

# Analisis Geometri dan Konfigurasi Kolom-Ponton terhadap Intensitas Gerakan dan Stabilitas *Semisubmersible*

Maulana Hikam, Wisnu Wardhana, Imam Rochani

Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: wisnu@oe.its.ac.id

**Abstrak**—Tugas Akhir ini bertujuan untuk mengetahui konfigurasi dan geometri yang memiliki intensitas gerakan minimum dan stabilitas *semisubmersible* yang optimal. Konfigurasi acuan yang digunakan adalah *Essar Wildcat Semisubmersible* yang kemudian divariasikan jumlah kolom, diameter kolom, dan dimensi ponton. Dari hasil permodelan yang dibantu dengan MOSES variasi intensitas gerakan yang minimal didapatkan Variasi 5 dengan jumlah kolom 8 buah; OD Besar = 4,25 m; OD Kecil = 3,75 m; dimensi ponton 112 x 6,75 x 6,71 m. Hasil pemodelan yang memberikan nilai respon struktur yang paling minimum adalah Variasi V yang dengan nilai respon gerak *heave* minimum pada arah pembebanan 0°, 45°, 90°, 135°, dan 180° berturut-turut 0,263 m; 0,259 m; 0,225 m; 0,255 m; dan 0,255 m. Demikian pula untuk respon gerak *roll* berturut-turut 0,006 deg/m; 0,257 deg/m; 0,364 deg/m; 0,256 deg/m; dan 0,006 deg/m serta respon gerak *pitch* 0,409 deg/m; 0,269 deg/m; 0,02 deg/m; 0,279 deg/m; dan 0,419 deg/m. Untuk analisis stabilitas pada kondisi *intact* Variasi V juga memberikan stabilitas yang baik yang ditunjukkan dengan perbandingan antara nilai *Righting Moment* dan *Wind Heeling Moment* atau K yang nilainya harus lebih dari 1,3 sebagaimana disyaratkan dalam standar.

**Kata kunci** : *semisubmersible*, kolom, ponton, spektra respon, stabilitas *intact*

## I. PENDAHULUAN

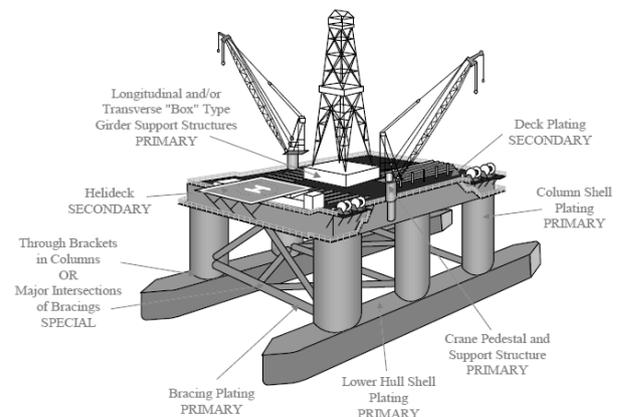
Energi minyak dan gas bumi masih menjadi andalan utama perekonomian Indonesia, baik sebagai penghasil devisa maupun pemasok kebutuhan energi dalam negeri. Pembangunan prasarana dan industri yang sedang giat-giatnya dilakukan di Indonesia, membuat pertumbuhan konsumsi energi rata-rata mencapai 7% dalam 10 tahun terakhir. Peningkatan yang sangat tinggi, melebihi rata-rata kebutuhan energi global, mengharuskan Indonesia untuk segera menemukan cadangan migas baru, baik di Indonesia maupun ekspansi ke luar negeri. Cadangan terbukti minyak bumi dalam kondisi *depleting*, sebaliknya gas bumi cenderung meningkat. Perkembangan produksi minyak Indonesia dari tahun ke tahun mengalami penurunan, sehingga perlu upaya luar biasa untuk menemukan cadangan-cadangan baru dan peningkatan produksi [1].

