

PERANCANGAN DAN OPTIMASI PROPELLER PADA SISTEM KONVERSI ENERGI ARUS LAUT DENGAN METODE *PROPELLER VORTEX LATTICE* (PVL)

Bernadetha Tabi¹⁾ Faisal Mahmuddin¹⁾, dan Syerly Klara¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Sistem Jurusan Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Email: eta_09256@yahoo.com

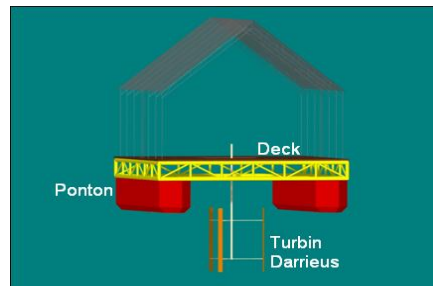
Abstrak

Energi terbarukan semakin marak dimanfaatkan dalam beberapa dekade ini termasuk dengan memanfaatkan sistem konversi energi arus laut. Dalam hubungannya arus laut dapat digunakan untuk menggerakkan propeller yang dapat menghasilkan gaya dorong (*thrust*) sehingga mampu menghasilkan daya yang dapat disimpan untuk menyuplai kebutuhan listrik di daratan sekitar daerah pesisir termasuk di daerah Selat Pantar, Pulau Pura Nusa Tenggara Timur dimana kecepatan arus laut rata-rata sebesar 1,346 m/s. Daerah tersebut mengalami krisis pasokan daya listrik maka direkomendasikan penggunaan sistem konversi energi arus laut untuk mengatasi masalah tersebut. Pada penelitian ini, perancangan propeller dan optimasi penampang propeller berdasarkan kecepatan rata-rata arus laut dilakukan metode *Propeller Vortex Lattice* (PVL) pada kasus jumlah daun 2,3 dan 4. Pada setiap kasus, putaran divariasikan sebesar 90, 120, 150 dan 180 RPM dan diameter antara 0,8 sampai 4 m. Dari hasil perhitungan, didapatkan efisiensi maksimal adalah pada saat diameter propeller 1 m sebesar 0,63 pada propeller 2 daun. Setelah itu dilakukan optimasi penampang daun propeller dengan menganalisa 4 macam bentuk yakni penampang cekung-cembung (ck-cm), cembung-cembung (cm-cm), cekung-cekung (ck-ck) dan cembung-cekung (cm-ck). Dari hasil perhitungan dan analisa dapat disimpulkan bahwa penampang berbentuk cekung-cekung (ck-ck) merupakan bentuk penampang paling optimal. Dengan demikian, propeller yang akan digunakan pada *Mobile Floating of Structure* adalah propeller berdiameter 1 m dengan jumlah daun 2. Propeller tersebut mampu menghasilkan daya sebesar 637, 694 watt.

Kata kunci: Arus laut, PVL, daya efektif, *Mobile Floating Structure*

PENDAHULUAN

Propeller merupakan salah satu inovasi penggerak konversi energi, bukan hanya untuk menggerakkan kapan. Dengan memanfaatkan arus laut sebagai sumber energi penghasil listrik untuk mengatasi krisis energi. Beberapa penggunaan propeller dengan memanfaatkan arus laut dengan meletakkan propeller tersebut di bawah dasar laut. Pemanfaatan lainnya seperti yang telah dilakukan oleh Unit Pelaksana Teknis Laboratorium Hidrodinamika Indonesia (UPT LHI) yang menggunakan turbin di bawah pontoon (Gambar 1) untuk pembangkit listrik.



