai penyedia listrik dan pemanfaatan energi aliran air yang belum maksimal. Turbin air yang umum digunakan untuk sistem PLTMH adalah yang menggunakan sumber energi aliran air yang harus memiliki tinggi jatuh(head) yang tinggi. Sementara banyak potensi energi aliran air di desa-desa yang hanya memiliki tinggi jatuh sangat rendah (ultra low head) atau hanya memiliki energi kinetik aliran (tidak memiliki tinggi jatuh) yang belum dimanfaatkan untuk sistem pembangkit listrik. Pada makalah ini akan diberikan perancangan saluran pengarah yang akan digunakan untuk meningkatkan unjuk kerja model sistem pembangkit listrik dengan menggunakan turbin helik untuk memanfaatkan energi kinetik aliran (aliran tidak memiliki tinggi jatuh) yang telah dirancang sebelumnya.

Kata kunci: turbin helik, energi kinetik aliran, ultra low head, saluran pengarah

PENDAHULUAN

Energi telah menjadi kebutuhan pokok dan memainkan peranan yang penting dalam kehidupan manusia terutama energi listrik. Namun demikian isu mengenai langkanya energi akhir-akhir ini yang disebabkan oleh berbagai faktor perlu mendapat perhatian khusus. Di satu sisi laju kebutuhan energi final (energi langsung pakai) terus meningkat. Di sisi lain cadangan energi fosil yang menjadi pemasok semakin terbatas. Untuk itu perlu dilakukan berbagai upaya penghematan energi dan penggunaan sumber-sumber energi alternatif, khususnya energi baru dan terbarukan, dan salah satunya pemanfaatan energi potensi air. Pemanfaatan potensi energi diluar energi konvensional ini dirasa amat perlu mengingat tingginya kebutuhan listrik, yang saat ini defisit energi listrik. Defisit ini terjadi karena tingkat pertumbuhan permintaan tenaga listrik yang cukup tinggi yaitu sebesar 15 % per tahun (Sampurna, 2014). Dari 4.355 desa yang ada di Provinsi Lampung, 113 desa di antaranya belum masuk aliran listrik (Radar Lampung, 2018). Provinsi Lampung dengan luas 3.528.835 Ha memiliki kekayaan sumber daya energi yang cukup banyak sebagai pengganti energi fosil yaitu energi terbarukan. Salah satu sumber energi yang terbarukan dan ramah terhadap lingkungan tersebut adalah tenaga air dan diperkirakan potensinya di Provinsi Lampung mencapai 2.697,4 MW (Fikri, 2008). Saat ini potensi tersebut termanfaatkan 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).

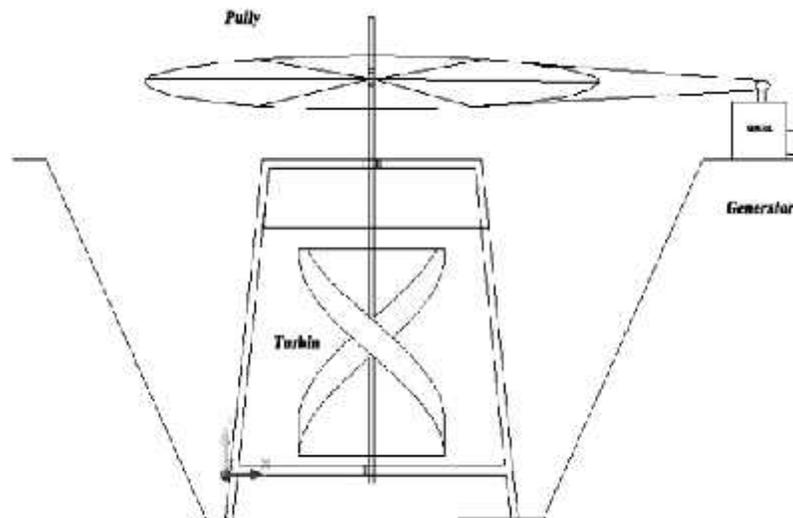
Dalam memanfaatkan potensi tenaga air tersebut maka digunakanlah turbin air sebagai alat pengubah energi potensial air menjadi energi mekanis dan dimanfaatkan sebagai penggerak generator.