Potensi sumber daya minyak dan gas bumi Indonesia masih cukup besar untuk dikembangkan terutama di daerah-daerah terpencil, laut dalam, sumur-sumur tua dan kawasan Indonesia Timur yang relatif belum dieksplorasi secara intensif. Sumber-sumber minyak dan gas bumi dengan tingkat kesulitan eksplorasi terendah praktis kini

telah habis dieksploitasi dan menyisakan tingkat kesulitan yang lebih tinggi [2].

Salah satu alternatif yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan di atas adalah melakukan ekspansi eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi ke laut dalam. Hal tersebut tentu membawa konsekuensi terhadap pengembangan teknologi pengeboran minyak di laut dalam, salah satunya adalah penggunaan struktur terapung yang memiliki kemampuan bertahan beroperasi pada laut dalam dan dalam kondisi ekstrem.

*Semisubmersible* merupakan salah satu jenis bangunan laut terapung yang banyak dioperasikan dalam aktifitas eksplorasi dan eksploitasi migas, khususnya di perairan dalam. Konfigurasi *semisubmersible* yang khas menyebabkan pengurangan yang cukup signifikan pada gaya gelombang yang bekerja, sehingga gerakannya pada saat berada dalam medan gelombang akan relatif kecil [3]. Kajian menyangkut gerakan *semisubmersible* di atas gelombang telah banyak dilakukan, namun pembahasan efek gerakan terhadap respons strukturnya masih relatif terbatas. Tugas akhir ini dilakukan dalam rangka melengkapi keterbatasan tersebut, yakni mengembangkan suatu kajian tentang pengaruh beban gelombang dan gerakan terhadap respons struktur. Prosedur kajian dalam tugas akhir ini diawali analisis hidrodinamis untuk mendapatkan respon gerakan dan tekanan dinamis akibat adanya eksitasi gelombang haluan berdasarkan teori difraksi yang diakomodasi dalam perangkat lunak MOSES.



Gambar 1 *Semisubmersible*  
(ABS Mobile Offshore Drilling Units 2012)

Dalam desain sebuah semi-submersible untuk menjamin performanya ada beberapa aspek konfigurasi struktur yang harus diperhatikan, diantaranya:

- a. gaya melintang pada struktur geladak/topside, pontoon, kolom/column, dan elemen cabang (bracing);
- b. integrasi tata letak peralatan (layout equipment) dengan struktur kotak geladak, kolom, maupun pontoon,
- c. detail sambungan rentan terhadap tegangan yang relatif tinggi dan aspek kelelahan (fatigue aspect);
- d. dari segi material, diperlukan baja berkekuatan tinggi untuk mengurangi berat struktur (high tensile steel);
- e. terdapat air gap antara permukaan air dan geladak yang amat mempengaruhi stabilitas semisubmersible secara keseluruhan akibat hempasan gelombang.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan studi literatur dan mengumpulkan data-data terlebih dahulu. Data semisubmersible yang dirancang mengacu pada Essar Wildcat semisubmersible yang telah dianalisis oleh Global Maritime Ltd [2]. Berikut adalah data-data yang digunakan untuk penelitian :

Tabel 1 Dimensi Essar Widcat

No	Parameter	Dimensi
1	Length Overall	108,2 m
2	Lebar (Moulded)	71,8 m
3	Tinggi (Moulded)	15,1 m
4	Diameter Kolom Besar	7,92 m
5	Diameter Kolom Kecil	5,79 m
No	Parameter	Dimensi
6	Jarak ke Upper Deck	39,63 m
7	Jarak ke Main Deck	36,58 m
8	Tinggi Ponton	6,71 m
9	Sarat (Operasi)	21,34 m

Tabel 2 Dimensi Mooring Line

No	Parameter	Dimensi
1	Tipe Rantai	Studlink Chain R4
2	Ukuran Rantai	76 mm
3	Panjang Rantai	1200 m
4	Chain Break Load	611,693 ton
5	Berat Rantai di Udara	0,126 ton / m
6	Berat Rantai di Air	0,011 ton / m