Gambar 1. Konsep PLTAL



Gambar 2. Prototipe PLTAL



Terdapat beberapa metode menganalisa desain propeller. Salah satunya metode konvensional yang umumnya menggunakan grafik untuk mendapatkan performa propeller. Penggunaan grafik yang disalin berulang kali dapat mengurangi keakuratan grafik tersebut. Oleh karena itu dipilihlah metode yang diberi nama *Propeller Vortex Lattice* (PVL) dikembangkan oleh Kerwin berdasarkan teori *lifting line*. Metode PVL dapat digunakan untuk merencanakan desain propeller, menentukan performa optimal propeller (efisiensi, torsi dan thrust) dan untuk mengoptimasi propeller. Propeller rancangan hasil eksekusi dan analisa dengan menggunakan metode PVL akan direncanakan untuk digunakan pada *Mobile Floating Structure*. MFS ini merupakan turunan dari VLMOS dalam bentuk yang lebih kecil yang bukan hanya berdiam disatu tempat namun dapat berpindah-pindah.

Propeller Vortex Lattice (PVL)

Menurut Kerwin dalam *Hydrofoils and Propellers, Lecture Notes* menyatakan bahwa sebuah solusi *vortex lattice* untuk masalah propeller *lifting line* secara konseptual sangat mirip dengan solusi dari masalah *planar lifting line* [4]. Rentang dari *key blade* dibagi menjadi panel M diperpanjang dari $r = r_h$ ke $r = R$. Distribusi radial dari sirkulasi, $\Gamma(r)$, yang jumlah oleh sebuah set dari M elemen vortex dari kekuatan konstan Γ_m diperpanjang dari $r_v(m)$ menjadi $r_v(m+1)$. Sebuah diskrit trailing (bebas) *vortex line* disebarkan pada setiap batasan panel. Akan tetapi, seperti dengan teori *planar lifting line* sangat tepat mempertimbangkan bahwa sistem vortex dibangun dari set M elemen *horseshoe*, terdiri atas sebuah bagian kekuatan *bound vortex* Γ_m and kekuatan dua garis vortex bebas $\pm\Gamma_m$. tapi disini lain, setiap element *horseshoe* pada kenyataannya menunjukkan sebuah kumpulan Z element serupa dengan kekuatan dimulai satu dari setiap blade.

Setiap kumpulan element vortex horseshoe dari unit kekuatan, merujuk pada sebuah kecepatan aksial dan tangensial pada control point tertentu, $r_c(n)$ pada *key blade*. Kontribusi pada dua vortices bebas dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Untuk $r_c < r_v$:

$$\bar{u}_a(r_c) = \frac{z}{4\pi r_c} (y - 2Zr_v F1) \quad (1)$$

$$\bar{u}_t(r_c) = \frac{z^2}{2\pi r_c} y_o F1 \quad (2)$$

Untuk $r_c > r_v$:

$$\bar{u}_a(r_c) = -\frac{z^2}{2\pi r_c} y y_o F2 \quad (3)$$

$$\bar{u}_t(r_c) = \frac{z}{4\pi r_c} (1 + Z2y_o F2) \quad (4)$$

Kontribusi pada batas elemen vortex dari kumpulan vortices horseshoe adalah nol, bahwa *lifting line* merupakan radial dan blade memiliki *spacing angular* yang seragam. Dengan jelas bahwa elemen bound pada *key lifting line* merujuk ke kecepatan nol dimanapun sepanjang garis. Elemen *bound vortex* pada blade lain mungkin kecepatan induce pada *key blade*. Total *induced velocity* pada control point $r_c(n)$ sebagai berikut :

$$u_a^*(r_c(n)) = \sum_{m=1}^M \Gamma_m \bar{u}_a(n, m) \quad (5)$$

$$u_t^*(r_c(n)) = \sum_{m=1}^M \Gamma_m \bar{u}_t(n, m) \quad (6)$$

Dimana $\bar{u}_a(n, m)$ dan $\bar{u}_t(n, m)$ adalah fungsi pengaruh *horseshoe*.