Pemilihan jenis turbin yang sesuai untuk suatu pembangkit tenaga listrik tergantung pada karakteristik aliran air, yaitu tinggi jatuh dan debit aliran yang tersedia. Namun tidak semua potensi sumber air yang ada di daerah pedesaan memiliki tinggi jatuh (*head*) yang tinggi tetapi hanya memiliki tinggi jatuh yang rendah atau hanya memiliki energi kinetik aliran. Potensi aliran ini dapat juga dimanfaatkan untuk sistem PLTMH dengan menggunakan turbin air *ultra low head*.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka telah dirancang model sistem PLTMH menggunakan turbin air *ultra low head* (Sinaga, dkk., 2013). Namun dalam rancangan sistem PLTMH tersebut belum menggunakan saluran pengarah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang saluran pengarah untuk dapat meningkatkan karakteristik unjuk kerja dari model turbin air *ultra low head* yang nantinya dapat diterapkan pada sistem PLTMH untuk memanfaatkan energi kinetik aliran air yang ada di saluran irigasi Way Tebu di Desa Banjar Agung Udik, Kabupaten Tanggamus.

Sistem PLTMH

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) adalah istilah yang digunakan untuk pembangkit listrik yang menggunakan energi aliran air dimana daya dihasilkan lebih kecil dari 100 kW (Jiandong, dkk, 1997). Teknologi ini sudah terbukti handal untuk pembangkit listrik pada daerah-daerah terpencil. Persyaratan pokok untuk sebuah PLTMH adalah tersedianya aliran air (debit) dan adanya jatuhnya air (*head*). Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dari ketinggian (H) tertentu menuju instalasi turbin. Dengan menggunakan nosel atau sudu pengarah air akan disemburkan menumbuk sudu turbin air untuk memutar poros turbin. Poros yang berputar tersebut kemudian ditransmisikan ke generator dengan menggunakan kopling atau sabuk untuk menghasilkan listrik. Namun untuk potensi aliran yang memiliki tinggi jatuh rendah atau hanya energi kinetik aliran digunakan turbin air *ultra low head* (*head* sangat rendah) yaitu turbin helik (Gorlov, 1998).



Gambar 1. Skema model sistem pembangkit listrik menggunakan turbin helik

Turbin Helik (*Helical Turbine*)

Selama puluhan tahun para ilmuwan telah mencoba untuk memanfaatkan turbin konvensional untuk head aliran yang rendah. Turbin air yang sangat efisien dalam head aliran yang tinggi menjadi sangat mahal bila diaplikasikan pada stasiun pembangkit listrik tenaga air dengan head rendah dan

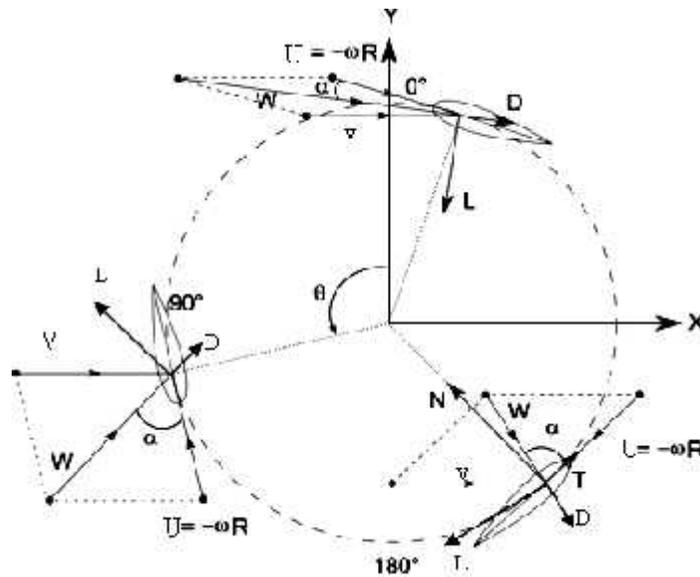
sangat rendah. Maka untuk memanfaatkan potensi head aliran yang rendah secara efisien digunakan turbin heliks dimana turbin ini memiliki seluruh keunggulan yang dimiliki turbin Darrieus dan mampu mengatasi kelemahan yang dimilikinya seperti mampu memberikan laju aliran massa dari aliran air yang mengalir lambat, dapat menangkap energi kinetik $\frac{v^2}{2g}$ 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.



