

Design and Evaluation of Energy Characteristics of a Horizontal Venturi Bulb Turbine Based on Sea Current Data of The Haya Strait

W. M. Rumaherang^{1,*}, R. Ufie² dan, J. Louhenapessy³, J. Latuny⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

* Corresponding author :max.rumaherang@fatek.unpatti.ac.id

Abstract. The tidal current velocity at the location on Haya Strait West Ceram District is in range of $V_0 = 0 \pm 2,2$ m/c. Available power density ranges $P_d = (0,3 - 3670) \times 10^{-3}$ kW/m². A Prototype of bulb propeller turbine with impeller of diameter $D_1=1.5$ meters, which is set up in the Venturi tube as designed and tested under the raft. Water current velocity is measured on three cross sections of the Venturi tube respectively in the inlet area of $A_0 = 13.17$ m², impeller house area is $A_1 = 1.6414$ m² and outlet section area is $A_2 = 4.909$ m². According to V_0 value, the current velocity respectively is changing from $V_1 = 0.49 \div 11.86$ m/c, and $V_2 = 0.21 \div 4.96$ m/c. The maximum value of power coefficient is $C_{P\max} = 0.59$ and the thrust coefficient is $C_T = 0.905$ which occurs in the value of induction factor $a = 0.346$ or at the current velocity of $V_0 = 1.4$ m/c. The maximum value of $C_{T\max}=1$ was found for value of $a = 1$. The values of hydraulic power P_w through the turbine is ranging from $P_w = 0.03 \div 55.05$ kW., thrust is ranging from $T = (1.04-143) \times 10^{-3}$ kN., and moment is ranging from $M_x = (0.08 \div 107) \times 10^{-3}$ kNm with the impeller angular speed $\omega = 1.5 \div 38$ rad/c. Therefore the power generated by turbine (P_t) is calculated to be in between 0.12-40.92 kW.

Abstrak. Kecepatan arus pasang surut pada lokasi Selat Haya Kabupaten Seram Bagian Barat berkisar $V_0 = 0 \pm 2,2$ m/s. Densitas daya tersedia $P_d = (0,3 - 3670) \times 10^{-3}$ kW/m². Turbin bulb propeller didesign dengan diameter impeller $D_1=1.5$ meter dipasang dan diuji pada sebuah rakit. Kecepatan aliran diukur pada tiga penampang, yaitu inlet $A_0 = 13.17$ m², penampang rumah impeller $A_1 = 1.6414$ m² dan penampang outlet $A_2 = 4.909$ m². Perubahan kecepatan pada masing-masing penampang tergantung pada perubahan kecepatan bebas air laut V_0 , berturut-turut adalah $V_1 = 0.49 \div 11.86$ m/s, dan $V_2 = 0.21 \div 4.96$ m/s. Koefesien daya $C_{P\max} = 0.59$ dengan $C_T = 0.905$ terjadi pada nilai faktor induksi $a = 0.346$ atau pada nilai $V_0 = 1.4$ m/s. Nilai maksimum $C_{T\max}=1$ diperoleh pada nilai $a = 1$. Daya hidrolik P_w yang melalui turbin, thrust dan momen berturut-turut berkisar antara 0.03-55.05 kW., $T = (1.04-143) \times 10^{-3}$ kN., dan $M_x = (0.08 \div 107) \times 10^{-3}$ kNm dengan kecepatan sudut impeller $\omega = 1.5 \div 38$ rad/s, sehingga daya yang dibangkitkan turbin (P_t) is calculated to be in between 0.12-40.92 kW.

Keywords: Kecepatan arus laut, design turbin, Tabung Venturi, karakteristik turbin.

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) sebagai sumber energy merupakan bagian penting dari fokus penyediaan energy yakni pembangunan ekonomi, ekologi dan sosial masyarakat sekaligus merupakan upaya mendukung RE-BID (Renewable Energy Based on Industrial Development).

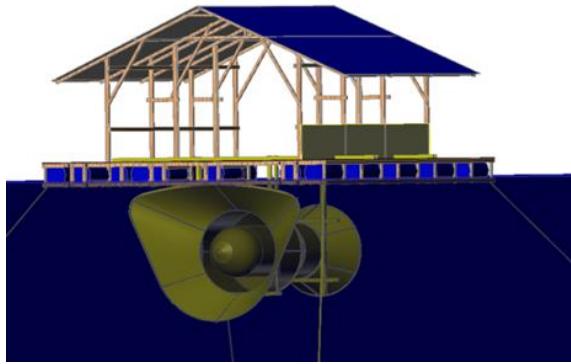
Sifat fisik energy kinetik arus laut pada beberapa wilayah laut Indonesia memberikan peluang untuk dikonversi menjadi energi listrik. Dari 727 GW potensi energy arus laut Indonesia, 4,8 GW diantaranya dapat dimanfaatkan secara praktis [6]. Kecepatan arus pasang surut pada selat-selat antara pulau-pulau kecil di Maluku mencapai 2,4 m/s, sehingga dapat dikonversikan menjadi energi listrik [4].