Seperti pada teori *planar foil lifting line*, sangat baik digunakan *cosine spacing* untuk vortex dan kontrol poin. Menggambarkan $h = 0,5 (R - r_h)$ dan $\delta = \pi/2M$, koordinatonya adalah :

$$r_v(m) = r_h + h(1 - \cos(2(m-1)\delta)) \quad (7)$$

$$r_c(m) = r_h + h(1 - \cos((2n-1)\delta)) \quad (8)$$

Ada sebuah nomor yang mungkin mendekati untuk menyelesaikan perhitungan. Metode yang digunakan PVL sama



dengan metode Lerbs – kecuali sebuah *vortex lattice* digunakan oleh Lerbs perpanjangan metode Glauert.

Terdapat beberapa inputan data untuk program PVL. Inputan pertama adalah nomor panel, dalam hal ini M. Bagian terakhir dari data terdiri dari sebuah tabulasi dari rasio chord/diameter, c/D , koefisien gesekan drag C_d , kecepatan aliran masuk aksial, V_w , dan kecepatan aliran masuk tangensial, V_t , pada sebuah set *user-specified* nondimensional radii, r/R , dimulai dengan hub dan berakhir dengan tip. Nomor dari inputan radii berubah-ubah dan item tabulasi pada input raddi merupakan interpolasi ke grid *vortex lattice* oleh sebuah prosedur *cubic spline*.

Sudut *inflow* β pada beberapa radius dapat dihitung pada :

$$\tan \beta(r) = \frac{v_a(r)}{\frac{\pi r}{J_s} + v_r(r)} \quad (9)$$

Dimana koefisien advance, J_s yang diberikan pada catatan ketujuh pada data input.

Langkah selanjutnya adalah menetapkan nilai trial dari $\beta_i(r)$. Salah satu dapat menjadi distribusi optimum seperti yang diberikan persamaan 25 dan 26. Di salah satu kasus, $\tan \beta_i$ diperoleh dari $\tan \beta$ pada istilah konstanta berganda.

$$\frac{\tan \beta(r)}{\tan \beta_i(r)} = \text{konstan} \quad (10)$$

$$\frac{\tan \beta(r)}{\tan \beta_i(r)} = r \sqrt{1 - \omega_x(r)} \quad (11)$$

Dengan $\beta_i(r)$ diketahui, kecepatan *induced* harus memenuhi hubungan kinematik pada persamaan metode Lerbs :

$$\frac{u_a^* - u_i^*}{v_s} \tan \beta_i = \frac{v_a}{v_s} \tan \beta_i = \frac{v_a}{v_s} \left(\frac{\tan \beta_i}{\tan \beta} - 1 \right) \quad (12)$$

Data Penelitian

Data yang akan digunakan pada penelitian ini adalah data arus laut pada daerah Pulau Pura, Nusa Tenggara Timur. Titik arus yang diteliti adalah selat diantara Pulau Pura dan Pulau Pantar. Lokasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini. Data kecepatan arus laut di Pulau Pura yang merupakan data penelitian oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Energi Dan Sumber Daya Mineral Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral dapat dilihat dalam Tabel 1 berikut ini :



Gambar 3. Peta Lokasi Titik Arus

Tabel 1. Kecepatan Arus Laut di Pulau Pura, NTT

| Kedalaman (m) | Kecepatan Arus Maks (m/s) |
|---------------|---------------------------|
| 2 | 2.66 |
| 4 | 2.68 |
| 6 | 2.85 |
| 8 | 2.79 |
| 10 | 2.62 |
| 12 | 2.58 |
| 14 | 2.91 |
| 16 | 2.58 |
| 18 | 2.67 |
| 20 | 2.58 |
| rata- rata | 1.346 |

Metode Pengolahan Data

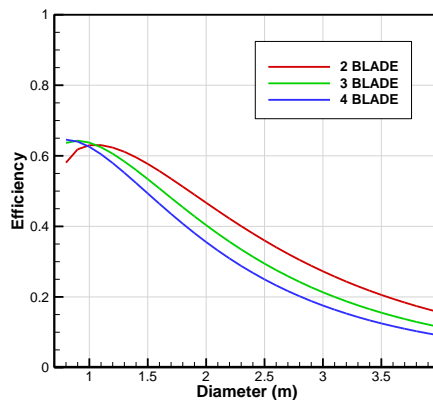
Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perhitungan dan eksekusi dengan metode *Propeller Vortex Lattice* (PVL) untuk mendapatkan performa optimal propeller berupa efisiensi (η_o), koefisien gaya dorong (KT) dan koefisien torsi (KQ). Dengan adanya variasi putaran yang dihubungkan dengan variasi diameter dan jumlah daun maka performa yang didapatkan berupa efisiensi juga bervariasi.