Gambar 2. Foto turbin helik.

Model poligon kecepatan yang digunakan pada sudu turbin air helik merupakan pendekatan dari turbin udara sumbu vertikal seperti dapat dilihat pada Gambar 3. Resultan vektor kecepatan (W) yang timbul merupakan jumlah dari vektor kecepatan fluida (V) dan vektor kecepatan keliling sudu (U) (Wikipedia, 2009).



Gambar 3. Diagram kecepatan pada turbin 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:

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

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

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 selanjutnya dapat diketahui nilai torsi (T) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T = F \cdot r = (F_l \sin \theta - F_d \cos \theta) \times R \quad (3)$$

Dimana T adalah torsi (Nm), F adalah gaya tegak lurus terhadap lengan (N), dan R adalah jari-jari (m) Selanjutnya dari Persamaan 3 dapat di ketahui daya poros dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_b = T \omega \quad (4)$$

Dimana P_b adalah daya poros (W), dan ω adalah kecepatan sudut (rad/s).

METODE PENELITIAN

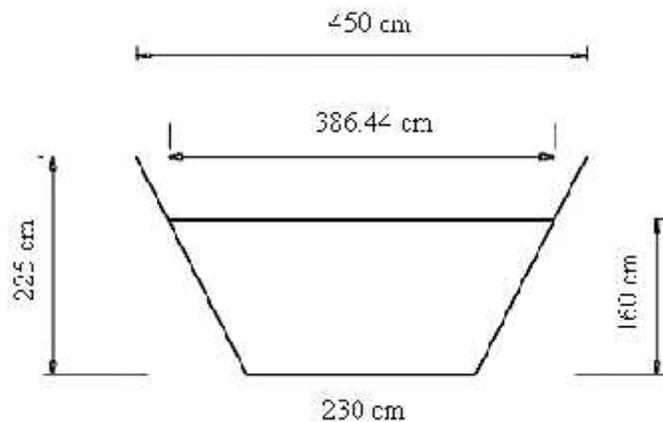
Tahapan awal yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu: melakukan survei ke Desa Banjar Agung Udik, Kabupaten Tanggamus lokasi irigasi Way Tebu untuk memperoleh data-data kecepatan aliran dan dimensi ukuran saluran penampang aliran irigasi Way Tebu. Alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran air adalah alat pengukur kecepatan aliran *propeler*. Berdasarkan dimensi ukuran saluran dan kecepatan aliran irigasi Way Tebu ini kemudian dirancang bentuk dan dimensi ukuran-ukuran saluran pengarah yang digunakan untuk model sistem PLTMH yang akan digunakan untuk memanfaatkan energi aliran air di saluran irigasi Way Tebu.



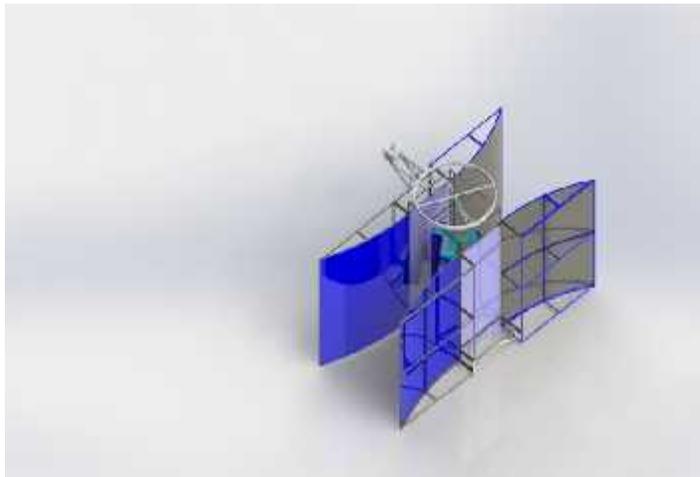
Gambar 4. Alat pengukur kecepatan aliran *propeller* yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