Umumnya turbin aksial sumbu horizontal [1] dan turbin cros-flow [2] lebih popular penggunaannya untuk dalam studi konversi energy arus laut menjadi energy mekanik, serta sudah diterapkan dalam pembangunan turbin pada PLTAL [2].

Berbagai studi karakteristik turbin telah dikaji diantaranya oleh Much [3] yang meneliti tentang design dan asesmen performance ducted turbine yang melukiskan hubungan parameter energi terhadap perubahan kecepatan arus. Hal serupa dilakukan Belloni [4] yang meneliti tentang hidrodinamika ducted dan open-centre tidal turbine dan menggambarkan hubungan antara koefesien daya dan koefesien thrust dengan parameter tak berdimensi a . Kedua kajian ini dilakukan dengan metode numeric berbasis CFD.

Dalam penelitian ini, dikembangkan floating turbine tipe Venturi bulb propeller yang dipasang di bawah bangunan apung dengan diameter impeller $D_1=1,5$ meter (gambar 1).

Parameter-parameter pada karakteristik turbin dianalisa untuk aliran yang melalui tabung Venturi. Karakteristik turbin digambarkan sebagai hubungan koefesien daya C_p dan koefesien thrust C_t terhadap parameter a [5] dan hubungan parameter thrust (kN) dan daya (kW) terhadap perubahan kecepatan aliran arus yang diukur pada pengujian turbin.



Gambar 1. Instalasi Turbin

Metode Penelitian

Penentuan daya tersedia aliran arus laut. Kondisi kecepatan arus harian (gambar 2) memiliki distribusi vector kecepatan pada proses arus menuju pasang dan surut dengan arah utara dan selatan (Gambar 3). Hasil pengukuran menunjukan bahwa kecepatan mencapai 2,2 m/s.

Daya puncak turbin dijelaskan dengan bantuan teori momentum [1] atau persamaan Fraenkel [2]:

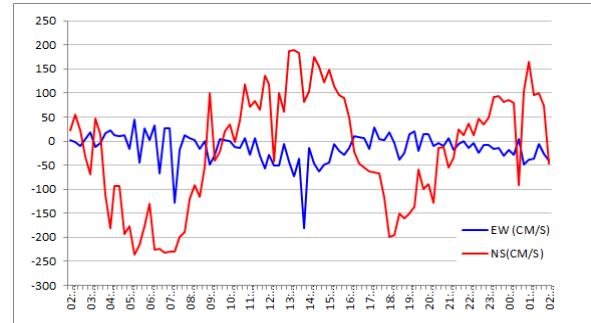
$$P = \frac{1}{2} \rho A_{ref} C_p U_{ref}^3 \quad (1)$$

Dimana C_p = koefesien daya turbin, densitas air laut $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$ dan U_o adalah kecepatan air laut. Koefisien C_p ditetapkan sebanyak factor aliran yang melewati turbin dalam kanal Venturi.

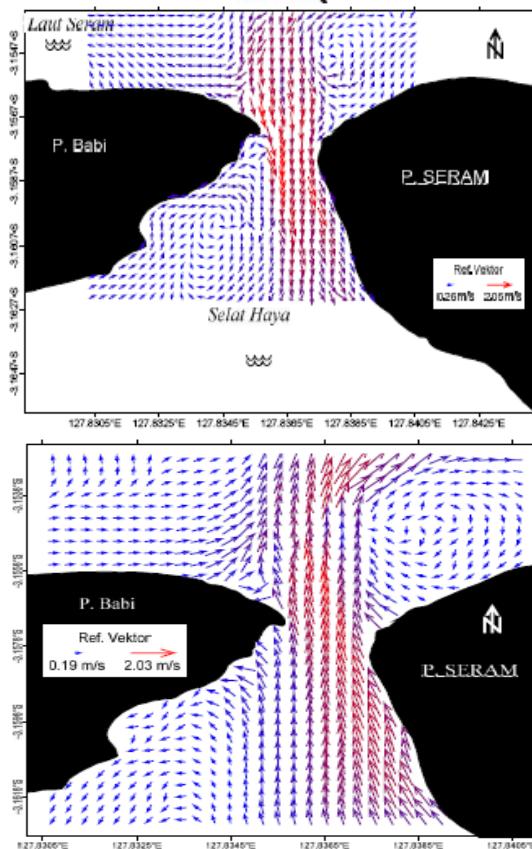
Dalam penelitian ini aliran masuk melalui rumah turbin di inlet. Debit aliran Q (m^3/s) dihitung dengan menggunakan persamaan kontinutas aliran. Nulai dipengaruhi oleh nilai koefesien debit C_Q dan dihitung sebagai berikut :