Setelah didapatkan efisiensi rata- rata dari beberapa kasus maka dilanjutkan dengan optimasi penampang daun dengan menggambarkan bentuknya dalam koordinat c/D terhadap r/R . Dari penggambaran tersebut didapatkan simpulan berupa propeller yang akan dipilih dengan efisiensi yang besar.

Propeller pilihan tersebut yang telah dipilih akan dikonversikan dengan rumus untuk menghitung daya yang dihasilkan oleh propeller tersebut dan diaplikasikan dalam bentuk *Mobile Floating Structure (MFS)*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan propeller sistem konversi energi arus laut berkecepatan rata- rata 1,346 m/s dengan menggunakan metode *Propeller Vortex Lattice* (PVL) dianalisa untuk 3 kasus yakni dengan jumlah daun sebanyak 2, 3 dan 4. Setiap kasus tersebut terdapat variasi putaran 90, 120, 150 dan 180 RPM dan diameter antara 0,8 sampai 4 m sehingga didapatkan efisiensi rata- rata pada gambar berikut ini.



Gambar 4. Efisiensi Rata- rata untuk jumlah daun 2, 3 dan 4

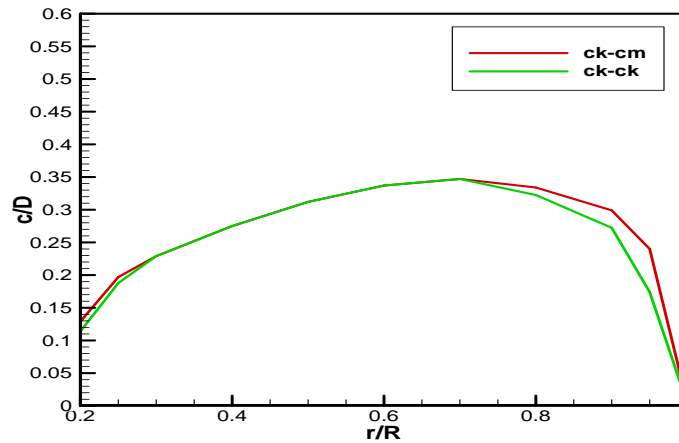
Dari Gambar 4 di atas didapatkan efisiensi rata- rata untuk propeller 2 daun yang mencapai nilai efisiensi maksimal pada diameter 1 m dan cenderung semakin menurun seiring pertambahan diameter. Kecenderungan yang sama dapat pula diamati pada kasus propeller 3 dan 4 daun dimana nilai efisiensi maksimal pada diameter mendekati 1 m, nilai efisiensi sebesar 0,64. Sehingga dipilihlah propeller 2 daun dengan diameter 1 m dengan mempertimbangkan bahwa diperlukan daya yang juga besar selain efisiensi tinggi.

Setelah parameter jumlah daun dan diameter dapat ditentukan, penampang daun propeller yang perlu pula dioptimasi untuk mendapatkan nilai efisiensi yang lebih besar lagi. Pada penelitian ini, penampang akan diberi nama berdasarkan bentuk penampang bawah- atas dari propeller dimana penampang bawah merupakan penampang propeller pada R minimum/ hub dan penampang atas pada R maksimum.