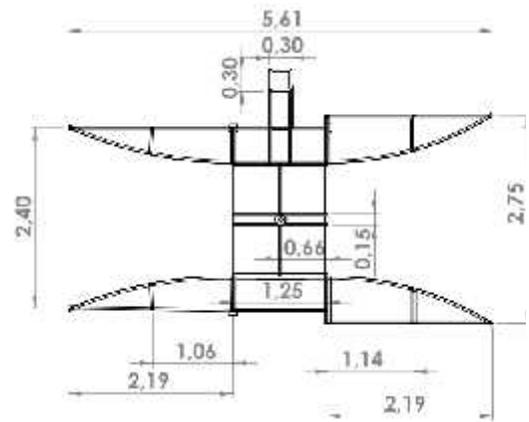
Setelah dilakukan survei maka diperoleh dimensi ukuran saluran aliran irigasi Way Tebu seperti dapat dilihat pada Gambar 5 dan kecepatan aliran air yaitu 0,8 m/s. Berdasarkan hasil survei tersebut maka dirancang model saluran pengarah berbentuk konvergen dan divergen dengan dimensi ukuran yang digunakan seperti pada Gambar 6 (Ponta dan Dutt, 2000).



Gambar 5. Skema penampang aliran irigasi Way Tebu.



(a)



(b)

Gambar 6. (a). Profil saluran pengarah , (b). dimensi ukuran saluran pengarah yang digunakan.

Dengan meninjau volume atur aliran di saluran pengarah dan menggunakan asumsi:

- Aliran bersifat laminar, inviscid, mampat, stasioner, adiabatik, isothermal dan satu dimensi (kecepatan seragam di setiap bagian).
- Distribusi tekanan hidrostatis.
- Tidak ada pertukaran kerja mekanik dengan medium di sekitarnya.

Penerapkan persamaan integral untuk konservasi massa (Fox dan Mc. Donald, 1985):

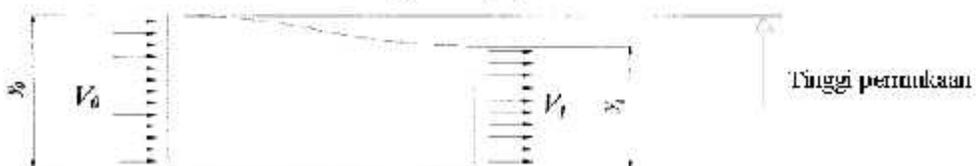
$$\int_{\delta} \frac{\partial \rho}{\partial t} d\mathcal{V} + \int_S \rho(\mathbf{V} \times \mathbf{n}) ds = 0 \quad (5)$$

dimana integral sesuai dengan volume atur dan permukaan batasnya masing-masing.

Pandangan atas



Pandangan samping



Gambar. 7. Tampilan rencana dan ketinggian volume atur yang digunakan untuk memodelkan saluran pengarah.

Dengan asumsi yang yang digunakan, persamaan disederhanakan menjadi:

$$V_0 y_0 b_0 = V_1 y_1 b_1 = Y y b = Q \quad (6)$$

di mana: V_0, y_0, b_0 adalah kecepatan, kedalaman dan lebar aliran pada saluran masuk sudu pengarah. V_1, y_1, b_1 adalah kecepatan, kedalaman dan lebar aliran di keluaran sudu pengarah. V, y, b adalah kecepatan, kedalaman dan lebar aliran pada setiap bagian, dan Q adalah laju aliran volumetrik. Menerapkan persamaan integral untuk konservasi energi:

$$Q_C - W = \int_{\theta} \frac{\partial}{\partial t} \rho \left(\frac{V^2}{2} + u + gy \right) d\theta + \int_s \rho \left(\frac{V^2}{2} + u + gy + \frac{p}{\rho} \right) (V \times n) ds \quad (7)$$