$$Q = C_Q \cdot Q_o \quad (2)$$

$$\text{Dimana } Q_0 = V_0 \cdot A_0$$



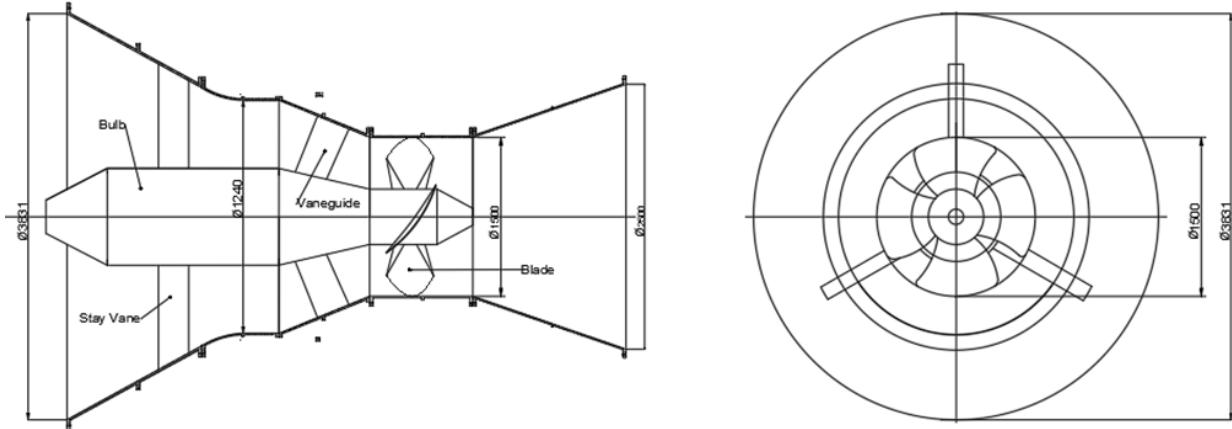
Gambar 2. Kecepatan Arus harian pada Selat Haya
Selat Haya



Gambar 3. Vektor arus pada lokasi selat Haya
Sumber : Laporan Tim Peneliti Universitas Pattimura

Design Turbin. Design turbin dilakukan dengan bantuan persamaan kontinutas aliran dalam tabung Venturi. Diameter impeller ditentukan berdasarkan kecepatan aliran fluida pada penampang meridian (V_m) dan debit (Q). Luas penampang A_0 , dirancang berdasarkan kebutuhan ndebit yang dibutuhkan oleh impeller dan selanjutnya dihitung diameter impeller D_1 . Dari perhitungan konstruksi dan kekuatan poros, maka kecepatan pada daerah impeller adalah:

$$V_m = \frac{4Q}{\pi D_1^2 (1 - \bar{d}_{bs}^2)} \quad (3)$$



Gambar 4. Design turbin

Dimana $\bar{d}_{bs} = \frac{d_b}{D_2} = 0.23$ – perbandingan bosch impeller; D_1 – diameter impeller.

$$D_1 = \sqrt{\frac{Q}{1,35 \cdot V_m}} \quad (4)$$

Sesuai dengan kebutuhan daya yang dibutuhkan, diameter impeller prototype turbin adalah $D_1 = 1,5$ m dengan jumlah sudu $z = 4$ buah, sudut serang $\alpha_1 = 75^\circ$, sudut kemiringan sudu $\beta_1 = 35^\circ$ dan $\beta_2 = 33^\circ$.

Ukuran keseluruhan bagian-bagian turbin dihitung berdasarkan ukuran D_1 . Gambar design turbin ditampilkan pada gambar 4 dan 5.



Gambar 5. Konstruksi Rumah Turbin

Perhitungan karakteristik turbin. Dua parameter penting dalam perhitungan karakteristik turbin adalah koefesien daya dan koefesien thrust turbin. Koefesien daya C_p dinyatakan sebagai berikut [3, 5]:

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho A_{ref} V_o^3} = 4a((1 - a)^2) \quad (5)$$

untuk ducted turbine Nilai $C_p = 0.59$ [3]. Koefesien thrust C_T dinyatakan sebagai [5] :

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho A_{ref} V_o^2} = 4a(1 - a) \quad (6)$$

Dimana $a = \frac{V_o - V_t}{V_o}$ adalah faktor induksi, P =daya turbin, V_o = kecepatan arus laut, V_t -kecepatan aliran pada penampang rumah impeller. $A_{ref} = A_o$. Selanjutnya digambarkan hubungan antara C_p dan C_T sebagai fungsi dari a .

Energi spasifik turbin didefinisikan sebagai [3] :

$$E = gH \quad (7)$$

Dimana : gH = energy spesifik mesin-mesin hidrolik [J/kg], yang ditentukan oleh perubahan tekanan dan kecepatan pada penampang inlet dan outlet turbin. Penyelesaian persamaan Bernoulli untuk aliran pada titik dua yang terletak pada satu garis alir sebelum dan sesudah impeller diperoleh:

$$\frac{gH_T}{\omega} = (rV_u)_1 - (rV_u)_2 \quad (8)$$

Dimana $H_T = \eta H_n$, dimana H_n – head netto, η -efisiensi hidrolik.

Momen putar impeller diperoleh berdasarkan perbedaan nilai kecepatan lokal sebelum dan sesudah impeller dan sisi isap pada penampang meridian impeller:

$$M_x = \frac{1}{2} A_1 V_1 (V_o^2 - V_1^2) \cdot R_1 = T \cdot R_1 \quad (9)$$

Dimana: T = Thrust, kN.

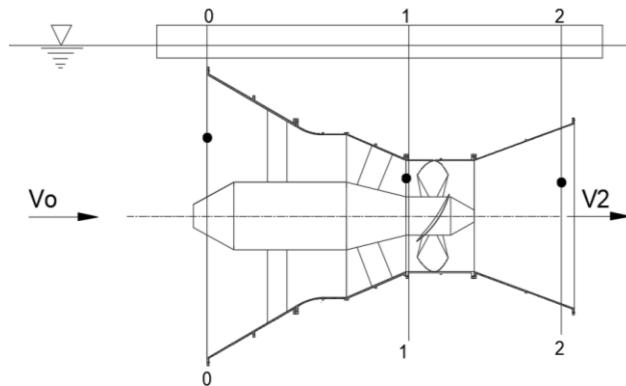
Dari perhitungan segitiga kecepatan, dihitung momen putar, sehingga daya pada poros turbin dihitung sebagai:

$$P_t = Mx \cdot \omega = \rho g C_p H_T Q \quad (10)$$

Dimana P_t – Daya yang dihasilkan (kW), ω – kecepatan sudut impeller (rad/s), H_T – Head turbin.

Selanjutnya karakteristik energy turbine digambarkan sebagai fungsi kecepatan aliran bebas arus laut $T, P = f(V_o)$, sehingga karakteristik turbin adalah hubungan parameter-parameter energy yaitu

thrust, daya turbin terhadap perubahan kecepatan aliran V_0 untuk geometri turbin konstan.



Gambar 6. Set Up Pengujian Turbin

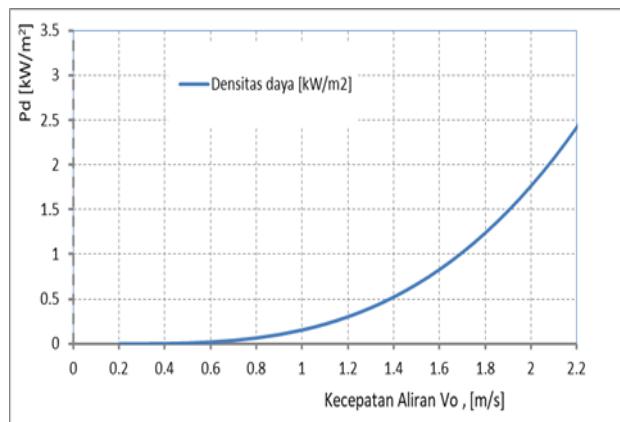
Kecepatan aliran pada setiap penampang diukur dengan bantuan *current meter* yang disetup pada setiap penampang (**Gambar 4**).

Data hasil pengukuran kecepatan digunakan untuk menghitung parameter-parameter energi aliran dan karakteristik turbin melalui proses pengujian prototype turbin di lokasi.

Hasil dan Pembahasan

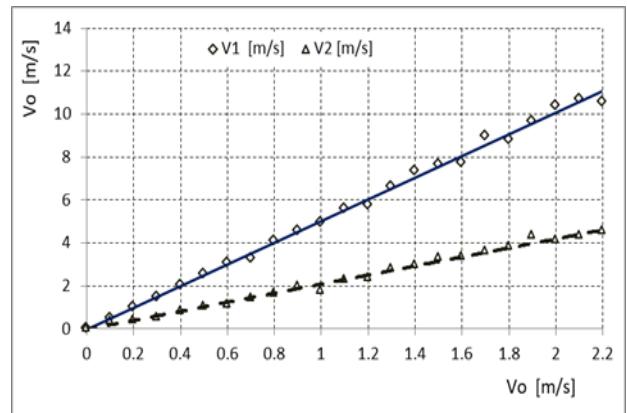
Daya tersedia arus laut. Kecepatan arus harian pada lokasi Selat Haya yang ditunjukkan pada gambar 2 dan gambar 3 menunjukkan bahwa kecepatan arus laut pada Selat Haya berkisar antara 0.5 m/s sampai dengan 2.2 m/s untuk proses menuju surut dan untuk proses menuju pasang kecepatan berkisar antara 0.5 m/s 1.8 m/s. dengan kedalaman rata-rata 15 metres.

Grafik perubahan densitas daya yang dilukiskan pada gambar 7 menunjukkan bahwa untuk kecepatan arus laut $V_0 = 0,2 - 2,2$ m/s, nilai densitas daya P_d berkisar antara $(0,3 - 3670) \times 10^{-3}$ kW/m².



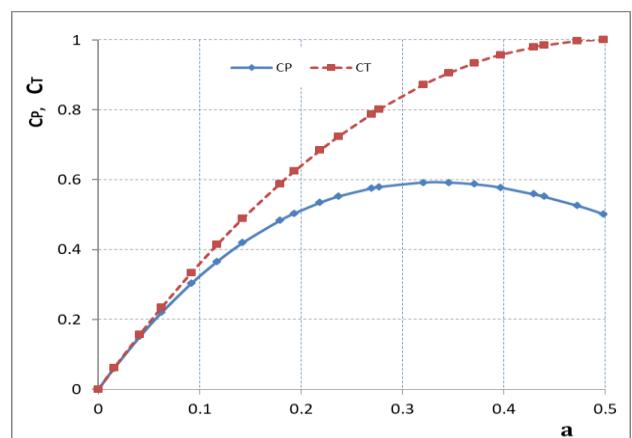
Gambar 7. Densitas daya arus laut.

Parameter-Parameter energy Turbin. Hasil pengukuran pada ketiga penampang turbin menunjukkan bahwa untuk nilai kecepatan bebas air laut V_0 diatas, nilai $V_1 = 0.49 \div 11.86$ m/s, dan $V_2=0.21 \div 4.96$ m/s. Hubungan nilai-nilai kecepatan pada ketiga penampang turbin ditunjukkan pada gambar 8. Berdasarkan nilai kecepatan V_0 dan V_2 , diperoleh nilai koefesien debit $C_Q = 0.55$.



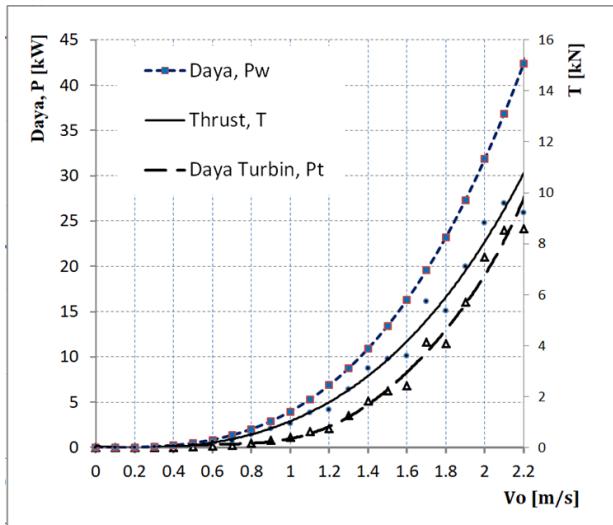
Gambar 8. Profil kecepatan dalam turbin.

Hasil perhitungan C_P dan C_T sebagai fungsi faktor reduksi a didalam turbin yang dilukiskan pada gambar 9 menunjukkan hasil yang mendekati nilai yang diperoleh dengan pemodelan berbasis CFD yang dilakukan oleh Belloni [4], dimana nilai koefesien daya $C_{Pmax} = 0.59$ dan $C_T = 0.905$ terjadi pada nilai factor induksi $a = 0.346$ atau pada nilai $V_0 = 1.4$ m/s. Nilai $C_{Tmax}=1$ diperoleh pada nilai $a = 1$ atau pada $V_0=2$ m/s.



Gambar 9. Hubungan C_P dan C_T terhadap faktor induksi a

Berdasarkan pers. 1, 9 dan 10, dihitung karakteristik keseluruhan turbin yang dilukiskan pada gambar 10.



Gambar 10. Karakteristik Turbin

Dimana berdasarkan hasil perhitungan densitas daya dan dimensi turbin, total daya P_w (pers. 1) pada aliran yang melalui turbin berkisar antara $P_w = 0.03 \div 55.05$ kW. Demikian juga nilai thrust dan momen putar yang dibangkitkan berturut-turut berkisar antara $T = (1.04 \div 143) \times 10^{-3}$ kN dan $M_x = (0.08 \div 107) \times 10^{-3}$ kNm. Dari hasil perhitungan segitiga kecepatan (pers. 7 dan 8), maka diperoleh nilai kecepatan sudut impeller $\omega = 1.5 \div 38$ rad/s. Dengan mengabaikan total kerugian hidrolis dan mekanis, daya yang dibangkitkan turbin $P_t = 0.12 \div 40.92$ kW.

Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

- Nilai Koefisien daya C_p dan koefisien thrust C_T pada turbin hasil pengujian prototype menunjukkan nilai yang mendekati hasil pemodelan CFD yang dilakukan oleh Belloni [4].
- Daya yang dibangkitkan turbin, P_t yang diperoleh dari hasil pengujian dan perhitungan segitiga kecepatan menunjukkan hasil yang mendekati daya teoritis P_w untuk turbin aliran terbuka.
- Perbandingan Daya P_w dan P_t menunjukkan perbedaan yang cukup disebabkan oleh nilai kecepatan terukur V_2 yang cukup signifikan.

Referensi (tipe indentasi Hanging 0,75 cm)

- P. L. Fraenkel (2010), Development and testing of Marine Current Turbine's SeaGen 1.2MW tidal stream turbine, 3rd International Conference on Ocean Energy, 6 October, Bilbao, 2010.
- A. Roberts, B. Thomas, P. Sewell, Z. Khan, S. Balmain, J. Gillman. (2016). Current Tidal

Power Technologies And Their Suitability For Applications In Coastal And Marine Areas, Journal Of Ocean Engineering and Marine Energy No 2 PP 227–245

- [3] Munch, C., Vonlanthen, M., Gomes, J., Luquet, R., Guinard, P. and Avellan, F. (2009), Design and performance assessment of a tidal ducted turbine, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'10) Granada (Spain), 23th to 25th March, 2010. https://www.researchgate.net/publication/44795183_Design_and_Performance_Assessment_of_a_Tidal_Ducted_Turbine. Diakses tanggal 08 Agustus 2018.
- [4] W. M. Rumaherang, dkk, Karakteristik Turbin Propeller Sumbu Horisontal Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut, Proceeding Seminar Nasional Archipelago Engineering. Volume 1, Nomor 1, PP –
- [5] Clarissa Belloni, Hydrodynamics of Ducted and Open-Centre Tidal Turbines, Balliol College, University of Oxford, Trity, 2013, <http://www.eng.ox.ac.uk/civil/publications/theses/belloni>. Diakses pada 6 Agustus 2018.
- [6] Harkins H. Prabowo and Susilohadi. (2014), Summary Of Mapping And Modelling Ocean Current Energy In Potential Straits In Indonesia, Center For Research And Development Of Marine Geology Energy And Minerals Resources Research And Development Agency Ministry Of Energy And Mineral Resources, R.I.
- [7] Michael Shives, Curran Crawford Overall Efficiency of Ducted tidal current turbines, OCEANS CONFERENCE on October 2010.
- [8] Yu-Chia Chang, Peter C. Chu, Ruo-Shan Tseng, (2015). Site selection of ocean current power generation from drifter measurements. Renewable Energy No 80 PP 737-745 International Journal Elsevier.