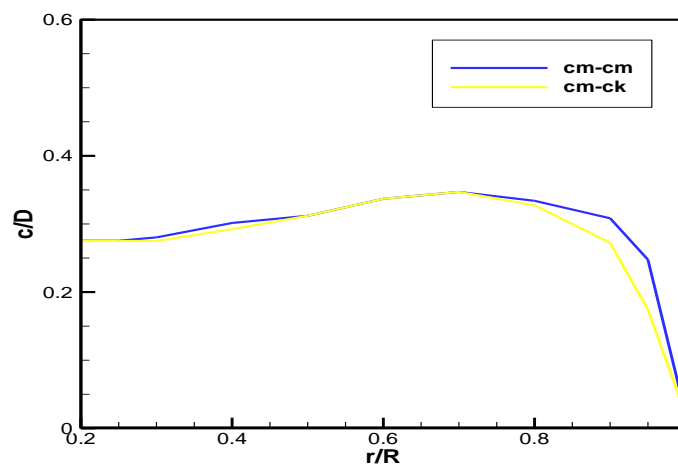
Sehingga penampang yang dapat dianalisa adalah sebagai berikut :

1. Penampang cekung- cembung (ck-cm)
2. Penampang cekung- cekung (ck-ck)
3. Penampang cembung- cembung (cm-cm)
4. Penampang cembung- cekung (cm-ck)

Nilai rasio panjang *chord* dan diameter (c/D) dari keempat penampang dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 5. Penampang Cekung- Cembung dan Penampang Cekung- Cekung



Gambar 6. Penampang Cembung-Cembung dan Penampang Cembung-Cekung

Gambar 5 menunjukkan penampang daun propeller dalam 2 bentuk yaitu penampang cekung-cembung(ck-cm) dan penampang cekung-cekung (ck-ck). Sementara pada Gambar 6 yang menunjukkan penampang daun propeller bentuk penampang cembung-cembung (cm-cm) dan cembung –cekung (ckm-ck). Pada kedua gambar diatas, terlihat perbedaan keempat penampang tersebut. Penampang diatas merupakan penampang bukan fisik melainkan dalam ordinat perbandingan c/D dengan r/R .

Pada Gambar 5, penampang daun propeller dengan penampang cekung-cembung (ck-cm) dimana pada r/R maksimum penampang rasio perbandingan c/D cenderung lebih besar dibandingkan dengan r/R minimum atau hub yang mengecil. Pada penampang cekung-cekung (ck-ck), kedua ujung pada r/R maksimum dan minimum mengalami perbandingan c/D yang cenderung tipis atau kecil.

Pada Gambar 6, penampang cembung-cembung (cm-cm) dimana kedua ujung baik pada r/R minimum maupun maksimum mengalami rasio perbandingan c/D yang besar atau menebal. Sementara pada penampang cembung-cekung(cm-ck), pada r/R maksimum, perbandingan c/D lebih cekung atau mengecil dibanding dengan r/R yang lebih besar.

Dari keempat bentuk penampang diatas didapatkan efisiensi maksimal dari metode PVL dimana pada penampang cekung-cekung efisiensi maksimalnya sebesar 0,650. Pada penampang cembung-cembung efisiensi maksimalnya sebesar 0,640 dan penampang cekung-cembung sebesar 0,645. Sementara pada penampang cembung- cekung, efisiensi maksimal mencapai nilai sebesar 0,649.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa penampang cekung- cekung memiliki nilai efisiensi yang lebih besar 0,650 dibandingkan dengan penampang lainnya. Sehingga propeller yang akan dipilih dengan penampang cembung-cekung. Pemilihan propeller berpenampang cekung – cekung dalam ordinar c/D terhadap r/R mengalami efisiensi tinggi disebabkan karena luas daun penampang tersebut lebih kecil dibandingkan dengan 3 bentuk penampang lainnya. Pada daun propeller dengan penampang sempit, kerugian kehilangan energi baling- baling yang disebabkan oleh viskositas air dan gesekan air pada daun sangat kecil sehingga menghasilkan efisiensi yang tinggi.

