

Desain Kapal Motor Penyeberangan dengan Sistem Penggerak Hibrida untuk Rute Ujung Surabaya-Kamal Bangkalan

Dwi Agustin, Hesty Anita Kurniawati

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: tita@na.its.ac.id

Abstrak—Kondisi Penyeberangan Ujung-Kamal yang semakin sepi penumpang membuat Pengusaha ASDP terus merugi hingga berniat menutup jalur penyeberangan ini. Salah satu faktor penyebab adalah tingginya biaya operasional untuk bahan bakar BBM. Selain itu, Surabaya merupakan salah satu kota dengan tingkat emisi gas buang yang tinggi dari kendaraan bermotor dengan bahan bakar BBM. Jurnal ini bermaksud memberikan solusi untuk mengurangi jumlah emisi gas buang serta bisa menghemat pemakaian bahan bakar BBM dengan memasukkan konsep kapal dengan sistem penggerak hibrida. Jenis hibrida yang digunakan adalah mesin diesel, *hydrogen fuel cell*, dan *solar panel cell*. *Payload* dari Kapal Motor Penyeberangan ini merupakan jumlah pengguna jasa angkutan Ujung-Kamalyang diperoleh dari PT. Angkutan Sungai Danau dan Penyeberangan (ASDP). Kemudian dari jumlah pengguna jasa angkutan dibuat gambar awal untuk menghitung *payload* luasan geladak (geladak penumpang dan kendaraan), sehingga didapatkan ukuran utama kapal dari layout geladak penumpang dan kendaraan. Setelah itu dilakukan perhitungan teknis berupa perhitungan berat, *trim*, *freeboard*, dan stabilitas. Ukuran utama yang didapatkan adalah $L_{pp} = 42$ m; $B = 6,9$ m; $H = 3$ m; $T = 2$ m. Tinggi *freeboard* minimum sebesar 150 mm, besarnya tonnase kapal adalah 295 GT, dan kondisi stabilitas Kapal Motor Penyeberangan memenuhi kriteria *Intact Stability (IS) Code Reg. III/3.1*. Biaya pembangunan kapal baru sebesar Rp 13,173,344,991.91 dengan BEP pada bulan ke-68, sehingga kapal ini layak untuk dibangun.

Kata Kunci—Emisi, Hibrida (*hydrogen fuel cell*, mesin diesel, dan *solar panel cell*), kapal motor penyeberangan, Ujung Kamal.

I. PENDAHULUAN

KOTA Surabaya merupakan salah satu dari empat kota dengan tingkat emisi gas buang yang tinggi menurut data yang dirilis oleh *World Health Organization (WHO)* pada tahun 2008 hingga sekarang, di mana Surabaya memiliki tingkat polusi yang jauh di atas batas aman WHO yaitu nilainya mencapai $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pertahun. Menurut penelitian WHO, banyak kota besar di dunia, termasuk di Indonesia yang memiliki tingkat polusi PM10 rata-rata per tahun yang jauh melebihi batas aman yang ditetapkan organisasi kesehatan dunia ini [1]. Dari sisi akademik, PM10 adalah benda-benda partikulat yang ukurannya kurang dari 10 mikron. Benda-benda partikulat ini hampir mustahil diamati dengan mata telanjang. Manusia hanya bisa melihat benda dengan

berukuran sama atau di atas 40 mikron tanpa bantuan alat seperti mikroskop.

Pada 2009 setelah Jembatan Suramadu dioperasikan, pengguna jasa Ujung-Kamal semakin sepi sehingga membuat Pengusaha ASDP ingin menutup jalur ini. Puncaknya pada 2 Maret 2016 saat tarif Suramadu sudah digratiskan untuk motor dan turun 50% untuk mobil. Sementara Gubernur Jawa Timur menolak untuk menutup jalur penyeberangan Ujung-Kamal karena jalur ini merupakan satu-satunya jalur air yang menghubungkan Pulau Jawa dan Madura.

Untuk mengurangi polusi dan timbulnya emisi gas buang, maka dikembangkan konsep kapal hibrida antara bahan bakar alternatif non-diesel berupa *hydrogen fuel cells*, mesin diesel dan solar panel sebagai daya penggerak kapal. Oleh karena itu, pada Jurnal ini akan dikembangkan konsep Kapal Motor Penyeberangan dengan sistem penggerak hibrida untuk rute Ujung Surabaya-Kamal Bangkalan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Rute Penyeberangan

Rute penyeberangan Ujung-Kamal merupakan jalur penyeberangan antara Pulau Jawa dan Pulau Madura. Penyeberangan antar pulau ini berjarak kurang lebih 3 km dan bisa ditempuh dengan waktu rata-rata selama 30 menit dengan menggunakan kapal penyeberangan dengan kecepatan 10 knot.