Dimana dengan menerapkan andaian yang dibuat, panas dan transfer kerja mekanik (Q_C dan W) akan hilang. Mempertimbangkan distribusi tekanan hidrostatik, pada bagian masuk dan keluar volume atur:

$$P_0 = \rho g(y_0 - y); \quad P_1 = \rho g(y_1 - y) \quad (8)$$

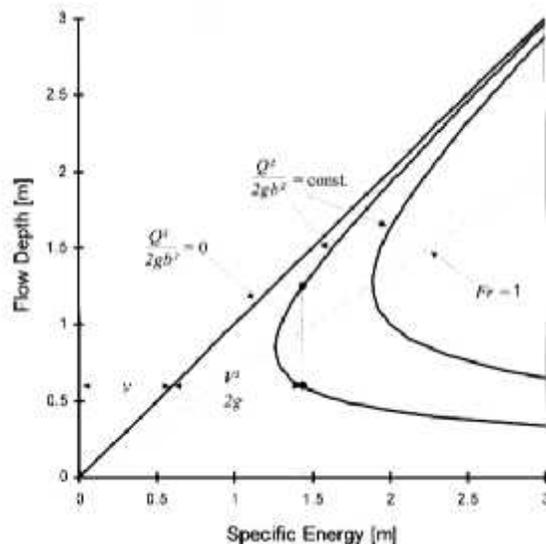
Dengan mensubstitusi ke dalam Persamaan 7, mengintegrasikan dan menyederhanakan, sehingga dihasilkan:

$$\frac{V_0^2}{2g} + y_0 = \frac{V_1^2}{2g} + y_1 \quad (9)$$

Teori saluran terbuka mendefinisikan parameter yang disebut energi spesifik $E = (V^2/2g) + y$. Mengekspresikan E dalam aliran volumetrik:

$$E = \frac{Q^2}{2gb^2y^2} + y \quad (10)$$

Gambar 7 menunjukkan kedalaman aliran sebagai fungsi energi spesifik; kurva sesuai dengan nilai konstan $Q^2/2gb^2$. Untuk nilai tertentu dari energi spesifik, setiap kurva menyediakan dua kemungkinan nilai kedalaman yang sesuai dengan Persamaan 10.



Gambar 7. Kedalaman aliran sebagai fungsi energi spesifik, E ; kurva sesuai dengan nilai konstan $Q^2/2gb^2$. Garis putus-putus sesuai dengan kasus di mana $Fr = 1$.

Begitu nilai $Q^2/2gb^2$ meningkat, kurva bergeser ke arah kanan. Untuk setiap nilai E, jarak horizontal dari sumbu ordinat ke garis $Q = 0$ (garis 45°) mewakili nilai kedalaman y, maka jarak dari garis ini ke kurva adalah nilai energi kinetik spesifik $V^2/2g$. Untuk setiap kurva terdapat nilai kedalaman yang sesuai dengan minimum energi spesifik yang dapat ditentukan dengan mendiferensialkan dan menyamakan dengan nol:

$$\begin{aligned}\frac{dE}{dy} &= -\frac{Q^2}{gb^2y^3} + 1 = 0 \\ y_c &= \left(\frac{Q^2}{gb^2}\right)^{1/3}\end{aligned}\quad (11)$$

Mensubstitusikan dalam Persamaan 9, maka dihasilkan:

$$E_{min} = E_c = \frac{1}{2}y + y = \frac{3}{2}y \quad (12)$$

Penggunaan Persamaan 6, maka dihasilkan:

$$V_c^2 = \frac{Q^2}{b^2y_c^2} = gy_c \quad (13)$$

Jadi dapat dilihat bahwa nilai minimum energi spesifik sesuai dengan angka Froude yang sama dengan 1, yaitu kondisi aliran kritis. Sifat dari aliran di kedua cabang kurva (di atas dan di bawah kedalaman kritis) dapat dipelajari jika kita mengganti dalam persamaan untuk bilangan Froude, hasil Persamaan 5 dan kondisi konservasi massa: $Q = Vcy_c b = Vy_b$.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gy}} = \frac{V_c y_c}{y \sqrt{gy}} = \frac{\sqrt{gy_c} y_c}{y \sqrt{gy}} = \left(\frac{y_c}{y}\right)^{3/2} \quad (14)$$