Berdasarkan uraian kasus diatas propeller yang akan dipilih untuk digunakan sebagai propeller energi arus laut adalah propeller dengan 2 daun dengan diameter 1 m karena dapat menghasilkan daya yang lebih besar (lihat Gambar 4) dibandingkan dengan propeller 3 daun dan 4 daun. Propeller tersebut menggunakan bentuk penampang cekung-cekung (lihat Gambar 5) karena memiliki efisiensi yang lebih besar dibandingkan dengan bentuk penampang lainnya.

Jadi daya maksimal pada diameter 1 m adalah :

$$\begin{aligned} P_{max} &= 0,5 \rho A V a^3 \\ &= 0,5 \times 1025 \times 3.14 \times (1^2/4) \times 1.346^3 \\ &= 981,0671 \text{ watt} \end{aligned}$$

Maka daya dari propeller direncanakan adalah :

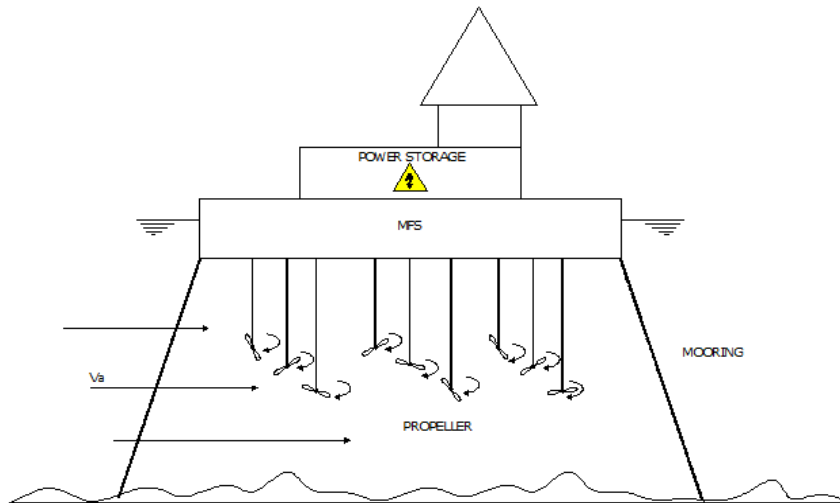
$$\begin{aligned} P_{perencanaan} &= \eta \times P_{max} \\ &= 0,65 \times 981,0671 \text{ watt} \\ &= 637,694 \text{ watt} \end{aligned}$$

Propeller energi tersebut akan digunakan pada *Mobile Floating Structure (MFS)* yang merupakan rancangan struktur bangunan yang dapat dipindah-pindahkan baik di darat maupun dalam perairan. Tipe MFS yang dirancang berupa bangunan yang mengapung dalam air.

Konsep *Mobile Floating Structure (MFS)* yang menggunakan propeller dengan 2 pilihan yakni sebagai berikut:

1. MFS 1

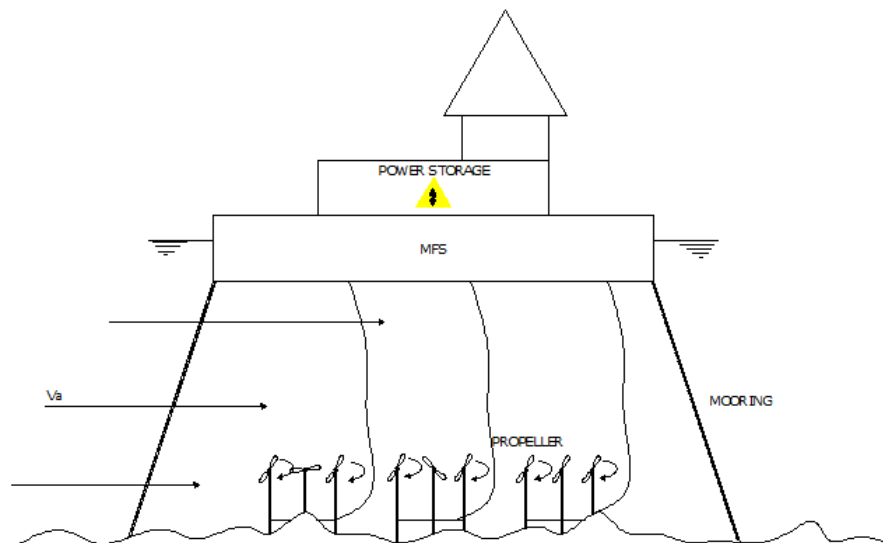
MFS model pertama ini merupakan model dimana propellernya dipasang pada MFS tersebut. MFS ini dapat berpindah- pindah. Oleh karena itu dipasangilah *mooring* agar pada saat dilakukan penyerapan energi MFS tersebut tetap berada ditempatnya. Jika MFS berpindah maka propeller energi tersebut disematkan pada lambung kapal.