Gambar 1. Rute penyeberangan

Menurut PT. Angkutan Sungai Danau dan Penyeberangan (ASDP) Cabang Surabaya (2017), pada jalur penyeberangan Ujung Surabaya-Kamal Bangkalan pada tahun 2017 hanya ada tiga unit kapal tipe KMP yang melayani penyeberangan ini.

Pelabuhan Ujung terletak di kawasan Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya.



Gambar 2. Pelabuhan Ujung Surabaya

Pelabuhan ujung termasuk di dalam kawasan Pelabuhan Tanjung Perak.



Gambar 3. Pelabuhan Kamal Bangkalan

Kondisi lalu lintas penyeberangan di Pelabuhan kamal Bangkalan, Madura dapat dilihat pada Gambar 3. Pada tahun 2017 ada tiga kapal yang melayani penyeberangan di Ujung-Kamal yaitu KMP Gajah Mada, KMP Jokotole, dan KMP Tongkol.

B. Kapal Motor Penyeberangan

Kapal Motor Penyeberangan (KMP) adalah tipe kapal yang digunakan sebagai angkutan penyeberangan antar pulau yang mengangkut kendaraan, barang, dan penumpang. Jangkauan penyeberangan kapal tipe KMP adalah dalam tujuan jarak dekat sehingga sering disebut sebagai transportasi pantai, sungai, dan danau seperti pada Gambar 4 yang diambil dari shippinglineindonesia.com [2].



Gambar 4. Kapal Motor Penyeberangan

C. MARPOL ANNEX VI

Regulasi yang mengatur tentang masalah polusi yang dihasilkan oleh kapal yaitu MARPOL 73/78 oleh *International Maritime Organization* (IMO). MARPOL 73/78 merupakan

regulasi yang bertujuan untuk mencegah atau mengurangi timbulnya polusi yang dihasilkan oleh kapal. Dalam MARPOL 73/78 terdapat ANNEX VI yang mengatur tentang pencegahan dari polusi udara yang dihasilkan kapal. Regulasi dalam ANNEX VI ini secara umum mengatur tentang:

- Menentukan batas dari emisi NOx, SOx dan Particulate Matter (PM dari kapal)
- Pelarangan emisi *Ozone Depleting Substances* (ODS)[3].

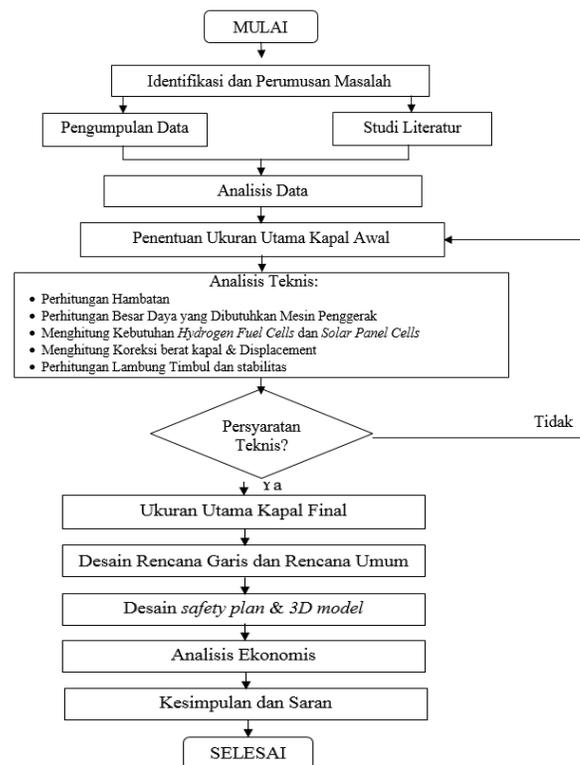
Emisi gas buang dari kapal telah diatur dalam Lampiran VI MARPOL 73/78 Tahun 2006 “Peraturan tentang pencegahan pencemaran udara dari kapal”. Kawasan Kontrol Emisi adalah kawasan dimana diterapkan aturan khusus terkait dengan emisi dari kapal yang diperlukan untuk mencegah, mengurangi dan mengendalikan pencemaran udara dari NOx atau SOx dan bahan lainnya atau ketiga tipe emisi di atas dan keberadaannya berdampak bagi kesehatan manusia dan lingkungan [4].