Di cabang bagian atas $y > y_c$, sehingga $Fr < 1$: nilai subkritis. Di cabang bagian bawah $y < y_c$, $Fr > 1$: nilai superkritis. Kedalaman dan lebar dari bagian masuk saluran pengarah (b_0 dan y_0) dicirikan oleh geometri mesin. Dengan demikian, untuk nilai arus sungai tertentu kecepatan V_0 , volumetrik laju tanam Q ditentukan. Kemudian, dari Persamaan 10 kita melihat bahwa energi spesifik pada setiap titik nosel hanya fungsi kedalaman dan lebar pada titik itu. Dengan kata lain, dari Persamaan 10 dimiliki nilai E tetap konstan sepanjang saluran pengarah. Kemudian mendiferensialkan Persamaan 9 sehubungan dengan koordinat x longitudinal, maka dihasilkan:

$$\frac{dE}{dx} = -\frac{Q^2}{g(b(x)y(x))^3} \left(b(x) \frac{dy(x)}{dx} + y(x) \frac{db(x)}{dx} \right) + \frac{dy(x)}{dx} = 0 \quad (15)$$

Dengan melakukan penyederhanaan:

$$\frac{dy}{dx} \left(1 - \frac{Q^2}{gb^2y^3} \right) = \frac{db}{dx} \left(\frac{Q^2}{gb^3y^2} \right) \quad (16)$$

Mengingat $(Q^2/gb^2y^3) = (V^2/gy) = Fr^2$, dan substitusikan ke dalam Persamaan 16, maka dihasilkan:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{db}{dx} \left(\frac{y}{b} \right) \frac{Fr^2}{(1-Fr^2)} \quad (17)$$

Dari Persamaan 17 dapat diamati bahwa kemiringan permukaan bebas tergantung pada bilangan Froude lokal. Untuk $Fr < 1$ pengurangan lebar menurunkan tingkat permukaan, sementara peningkatan lebar meningkatkan level ini. Untuk $Fr > 1$ sebaliknya yang terjadi. Untuk $Fr = 1$, Persamaan 17 menunjukkan bahwa permukaan air memiliki kemiringan tidak merata, kecuali jika $(db / dx) = 0$. Karena permukaan bebas tidak dapat memiliki kemiringan tidak berhingga, disimpulkan bahwa angka bilangan sama dengan 1 hanya pada bagian di mana $(db / dx) = 0$. Untuk menghitung kecepatan aliran di tenggorokan saluran pengarah (yaitu zona rotor), kita menggunakan Persamaan 6 dan 9, dan diperoleh:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{V_0 y_0}{V_1 K_b} - \left(\frac{V_0^2}{2g} + y_0 \right) = 0 \quad (18)$$

dimana K_b adalah rasio penyempitan lebar non-dimensi $K_b = (b_1/ b_0)$. Setelah memilih parameter konstruktif ini, Persamaan 18 kemudian dapat diselesaikan dengan menggunakan metode Newton \pm Raphson, dan diperoleh V_1 sebagai fungsi V_0 . Dengan menggunakan nilai kecepatan aliran masuk di saluran pengarah irigasi Way Tebu 0,8 m/s dan dengan menggunakan ketinggian dan lebar aliran masuk sudu pengarah 1,7 m dan 2,75 m, dan lebar aliran keluar sudu pengarah 1,5 m. Dan dengan menggunakan Persamaan 18 diperoleh kecepatan aliran air yang akan menumbuk turbin menjadi 1,55 m/s atau kecepatan aliran meningkat menjadi 92 %. Peningkatan kecepatan aliran menumbuk turbin, juga akan meningkatkan unjuk kerja turbin yang digunakan pada sistim PLTMH.