Gambar 7. Konsep *Mobile Floating Structure* Model 1

2. MFS 2

MFS model kedua dengan konsep *harvesting energy* dimana propeller diletakkan dibawah dasar laut. Jadi propeller tidak ikut berpindah dengan MFS (tidak seperti MFS1). Peletakan propeller di bawah laut di letakkan berbentuk segitiga agar aliran pada setiap propeller energi mendapatkan aliran arus yang maksimal dan merata.



Gambar 8. Konsep *Mobile Floating Structure* Model 2

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan dengan metode *Propeller Vortex Lattice* (PVL) dapat disimpulkan bahwa propeller yang akan digunakan untuk kedua model MFS merupakan propeller dengan efisiensi tinggi yaitu propeller dengan jumlah daun 2 berdiameter 1 m dan berpenampang cekung-cekung. Propeller tersebut menghasilkan daya sebesar 637, 694 watt.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrianov, Alexey. 2005. *Hydroelastic Analysis of Very Large Floating Structures*. Oekraine.Dnepropetrovsk Nationale Universiteit.pp:1-9
- Carlton,John. 2007. *Marine Propellers and Propulsion, 2nd Edition*. Butterworth- Heinemann: Oxford.
- Erwandi. *Pengembangan Energi Laut di NTT*. 7 Mei 2014. <http://www.esdm.go.id/berita/323-energi-baru-dan-terbarukan/6047-pengembangan-energi-laut-di-ntt.html?tmpl=component&print=1&page=>
- Erwandi. *Sumber Energi Arus Laut dari Selat Larantuka Flores Timur*. 26 Maret 2014. <http://pltal.wordpress.com/>.
- Harvald,Sv.Aa.1992. *Tahanan Dan Propulsi Kapal*. Department Of Ocean Engineering.Lyngby-Denmark: The Technical University of Denmark.pp: 203-212.
- Kerwin, J.E., 2001, *Hydrofoils and Propellers, Lecture Notes*, Department of Ocean Engineering, USA: Massachusetts Institute of Technology.
- Kerwin, Justin E. 1961. *The Solution Of Propeller Lifting Surface Propeller By Vortex Lattice Methods*. Virginia: Massachusett .pp 35-70
- Meiki. *Tidal Energy (Energi Pasang Surut)*. 2 Mei 2014. <http://meikieruputra.blogdetik.com/2012/11/03/tidal-energy-energi-pasang-surut/>
- Rosmani, Mansyur Hasbullah & Suandar Baso. 2013. *Buku Panduan Tugas Perencanaan Propeller*. Makassar : Universitas Hasanuddin.
- Watanabe, E, C.M.Wang, T.Utsunomiya. 2004.*Very Large Floating Structures: Applications, Analysis and Design*. Centre For Offshore Research and Engineering, Singapore: National University of Singapore.
- Yuningsih, Ai & Subaktian Lubis. *Prospek Arus Laut Sebagai Energi* .8 Mei 2014. <http://www.mgi.esdm.go.id/content/prospek-arus-laut-sebagai-energi>
- GET STT-PLN. *Arus Laut Sebagai Sumber Energi Listrik (PLTAL)*. 11 Mei 2014. <http://www.getsttpln.com/2014/03/arus-laut-sebagai-sumber-energi-listrik.html>