D. Sistem Hibrida

Kapal penyeberangan dengan sistem penggerak hibrida ini menggunakan tiga jenis hibrida dalam sistem geraknya, yaitu *hydrogen fuel cell*, *solar panel cell*, dan mesin diesel. Tenaga penggeraknya berupa “*a proton exchange membrane fuel cell*” yang mengubah hidrogen menjadi listrik. “*Solar Panels*” akan mengumpulkan sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Juga kapal ini dilengkapi dengan mesin diesel. Mesin diesel, tenaga hidrogen dan solar panel akan digunakan secara bergantian dalam pengoperasiannya[5].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Diagram alir (*flowchart*) metodologi dalam pengerjaan Jurnal ini dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Diagram alir

IV. ANALISIS TEKNIS DAN PEMBAHASAN

A. Penentuan Payload

Dalam penentuan ukuran utama kapal menggunakan metode *forecasting* jangka panjang untuk data terbaru. Adapun faktor-faktor yang digunakan dalam penentuan ukuran utama kapal yaitu jumlah pengguna jasa penyeberangan Ujung-Kamal berupa penumpang, kendaraan dan bagasi.

Tabel 1.
Data Pengguna Jasa Ujung-Kamal

Data Angkutan					
No	Tahun	Penumpang	Roda 2	Roda 4	Bagasi
1	2011	1,821,930	791,146	104,105	52,631
2	2012	1,519,187	733,437	87,714	49,103
3	2013	1,250,759	726,677	92,727	48,069
4	2014	929,024	666,315	96,920	44,841
5	2015	713,258	638,897	83,123	46,851
6	2016	404,580	599,808	83,090	43,552
7	2017	123,829	562,646	79,815	41,970
Total		6,762,566	4,718,927	627,494	327,018
Rata-rata/tahun		966,081	674,132	89,642	46,717

Dari data angkutan rata-rata pertahun pada Tabel 1, selanjutnya akan dihitung rata-rata pengguna jasa penyeberangan Ujung-Kamal perhari. Untuk rencana operasionalnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2.
Perencanaan Operasional Kapal

Jumlah Kapal	3	unit
Jam Operasional	Buka	5:00:00 AM
	Tutup	8:00:00 PM
Perjalanan	0.5	jam/trip
1 kapal	10	trip/hari

Pada Tabel 2 menunjukkan bahwa ada tiga unit kapal yang beroperasi di jalur penyeberangan Ujung-Kamal mulai dari jam 05.00–20.00 WIB. Dalam sehari, setiap kapal akan beroperasi sebanyak 10 kali, di mana dalam satu kali *trip* membutuhkan waktu selama 30 menit.

Jumlah penumpang per kapal untuk satu kali *trip* didapatkan dengan cara membagi nilai rata-rata penumpang dari tahun 2011-2017 dengan jumlah hari dalam satu tahun yaitu 365 hari. Pada Tabel 1 diketahui rata-rata penumpang/tahun adalah 966081 orang, sehingga rata-rata penumpang dalam sehari untuk satu kapal yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata penumpang/tahun} &= 966081 \\ \text{Rata-rata penumpang perhari} &= 966081 : 365 \text{ hari} \\ &= 2647 \text{ penumpang} \end{aligned}$$

Selanjutnya dihitung jumlah penumpang per kapal untuk satu kali *trip*, di mana kapal yang beroperasi sebanyak unit unit dan setiap satu kapal melakukan sepuluh kali *trip*. Sehingga untuk satu kali *trip*, kapal bermuatan 88 penumpang. Dengan cara yang sama, maka didapatkan jumlah pengguna jasa untuk kendaraan roda dua, roda empat, dan bagasi.

Tabel 3.
Payload Luasan Deck

Perhitungan *payload* akhir didapat dari perhitungan luasan geladak penumpang dan kendaraan, di mana jumlah muatan

Perhitungan Payload Luasan Deck					
Jumlah komplemen	15			Orang	
Penumpang	90			Orang	
Penjaga Stand makanan	4			Orang	
Muatan	Asumsi Beban (ton)	Luas per unit (m2)	Berat/m 2	Luasan Total (m2)	Berat Total (ton)
Motor	0.2	0.99	0.202	85.8	17.3333
Mobil	5	4.5	1.111	33.3	37.0000
Truk	40	15.3	2.614	30.6	80.0000
Penumpang	0.075	0.16	0.469	14.4	6.7500
Crew	0.075	0.16	0.469	2.4	1.1250
Penjaga stand	0.075	0.16	0.469	0.64	0.3000
Bagasi					4.2700
Barang pnp	0.005				0.4500
Barang crew	0.005				0.075
TOTAL PAYLOAD LUASAN DECK				167.14	147.3033

yang diplot pada gambar menggunakan data perhitungan muatan pada Tabel 1. Tujuan menghitung *payload* luasan geladak yaitu untuk mencari berat per luasan m². Sehingga didapatkan total *payload* luasan geladak sebesar 147,3033 ton ini dilakukan pembulatan keatas sebesar 2 *digit*. Jadi *payload* dari Kapal Motor Penyeberangan ini adalah 148 Ton.

B. Penentuan Ukuran Utama

Setelah didapatkan hasil nilai *payload* dari luasan geladak, selanjutnya digambar untuk pentaan kursi penumpang serta kendaraan di kapal. Ukuran standard kursi, jarak antar kursi, serta lebar akses jalan yang sudah disesuaikan dengan aturan Surat Dirjen Perhubungan Darat No. AP.005/3/13/DPRD/1994 [6].

Untuk penataan kendaraan dan pengikatan kendaraan di atas kapal sudah disesuaikan dengan aturan Keputusan Menteri Perhubungan 115 Tahun 2016 tentang *Lashing* [7].

Ukuran utama pada kapal ini ditentukan berdasarkan jumlah muatan dan disesuaikan dengan aturan penempatan kendaraan di atas kapal penyeberangan. Sehingga didapatkan ukuran utama kapal sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Lpp &: 42 \text{ m} \\ Lwl &: 43.68 \text{ m} \\ B &: 6.9 \text{ m} \\ H &: 3 \text{ m} \\ T &: 2 \text{ m} \end{aligned}$$

Ukuran utama tersebut kemudian disesuaikan dengan batasan-batasan perbandingan ukuran utama sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L/B &= 6.09 \quad 5.3 < L/B < 8 \\ B/T &= 3.45 \quad 3.2 < B/T < 4 \\ L/T &= 21.00 \quad 10 < L/T < 30 \\ L/16 &= 2.63 \quad H > L/16 \end{aligned}$$

Dari pengecekan batasan-batasan perbandingan ukuran utama tersebut dapat disimpulkan bahwa ukuran utama kapal memenuhi karena hasil perbandingan masuk dalam *range* yang telah ditentukan [8].

C. Perhitungan Koefisien Bentuk Kapal

Setelah didapatkan ukuran utama kapal, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah melakukan perhitungan awal. Perhitungan awal meliputi perhitungan *froud number*, perhitungan *coefficient* (C_b , C_m , C_p , dan C_{wp}) serta *displacement*.

D. Perhitungan Coefficient Ukuran Utama Kapal

$$\begin{aligned} F_n &= 0.248 \\ C_b &= 0.637 \\ C_m &= 0.98 \\ \nabla &= 383.97 \text{ m}^3 \\ \Delta &= 393.56 \text{ ton} \end{aligned}$$

E. Perhitungan Hambatan dan Propulsi

Perhitungan hambatan total dilakukan dengan metode Holtrop sehingga menghasilkan nilai hambatan sebagai berikut.

Tabel 4.
Hambatan Kapal dan propulsi

Rekap Hambatan dan Propulsi		
Rt	17.143	kN
EHP	88.18	kW
DHP	147.579	kW
BHP	176.714	kW

F. Pemilihan Mesin Induk

Mesin induk yang digunakan pada Kapal Motor Penyeberangan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5.
Spesifikasi Mesin Induk

Mesin Induk		
Tipe	6NY16-UT	YANMAR
Daya	331	kW
RPM	1350	rpm
Berat	2880	kg

G. Perhitungan Berat Kapal

Berat kapal terdiri dari 2 komponen, yaitu komponen DWT (dead Weight tonnage) dan komponen LWT (Light Weight tonnage).

Tabel 6.
Total Berat DWT dan LWT

DWT	148.475	ton
LWT	227.202	Ton
Berat	375.676	ton
Displasemen	393.56	ton
Selisih	17.89	ton
Margin	4.5%	

H. Perhitungan Titik Berat Kapal

Perhitungan titik Berat Kapal terdiri dari titik berat DWT dan titik berat LWT.

I. Perhitungan Freeboard

Kapal Motor Penyeberangan dengan panjang kurang dari 500 GT, maka harus menggunakan aturan *Non-Convention Vessel Standart (NCVS) Indonesian Flagged* yang dikeluarkan oleh Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. Berikut ini adalah input awal yang diperlukan untuk menghitung *freeboard*. [8].

Berikut ini adalah hasil perhitungan *freeboard* Tabel 7.

Tabel 7.
Hasil Perhitungan Freeboard

Lambung Timbul	Nilai	Satuan
Lambung Timbul yang Syaratkan	0.15	m
Lambung Timbul Sebenarnya Kondisi	1.0	m
	diterima	

J. Perhitungan Trim

Dengan menggunakan kriteria NCVS, di mana trim kapal tidak boleh melebihi nilai $L_{pp}/50$. Untuk hasil nilai trim dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8.
Nilai Trim

No	Kondisi	Batasan	Nilai	Status
1	Loadcase 1	0.84	0.64	Diterima
2	Loadcase 2	0.84	0.796	Diterima
3	Loadcase 3	0.84	0.813	Diterima
4	Loadcase 4	0.84	0.688	Diterima
5	Loadcase 5	0.84	0.446	Diterima
6	Loadcase 6	0.84	0.795	Diterima

K. Perhitungan Stabilitas

Kriteria kondisi pemuatan (*loadcase*) yang digunakan pada perhitungan ini mengacu pada *Intact Stability (IS) Code Ch. III/3.5* [9].

Tabel 9.
Perhitungan Stabilitas

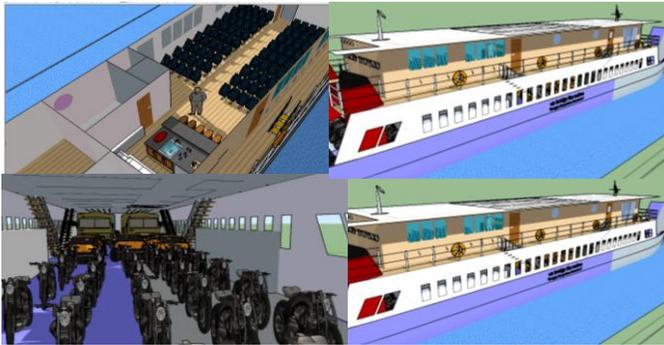
Data	e_{0-30°	e_{0-40°	e_{30-40°	h_{30°	θ_{max}	GM ₀
LC 1	21.49	38.34	16.845	3.174	82.7	2.738
LC 2	20.22	36.09	15.87	3.091	84.5	2.584
LC 3	21.06	37.56	16.49	3.11	82.7	2.68
LC 4	23.07	40.28	17.21	3.313	87.3	2.969
LC 5	21.19	37.6	16.4	3.176	84.5	2.711
LC 6	23.97	42.03	18.054	3.3	84.5	3.061
Criteria Intact Stability	$\geq 3,151$	$\geq 5,1566$	$\geq 1,7189$	$\geq 0,2$	≥ 25	$\geq 0,15$
Kondisi	OK	OK	OK	OK	OK	OK

KMP TWINS merupakan tipe kapal yang mengangkut kendaraan beserta muatannya dan penumpang. Sehingga kondisi pemuatannya sama dengan kapal penumpang barang. Kondisi pemuatan untuk kapal penumpang barang adalah sebagai berikut:

L. Pembuatan Rencana Garis

Setelah semua perhitungan selesai, langkah selanjutnya adalah pembuatan Rencana Garis atau *Lines Plan*.

N. Gambar 3D



Gambar 8. 3D Kapal Motor Penyeberangan

Pada Gambar 8 menunjukkan gambar kapal tampak samping, ruang geladak penumpang, serta geladak kendaraan.

V. ANALISIS EKONOMIS

A. Biaya Pembangunan

Biaya pembangunan kapal terdiri dari *weight cost* (biaya baja kapal, peralatan dan perlengkapan, serta permesinan kapal) dan *non weight cost* serta koreksi biaya pembangunan. Setelah dihitung didapatkan biaya pembangunan sebesar Rp 13,173,344,991.91 dengan nilai tukar USD terhadap Rupiah senilai Rp 13.364 pada 16 Juni 2017.

B. Biaya Operasional

Biaya operasional Kapal Motor Penyeberangan sebesar Rp 2,402,574,008 per tahun.

C. Estimasi Keuntungan dan BEP

Keuntungan bersih per tahun sebesar Rp 194,982,863.52 dengan waktu balik modal pada bulan ke-68 atau tahun ke-6.

D. Harga Tiket Penyeberangan

Harga tiket kapal hibrida lebih murah 30% dari kapal penyeberangan yang sudah beroperasi di Ujung-Kamal. Di mana nilai investasi keuntungan sebesar 13%.

VI. KESIMPULAN

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian maka kesimpulan dari Jurnal ini adalah sebagai berikut:

1. Penentuan ukuran utama KMP TWINS berdasarkan jumlah pengguna jasa dari Penyeberangan Ujung-Kamal. Dari data tersebut, kemudian dibuat *layout* awal dan didapatkan *payload* 148 Ton.

Ukuran Utama KMP TWINS yang didesain yaitu:

- Lpp (Panjang) = 42 m
- B (Lebar) = 6.9m
- H (Tinggi) = 3 m
- T (Sarat) = 2 m

2. Desain Kapal Motor Penyeberangan dengan sistem penggerak hibrida untuk rute Ujung Surabaya-Kamal Bangkalan bisa menghemat konsumsi bahan bakar, di mana kebutuhan gas H₂ per trip adalah 0.09 kg/trip (1 kg gas

hidrogen dengan isi 40 L bisa untuk pemakaian 11 kali trip) serta tidak menimbulkan emisi gas buang pada saat pemakaian bahan bakar hidrogen. Sedangkan 54 unit panel surya dapat menghasilkan daya listrik sebesar 18 kW dengan waktu pengisian baterai selama 3 jam sehingga menghasilkan daya listrik total sebesar 54 kWh yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik di kapal untuk 2 kali *trip*.

3. Desain *Lines Plan*, *General Arrangement*, *Safety Plan*, dan *3D Model* telah dibuat.
4. Berdasarkan Analisis Ekonomis yang dilakukan, didapatkan biaya investasi pembangunan KMP TWINS sebesar Rp 13,173,344,991.91. Nilai investasi kelayakan pembangunan kapal sebesar 13% dengan harga tiket 30% lebih murah dibandingkan dengan Kapal Motor Penyeberangan yang sudah beroperasi di Ujung-Kamal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Angkutan Sungai Danau dan Penyeberangan (ASDP) Cabang Surabaya yang telah memberikan data angkutan di Penyeberangan Ujung-Kamal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Keuangan, "Menggagas Pajak Emisi Gas Buang," 2015. [Online]. Available: <http://www.kemenkeu.go.id/Artikel/menggagas-pajak-emisi-gas-buang>.
- [2] F. Rohmadhana, "Analisis Teknis dan Ekonomis Konversi Landing Craft Tank (LCT) Menjadi Kapal Motor Penyeberangan (KMP) Tipe Ro-ro untuk Rute Ketapang (Kabupaten Banyuwangi) – Gilimanuk (Kabupaten Jember)," *Publ. Ilm. Online Mhs. ITS*, vol. 5, no. 2, 2016.
- [3] H. A. Kurniawati, *Statutory Regulation*. Surabaya, 2013.
- [4] P. N. 29, *Lampiran VI MARPOL 73/78 Peraturan Tentang Pencegahan Pencemaran Udara dari Kapal*. 2012.
- [5] L. Prasetyo, "Desain Eco-Friendly Boat Dengan Sumber Energi Hydrogen Fuel Cell Untuk Wisata Kali Mas Surabaya," *Publ. Ilm. Online Mhs. ITS*, vol. 4, no. 2, 2015.
- [6] D. P. Darat, *Surat Keputusan Dirjen Perhubungan Darat. No. AP.005/3/13/DPDRD/1994*. 1994.
- [7] M. Pehubungan, *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No 115 "Tatacara Pengangkutan Kendaraan di Atas Kapal."* 2016.
- [8] E. V Lewis, *Principle of Naval Architecture (2nd ed., Vol. 2)*. Jersey: SNAME, 1988.
- [9] IMO and I. Resolution, *Intact Stability (IS) Code-Intact Stability for All Types of Ships*.