KESIMPULAN

Pada makalah ini telah diberikan perancangan saluran pengarah yang akan digunakan pada model sistem PLTMH dan akan digunakan untuk memanfaatkan aliran air saluran irigasi Way Tebu. Bentuk saluran pengarah yang digunakan yaitu saluran konvergen dan divergen. Ukuran dimensi ketinggian dan lebar aliran masuk saluran pengarah 1,7 m dan 2,75 m, dan lebar aliran keluar saluran pengarah 1,5 m. Hasil pemodelan yang dilakukan saluran pengarah ini dapat meningkatkan kecepatan aliran air yang ada di saluran irigasi Way Tebu dari 0,8 m/s menjadi 1,54 m/s atau kecepatan aliran meningkat 92 %. Saat ini sedang dilakukan pembuatan model sistem PLTMH dengan menggunakan turbin helik dan saluran pengarah di Laboratorium Mekanika Fluida, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung dan akan diuji di saluran irigasi Way Tebu di Desa Banjar Agung Udik, Kabupaten Tanggamus.

DAFTAR PUSTAKA

- Vertical axis wind turbine*. Wikimedia Foundation, Inc. Diakses dari: http://en.wikipedia.org/wiki/Vertical_axis_wind_turbine.html.
- .(2018). *Catat, 2019 Tidak Ada Desa Gelap*. Radar Lampung, 14 September, hal. 1, kol.2.
- Fikri, M. A. (2008). *Alternatif Energi Terbarukan dan Konversi Energi*. PLN Lampung. Diakses dari: www.plnlampung.co.id/warta_PLN.htm.
- Fox, R. W., and Mc Donald, A. T. (1995) *Introduction to Fluid Mechanics*. John Wiley & Sons, New York. 781 pp.

- Gorlov, A. (2008). "Development of The Helical Reaction Turbine". *Final Technical Report (DE-FGOI-96EE 15669)*.
- Jiandong, T., Zheng N, Wang X., Hai J., and Ding H. (1996), *Mini Hydropower*, New York: John Wiley & Sons.
- Ponta, F. L. and P. M. Jacovkis (2008) Marine-current power generation by diffuser-augmented floating hydro-turbines, *Renewable Energy* 33 (2008) pp. 665–673.
- Sampurna, H. (2014) Pertumbuhan Permintaan Listrik di Lampung Cukup Tinggi. Diakses dari: <http://www.saibumi.com/artikel-2423-pertumbuhan-permintaan-listrik-di-lampung-cukup-tinggi.html#ixzz4xZCP9k00>.
- Sinaga, J. B., N. Tanti, dan A. Zakaria (2013) Rancang Bangun Turbin Air Ultra Low Head untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Guna Mendukung Program Desa Mandiri Energi di Provinsi Lampung. *Laporan Penelitian Strategis Nasional*.



SERTIFIKAT

DIBERIKAN KEPADA:

JORFRI BOIKE SINAGA

SEBAGAI PEMAKALAH DENGAN JUDUL:

Perancangan Saluran Pengarah untuk Meningkatkan Unjuk Kerja Turbin Helik pada Model Sistem Pemangkit Listrik

DALAM ACARA

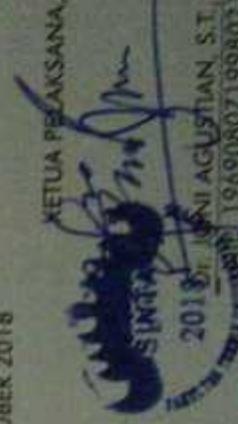
SINTA SEMINAR NASIONAL HASIL PENELITIAN SAINS,
TEKNIK, DAN APLIKASI INDUSTRI 2018

RISET PT - EKSPLORASI HULU DEMI HILIRISASI PRODUK

HOTEL EMERSIA & RESORT
BANDAR LAMPUNG, 19 OKTOBER 2018



Prof. Dr. Sigit Sasno, M.Sc.
NIP. 196207173987031002



KETUA PELAKSANA,

2018, JUNI AGUSTIAN, S.T., M.Sc.
NIP. 196908071998021001

Didukung oleh:

