



Perancangan Alat Pengujian Model Turbin Air *Ultra Low Head* untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Jorfri Boike Sinaga*, Ahmad Suudi, M. Aang Khonaifi, Milia Rahman, Sugiman
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung Jl. Prof. Dr. Sumantri
Brojonegoro No. 1, Gedung H Lt.2, Bandar Lampung 35145 Telp.(0721)7479221
*E-mail koresponden: jorfri6@yahoo.com

Abstract

Microhydro Power Plant (MPHP) is a term used for electrical energy generation systems that use hydraulic energy where the power generated is less than 100 kW. MPHP technology has been proven reliable to meet the electricity needs for villages in remote areas. Generally, existing MPHP systems utilize high flow heads, but many areas in villages do not have potential of high flow heads but only potential of free water flow energy or kinetic energy. By using ultra low head hydraulic turbines, potential of this energy can be utilized to drive a MPHP system. Before this potential is utilized, it is necessary to design the test equipment of water turbine model that will be used to estimate the performance of the water turbine prototype to drive a PLTMH system. This paper presents the design of equipment testing and parameters of helical turbine model for the model of PLTMH system conducted in Fluid Mechanics Laboratory of Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Lampung.

Keywords: Hydraulic Turbine, Helical Turbine, Ultra Low Head, Electric Generation.

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah istilah yang digunakan untuk sistem pembangkit energi listrik yang menggunakan energi air dimana daya yang dihasilkan lebih kecil dari 100 kW. Teknologi PLTMH ini sudah terbukti handal untuk memenuhi kebutuhan listrik bagi desa-desa di daerah terpencil. Umumnya sistem PLTMH yang ada memanfaatkan energi aliran air yang memiliki tinggi jatuh, namun banyak daerah di pedesaan yang tidak memiliki potensi aliran yang memiliki tinggi jatuh air tetapi hanya potensi aliran air yang memiliki energi kinetik. Dengan menggunakan turbin air ultra low head (head sangat rendah), potensi aliran ini dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan suatu sistem PLTMH. Namun sebelum potensi energi aliran air suatu aliran air dimanfaatkan maka perlu dilakukan perancangan alat pengujian terhadap model turbin air yang akan digunakan untuk memperkirakan unjuk kerja prototipe turbin air untuk menggerakkan suatu sistem PLTMH. Pada makalah ini disajikan perancangan alat pengujian dan parameter-parameter model turbin helik untuk model sistem PLTMH yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Keywords: Turbin Air, Turbin Helik, Ultra Low Head, Pembangkit Listrik.

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 [1]. Dari 4.355 desa yang ada di Provinsi Lampung, 681 desa di antaranya belum masuk aliran listrik [2]. 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 [3]. 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).

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 mikro hidro 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) tinggi tetapi tinggi jatuh (head) yang rendah atau hanya memiliki energi aliran. Potensi aliran ini dapat juga dimanfaatkan untuk system PLTMH dengan menggunakan turbin air *ultra low head*.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka perlu dirancang sistem alat pengujian model turbin air *ultra low head* untuk sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik unjuk kerja dari model turbin air *ultra low head* dan alat ini dapat menjadi pengujian model untuk memberikan informasi karakteristik unjuk kerja prototipe turbin sebelum diterapkan untuk memanfaatkan potensi energi aliran air suatu tempat dengan sistem PLTMH. Dan juga alat uji ini dapat mendukung kegiatan proses belajar mengajar di Jurusan Teknik Mesin UNILA untuk mendukung pelaksanaan mata kuliah Praktikum Prestasi Mesin seperti yang telah dilakukan sebelumnya.

Sistem PLTMH

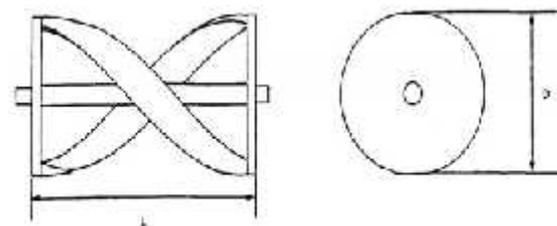
Pembangkit listrik mikro hidro (PLTMH) adalah istilah yang digunakan untuk pembangkit listrik yang menggunakan energi aliran air

dimana daya dihasilkan lebih kecil dari 100 kW [4]. 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 disebarkan 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 aliran digunakan turbin air *ultra low head* (head sangat rendah) yaitu turbin helik [5].

Turbin Helik (*Helical Turbine*)

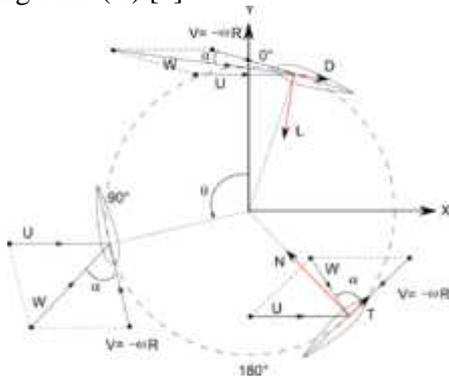
Selama puluhan tahun para ilmuwan telah mencoba untuk memanfaatkan turbin konvensional untuk head aliran yang rendah. Turbin air yang sangat efisien dalam head aliran yang tinggi menjadi sangat mahal bila diaplikasikan pada stasiun pembangkit listrik tenaga air dengan head rendah dan sangat rendah. Maka 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 heliks sudu rotor turbin meningkatkan unjuk kerja yang dihasilkan turbin Darrieus.



Gambar 1. Model turbin air helik

Poligon kecepatan yang di gunakan pada sudu turbin air heliks merupakan pendekatan dari turbin udara sumbu vertikal seperti dapat dilihat pada Gambar 2. Dimana resultan vektor kecepatan (W) merupakan jumlah dari vektor kecepatan fluida (V) dan vektor kecepatan keliling sudu (U) [6].



Gambar 2. Diagram kecepatan pada turbin sumbu vertikal.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung daya yang dihasilkan turbin:

$$P_t = \eta P_h \quad (1)$$

dimana P_t adalah daya yang dihasilkan turbin (W), P_h adalah daya air yang melalui penampang turbin heliks, dan η adalah efisiensi turbin. Besar daya air ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$P_h = 0,5 \rho A V^3 \quad (2)$$

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 heliks (m^2), L adalah tinggi (lebar) turbin (m), dan D adalah diameter turbin (m).

Daya yang dihasilkan turbin juga dapat dihitung dengan menggunakan data pengukuran:

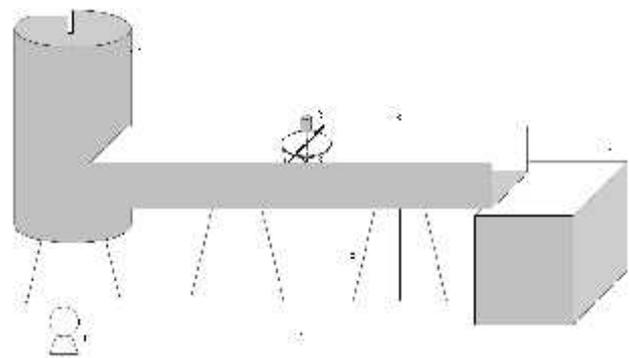
$$P_t = T \dot{\theta} = T \frac{2\pi n}{60} \quad (3)$$

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

METODE PENELITIAN

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian

ini yaitu: penyediaan alat dan bahan dalam pembuatan model sistem alat pengujian turbin heliks, penentuan parameter-parameter turbin heliks yang akan digunakan. Skema alat pengujian yang akan dirancang dapat dilihat seperti pada Gambar 3. Alat ukur yang digunakan dalam pengujian turbin ini adalah *tachometer* yaitu alat untuk mengukur kecepatan putaran turbin per menit dan torsiometer yaitu alat untuk mengukur besarnya torsi yang dihasilkan oleh poros turbin. Kemampuan alat ukur Torsiometer yang digunakan yaitu 147 N.cm .



Gambar 3. Skema model sistem alat pengujian sistem PLTMH menggunakan turbin air heliks.

Keterangan gambar:

1. Turbin air heliks.
2. Generator.
3. Saluran air.
4. Pompa air.
5. Pipa sirkulasi air.
6. Tangki air.
7. Bak penampung air.
8. Dudukan alat.



Gambar 4. Alat ukur Tachometer.



Gambar 5. Alat ukur torsimeter.

Karakteristik unjuk kerja dari pengujian model turbin air heliks didapat dengan menghitung daya hidraulis (P_h), daya poros (P_b), dan efisiensi dari model turbin air. Persamaan yang digunakan dalam menghitung unjuk kerja model turbin air adalah Persamaan 1 sampai 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan sistem pengujian alat uji model turbin helik ini harus memperhatikan kondisi laboratorium dimana head yang tersedia 1 m, dan kemampuan alat ukur torsimeter yang digunakan. Ukuran saluran air yang dibuat untuk sistem pengujian turbin helik ini yaitu ukuran 20 cm x 30 cm. Dan ukuran tangki air yang digunakan untuk memberikan laju aliran air di dalam saluran adalah: 1 m x 1 m x 1 m. Hasil rancang bangun sistem alat pengujian turbin helik dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Rancangan sistem pengujian model turbin helik.

Model turbin heliks yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 7. Parameter-

parameter perancangan turbin ini adalah: bentuk sudu dan jumlah sudu n , tinggi turbin L , diameter turbin D , dan kemiringan sudu turbin. Berdasarkan kondisi saluran alat pengujian yang dirancang ditentukan diameter turbin adalah 10 cm, dan tinggi turbin adalah 20 cm.



Gambar 7. Model turbin helik.

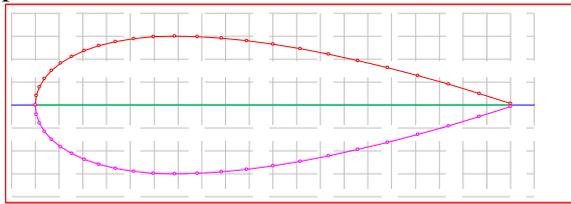
Kebanyakan turbin memakai sudu berbentuk penampang *airfoil*, karena efisiensinya tinggi dan menghasilkan beda tekanan yang besar di antara kedua sisi sudu untuk berputar dengan momen gaya yang cukup besar dimana momen gaya ini dihasilkan oleh gaya angkat (*lift*) dan gaya geser (*drag*). Gaya angkat dan gaya geseran yang terjadi pada penampang *airfoil* dipengaruhi oleh bentuk sudu dan sudut serang (*attack angle*) yang terbentuk. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Batista dkk.(2007)[7] dengan mengoptimasi bentuk sudu multi kriteria aerodinamik terhadap beberapa profil sudu yang simetri menunjukkan perancangan bentuk yang optimal adalah bentuk sudu dari NACA0030 dimana sudu turbin ini menghasilkan torsi awal yang besar untuk menggerakkan turbin. Maka dalam model turbin ini bentuk sudu yang digunakan profil NACA0030.

Jumlah sudu yang digunakan dalam perancangan turbin helik ini adalah 3 buah [8]. Panjang *chord* sudu turbin c yang digunakan ditentukan dengan menggunakan persamaan [9]:

$$t = \frac{n}{f} \left(d + \sum_{k=1}^n \sin \left(\frac{f k}{n} - d \right) - \sin \frac{f k}{n} \right) \quad (4)$$

dimana adalah soliditas relatif, n adalah jumlah sudu turbin, dan d adalah setengah panjang cord dalam radian terhadap sumbu

putar.



Gambar 9. Bentuk sudu NACA0030.

Torsi awal total yang dibangkitkan oleh sudu turbin di dalam aliran air V dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan [5]:

$$T = k_2 \frac{\sqrt{1+q^2}}{2} \sin^2\left(\frac{L}{Rq}\right) \quad (5)$$

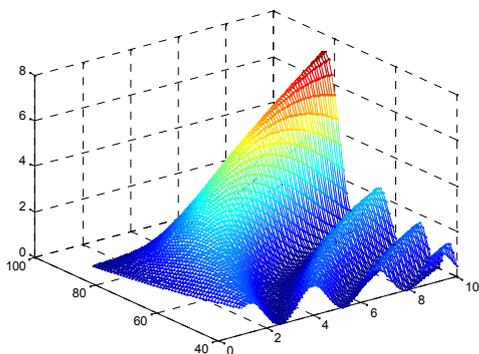
Atau dalam bentuk tanpa dimensi dapat dituliskan menjadi:

$$T_1 = \frac{T(q)}{k_2} = \frac{\sqrt{1+q^2}}{2} \sin^2\left(\frac{L}{Rq}\right) \quad (6)$$

dimana: $k_2 = \frac{1}{2}k_0 bV^2 R^2$, $k_1 = k_0 bV^2 R$,

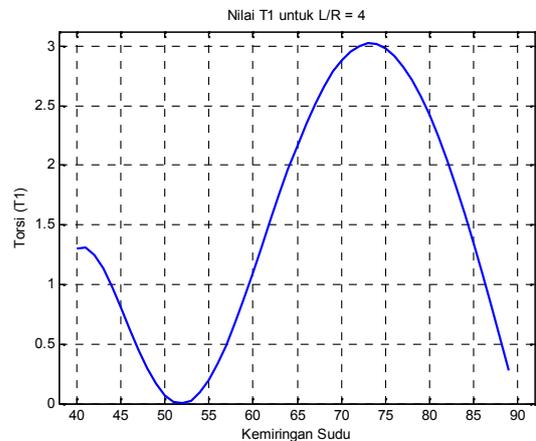
$q = \tan\alpha = \frac{L}{R}$, L adalah tinggi turbin, dan R

adalah jari-jari turbin. Gambar 10 memperlihatkan grafik hubungan antara torsi T_1 sebagai fungsi sudut kemiringan sudu dan rasio dari tinggi turbin terhadap jari-jari turbin L/R yang disimulasikan dengan menggunakan program Matlab [10]. Berdasarkan rasio dari tinggi turbin terhadap jari-jari turbin $L/R = 4$, maka diperoleh sudut kemiringan sudu $\alpha = 72^\circ$, seperti dapat dilihat pada Gambar 11.



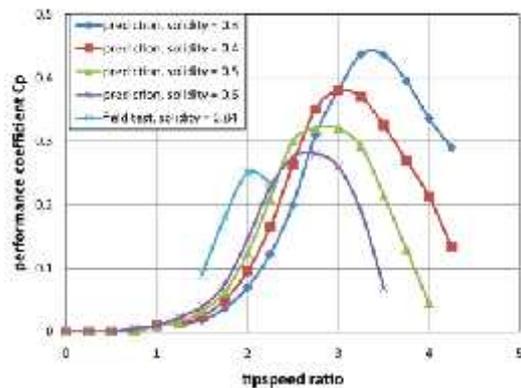
Gambar 10. Grafik hubungan antara torsi T_1 sebagai fungsi sudut kemiringan sudu dan

rasio dari tinggi turbin terhadap jari-jari turbin L/R .



Gambar 11. Grafik hubungan antara torsi T_1 sebagai fungsi sudut kemiringan sudu .

Pada Gambar 12 dapat dilihat pengaruh *tip speed ratio* terhadap *coefisien performance* C_p (efisiensi) untuk masing-masing *relative solidity* dari *hydrokinetic turbin* Darrieus (HKT) dengan sudu lurus.



Gambar 12. Unjuk kerja perkiraan dan hasil pengujian Darrieus HKT untuk berbagai *relative solidity*[11].

Tip speed ratio pengoperasian turbin ini ditentukan ≈ 3 , hal ini untuk mencegah terjadinya kavitasi saat pengoperasian turbin. Dari grafik hubungan antara *coefisien performance* C_p terhadap *tip speed ratio* *hydrokinetic turbin*, maka untuk *tip speed ratio* ≈ 3 ditentukan *relative solidity* 0,4. Dengan menggunakan Persamaan 4 ditentukan panjang *chord* sudu turbin yang akan diuji 25 cm.

Setelah dilakukan perancangan



parameter-parameter perancangan turbin ini adalah: bentuk sudu dan jumlah sudu n , tinggi turbin L , diameter turbin D , dan kemiringan sudu turbin. Saat ini sedang dilakukan pembuatan alat pengujian dan model turbin helik ini di Laboratorium Mekanika Fluida, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung. Dan metode perancangan ini telah digunakan juga untuk merancang model sistem pembangkit listrik tenaga air untuk memanfaatkan energi kinetik aliran di saluran irigasi Way Tebu, di Kecamatan Pugung, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung [12]. Jadi rancangan sistem alat pengujian ini nanti dapat digunakan untuk mendukung pelaksanaan mata kuliah Praktikum Prestasi Mesin bagi mahasiswa di Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung.

KESIMPULAN

Pada makalah ini diberikan hasil metode perancangan dan pembuatan sistem alat pengujian model turbin air helik (*helical turbine*) untuk sistem PLTMH pada skala laboratorium dengan menggunakan head sumber 1 m. Hasil perancangan menghasilkan parameter-parameter turbin yang digunakan adalah: bentuk sudu profil NACA 0030, jumlah sudu $n = 3$ buah, tinggi turbin $L = 20$ cm, diameter turbin $D = 10$ cm, dan kemiringan sudu turbin $= 73^\circ$. Dan saat ini sedang dilakukan pembuatan alat pengujian model turbin helik di Laboratorium Mekanika Fluida, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Lampung. Hasil rancang bangun alat pengujian model turbin helik untuk sistem PLTMH ini nantinya dapat digunakan untuk mendukung pelaksanaan mata kuliah Praktikum Prestasi Mesin di Jurusan Teknik Mesin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sampurna, H. 2014. Pertumbuhan Permintaan Listrik di Lampung Cukup Tinggi. Diakses dari: <http://www.saibumi.com/artikel-2423-pertumbuhan-permintaan-listrik-di-lampung-ukup-tinggi.html#ixzz4xZCP9k00>.
- [2] Yasland, M., 2013. Masih Ada Desa di Lampung Belum Dialiri Listrik, Diakses dari: <http://nasional.republika.co.id/berita/nasional/daerah/13/02/18/mif70b-masih-ada-desa-di-lampung-belum-dialiri-listrik>.
- [3] Fikri, M. A. (2008). Alternatif Energi Terbarukan dan Konversi Energi. PLN Lampung. Diakses dari: www.plnlampung.co.id/warta_PLN.htm.
- [4] Jiandong, T., Zheng N, Wang X., Hai J., and Ding H., 1996, *Mini Hydropower*, New York: John Wiley & Sons.
- [5] Gorlov, A., 2008. "Development of The Helical Reaction Turbine". *Final Technical Report (DE-FG01-96EE 15669)*.
- [6] -----*Vertical axis wind turbine*. Wikimedia Foundation, Inc. Diakses dari: http://en.wikipedia.org/wiki/Vertical_axis_wind_turbine.html.
- [7] Batista, N.C., R. Melicio, J.C.O. Matias dan J.P.S. Catalao. 2011. "Self-Start Performance Evaluation in Darrieus-Type Vertical Axis Wind Turbines: Methodology and Computational Tool Applied to Symmetrical Airfoils". *Prosiding The International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'11)*. Diakses dari: <http://www.icrepq.com/icrepq%2711/302-batista.pdf>. Diakses pada tanggal 11 April 2012.
- [8] Supramanto, D., 2016, Kajian Eksperimental Pengaruh Jumlah Sudu terhadap Unjuk Kerja Turbin Helik untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). *Tugas Akhir Teknik Mesin*, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- [9] Gorlov, A. 2010. Helical Turbine and Fish Safety. Diakses dari: www.mainetidalpower.com/files/gorlovrevise.pdf
- [10] Sinaga, J. B., N. Tanti, dan M. Badarruddin. 2012. 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*.

- [11] Kirke, B. K. 2011. Tests on ducted and bare helical and straight blade Darrieus hydrokinetic turbines *Renewable Energy*. No. 36 : 3013-3022.
- [12] 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*.