Tabel 3 Data Metaosean Bawal-Tembang

Parameter	Periode Ulang 10th
<b>Gelombang:</b>	
Tinggi Gelombang Signifikan ( $H_s$ )	4,6 m
Periode Puncak Gelombang ( $T_p$ )	10,1 s
Tinggi Gelombang Signifikan ( $H_{max}$ )	8,4 m
Associated Period ( $T_m$ )	9,3 s
<b>Arus :</b>	
Kecepatan di Permukaan	0,85 m/s
Kecepatan di Pertengahan Kedalaman	0,66 m/s
Kecepatan di Dekat Dasar	0,48 m/s
<b>Angin</b>	
Kecepatan Angin Selama 1 Menit	21,36 m/s

Setelah data-data diperoleh, kemudian dilakukan pemodelan numerik. Pemodelan pertama dilakukan dengan memodelkan Essar Wildcat sebagai model acuan. Proses selanjutnya adalah melakukan pemodelan variasi berdasarkan parameter geometri pada ABS MODU 2012 dan kemudian dilakukan validasi model berdasarkan data hidrostatik yang diperoleh. Parameter geometrik dan hasil validasi tersaji dalam tabel berikut :

Tabel 4 Parameter Geometrik

Parameter Geometrik	Rentang Nilai Izin
$V_{PTN}/V_{TOT}$	0,48 - 0,58
$A_{WP}/(V_{COL})^{2/3}$	0,72 - 1,00
$2 I_{WP}/V_{COL} L_{PTN}$	0,40 - 0,70

Tabel 5 Variasi Dimensi

Variasi	Kolom		Ponton	
	Parameter	Unit [m]	Parameter	Unit [m]
I	Jumlah	12 buah	Panjang	110
	OD Besar	3,96	Lebar	5,49
	OD Kecil	2,89	Tinggi	6,71
II	Jumlah	8 buah	Panjang	112
	OD Besar	3,96	Lebar	6,00
	OD Kecil	3,96	Tinggi	6,71
III	Jumlah	4 buah	Panjang	114
	OD Besar	4,25	Lebar	6,25
	OD Kecil	3,75	Tinggi	6,71
IV	Jumlah	12 buah	Panjang	112
	OD Besar	3,96	Lebar	6,00
	OD Kecil	3,96	Tinggi	6,71
V	Jumlah	8 buah	Panjang	114
	OD Besar	4,25	Lebar	6,25
	OD Kecil	3,75	Tinggi	6,71
VI	Jumlah	4 buah	Panjang	114
	OD Besar	4,25	Lebar	6,25
	OD Kecil	3,75	Tinggi	6,71

Tabel 6 Parameter Geometrik Model

Parameter Geometrik	Nilai						Ket.
	I	II	III	IV	V	VI	
$V_{PTN}/V_{TOT}$	0,54	0,52	0,56	0,52	0,51	0,55	Memenuhi
$A_{WP}/(V_{COL})^{2/3}$	0,87	0,92	0,95	0,89	0,93	0,94	Memenuhi
$2I_{WP}/V_{COL} L_{PTN}$	0,65	0,67	0,69	0,62	0,60	0,59	Memenuhi

Tabel 7 Koreksi Keluaran MOSES dengan Data

Displacement		Error (Error ≤ 0,05)
Data	Output MOSES	
24173 ton	23244,0 ton	0,0384
24173 ton	23822,0 ton	0,0145
24173 ton	23029,6 ton	0,0473
24173 ton	24890,0 ton	0,0296
24173 ton	23768,0 ton	0,0168
24173 ton	22989,0 ton	0,0489

Hasil validasi menyatakan model layak untuk dianalisis. Kemudian analisa dilakukan dengan analisa dinamis dalam *frequency domain*. Pemodelan pada sistem tambat *semisubmersible* perlu dilakukan agar analisis tentang respon gerak objek lebih mendekati keadaan sebenarnya. Analisis ini akan digunakan untuk menghitung RAO dari *semisubmersible*. Persamaan RAO adalah sebagai berikut [4] :

$$RAO = \left( \frac{R_a}{\zeta_a} \right) \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

- R<sub>a</sub> = amplitudo struktur (m atau derajat)
- ζ<sub>a</sub> = amplitudo gelombang (m)

Persamaan spektrum ITTC yang digunakan adalah sebagai berikut [5] :

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left[ -\frac{4\alpha g^2 \omega^4}{H_s^2} \right] \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

- g = percepatan gravitasi
- ω = frekuensi gelombang (rad/sec)
- H<sub>s</sub> = tinggi gelombang signifikan

Spektra respon digunakan untuk mengetahui karakteristik gerakan barge di atas gelombang acak. Besarnya adalah sebagai berikut [6] :

$$S_R = S_{\zeta}(\omega_{\zeta}) [RAO]^2 \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

- S<sub>R</sub> = Spektra respon
- S<sub>ζ</sub>(ω<sub>ζ</sub>) = Spektrum gelombang

Setelah melakukan perhitungan spektra respon, maka dilakukan perhitungan stabilitas pada kondisi operasi. Stabilitas sangat dipengaruhi oleh lengan pengembali (GZ). Besar dari GZ adalah [7] :

$$GZ = GM \times \sin \beta \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

- GZ = lengan pengembali (m)
- GM = jari-jari *metacentre* (m)
- β = sudut keolengan (derajat)

Kemudian dapat diketahui dengan momen pengembali (ton.m). Besar dari momen pengembali adalah [8] :

$$\text{Moment penegak} = W \times GZ \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

- W = displacement kapal (ton)

III. HASIL DAN DISKUSI

Berikut adalah hasil yang telah didapat dari analisis yang telah dilakukan pada enam variasi geometri dan konfigurasi kolom-ponton. Hasilnya berupa spektrum respon ketika kondisi operasi dan stabilitas *semisubmersible* pada kondisi *intact*.

Tabel 8 Peak RAO Pada Seluruh Variasi

Variasi	Heading [deg]	Heave [m/m]	Roll [deg/m]	Pitch [deg/m]
I	0	0,883	0,014	0,432
	45	0,885	0,295	0,300
	90	0,899	0,401	0,134

Variasi	Heading [deg]	Heave [m/m]	Roll [deg/m]	Pitch [deg/m]
	135	0,911	0,300	0,310
	180	0,911	0,012	0,451
II	0	1,417	0,043	0,501
	45	1,412	0,268	0,321
	90	0,968	0,373	0,072
	135	0,979	0,264	0,356
	180	1,000	0,059	0,466
III	0	0,947	0,023	0,467
	45	0,975	0,282	0,311
	90	0,933	0,386	0,094
	135	0,945	0,281	0,333
	180	0,955	0,030	0,455
IV	0	0,683	0,014	0,232
	45	0,685	0,095	0,100
	90	0,699	0,201	0,094
	135	0,711	0,100	0,110
	180	0,711	0,002	0,251
V	0	1,017	0,002	0,301
	45	1,012	0,168	0,121
	90	0,568	0,173	0,052
	135	0,579	0,094	0,256
	180	0,599	0,059	0,266
VI	0	0,747	0,006	0,097
	45	0,775	0,092	0,111
	90	0,733	0,126	0,054
	135	0,745	0,091	0,098
	180	0,755	0,005	0,355

Tabel 9 Respon Rata-Rata Gerakan Heave

Arah (derajat)	Respon Rata-rata Gerakan Heave (m)					
	I	II	III	IV	V	VI
0	0,293	0,274	0,267	0,169	0,150	0,277
45	0,273	0,271	0,277	0,197	0,250	0,266
90	0,265	0,251	0,258	0,208	0,134	0,268
135	0,271	0,243	0,257	0,248	0,250	0,257
180	0,289	0,248	0,268	0,233	0,127	0,268

Tabel 10 Respon Signifikan Gerakan Heave

Arah (derajat)	Respon Signifikan Heave (m)					
	I	II	III	IV	V	VI
0	0,562	0,542	0,53	0,526	0,263	0,539
45	0,554	0,534	0,522	0,518	0,259	0,529
90	0,489	0,469	0,457	0,453	0,225	0,504
135	0,487	0,467	0,455	0,451	0,255	0,509
180	0,546	0,526	0,514	0,51	0,255	0,524

Tabel 11 Respon Rata-Rata Gerakan Roll

Arah (derajat)	Respon Rata-rata Gerakan Roll (derajat)					
	I	II	III	IV	V	VI
0	0,004	0,003	0,001	0,0018	0,0009	0,011
45	0,166	0,165	0,173	0,068	0,159	0,164
90	0,236	0,237	0,235	0,239	0,229	0,232
135	0,167	0,169	0,171	0,166	0,154	0,160
180	0,003	0,002	0,005	0,009	0,001	0,014

Tabel 12 Respon Signifikan Gerakan Roll

Arah (derajat)	Respon Signifikan Roll (derajat)					
	I	II	III	IV	V	VI
0	0,008	0,012	0,014	0,011	0,006	0,020
45	0,281	0,278	0,271	0,262	0,257	0,269
90	0,383	0,381	0,386	0,375	0,364	0,370
135	0,284	0,279	0,280	0,269	0,256	0,267
180	0,007	0,011	0,019	0,012	0,006	0,026

Tabel 13 Respon Signifikan Gerakan Pitch

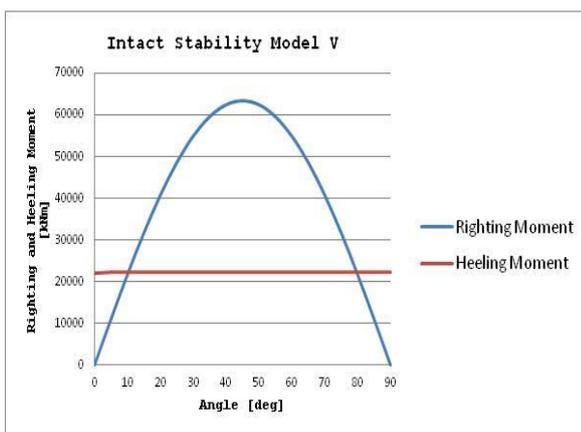
Arah (derajat)	Respon Signifikan Gerakan Pitch (derajat)					
	I	II	III	IV	V	VI
0	0,240	0,255	0,268	0,241	0,235	0,272
45	0,160	0,162	0,169	0,173	0,152	0,178
90	0,009	0,010	0,017	0,020	0,005	0,023
135	0,166	0,172	0,181	0,69	0,157	0,184
180	0,248	0,252	0,251	0,246	0,239	0,259

Tabel 14 Respon Signifikan Gerakan Pitch

Arah (derajat)	Respon Signifikan Gerakan Pitch (derajat)					
	I	II	III	IV	V	VI
0	0,411	0,423	0,435	0,417	0,409	0,447
45	0,284	0,287	0,279	0,285	0,269	0,298
90	0,023	0,025	0,027	0,028	0,020	0,039
135	0,291	0,289	0,295	0,298	0,279	0,316
180	0,423	0,430	0,428	0,421	0,419	0,434

Pada gerakan *pitch* dan *roll*, tinggi rata-rata tertinggi terjadi ketika arah gelombang yang tegak lurus dengan *semisubmersible*. Dari hasil analisis didapatkan bahwa geometri dan konfigurasi pada Variasi V memberikan harga intensitas gerakan yang minimal daripada konfigurasi lainnya. Hal ini disebabkan oleh dimensi kolom yang minimal serta didukung dimensi ponton yang sesuai dengan arah datang pembebanan gelombang sehingga respon yang diterima oleh *vessel* menjadi minimal.

Adapun analisis stabilitas pada kondisi *intact* untuk struktur *semisubmersible* adalah sebagai berikut yang tergambar dalam kurva stabilitas di bawah ini :



Pemeriksaan stabilitas struktur *semisubmersible* dilakukan dengan membandingkan luasan kurva di bawah *Righting Moment* dan luasan di bawah Kurva *Heeling Moment*. Data *Righting Arm* didapatkan dari hasil perhitungan *intact stability* dengan menggunakan perangkat lunak MOSES Ver. 7.0. Nilai lengan pengembali (*righting arm*) dikalikan dengan *displacement* setiap model sehingga didapatkan besarnya momen pengembali (*righting moment*) pada setiap sudut oleng.

Data *heeling moment* didapatkan dari perhitungan manual momen gaya angin untuk kecepatan 23 m/s atau pada kondisi operasi. Struktur dinyatakan baik apabila perbandingan antara luasan kurva *righting moment* dengan luasan kurva *heeling moment* memiliki nilai yang lebih dari 1,3 ( $K > 1,3$ ).

KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil perhitungan dan analisis seluruh model pada bab sebelumnya dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- Geometri kolom dan ponton berpengaruh terhadap intensitas gerakan *semisubmersible* disebabkan oleh :
  - Kolom didesain untuk menyediakan luasan bidang garis air yang minimum untuk mengantisipasi seluruh kondisi pembebanan yang diterima struktur di bawah garis air. Sehingga semakin kecil diameter semakin kecil pula *water plane area* yang berarti bahwa gaya yang diterima oleh *semisubmersible* akibat eksitasi beban-beban lingkungan juga kecil sebagaimana pada Variasi ke-5;
  - Jumlah kolom secara langsung berpengaruh terhadap jarak antar kolom yang didesain untuk dapat menopang beban pada *topside*. Sehingga ukuran diameter dan jumlah kolom dikonfigurasi sedemikian rupa hingga mampu menopang kekuatan yang berada pada *topside module*;
  - Ponton didesain untuk menyediakan gaya angkat ke atas yang cukup untuk dapat menopang seluruh berat struktur dan beban-beban vertikal atau aksial serta untuk meminimalkan gerakan *heave*.
- Geometri kolom dan ponton berpengaruh terhadap stabilitas *semisubmersible* disebabkan oleh :
  - Kolom adalah bagian yang memberikan kestabilan struktur *semisubmersible* secara keseluruhan dengan adanya *air gap*. Stabilitas *semisubmersible* yang diatur dalam *codes ABS Mobile Offshore Drilling Units 2012* hanya ditentukan oleh gaya angin pada bagian di atas garis air dan *topside module*. Gaya angin menyebabkan adanya *Overtuning Moment* atau *Heeling Moment* dan secara alamiah bangunan apung akan memberikan momen pengembali (*Righting Moment*). *Air gap* adalah lengan pengembali dari momen tersebut. Sehingga desain *air gap* yang proporsional memberikan stabilitas yang maksimal pada *semisubmersible*;
  - Letak ponton yang terendam 23,5 m di bawah permukaan air memberikan redaman terhadap gerakan *heave*. Mekanisme meredam gerak *heave* terjadi dikarenakan gaya-gaya vertikal dari bawah akan mengenai luasan yang relatif sempit ada pada bagian bawah ponton. Sehingga dengan

meminimalisasi luasan proyeksi gaya angkat ke atas pada ponton dapat mengurangi gerakan *heave* dari struktur terapung. Selain itu, panjang ponton yang disesuaikan dengan panjang gelombang akan turut mengurangi gaya seret akibat gelombang dan arus yang tentu berpengaruh terhadap intensitas gerakan dan stabilitas *semisubmersible*.

3. Hasil analisis numerik intensitas gerakan dan stabilitas untuk variasi tersebut adalah :
  - a. *Displacement* sebesar 23768 ton;
  - b. Respon gerakan minimal 1,017; 1,012; 0,568;0,579; 0,599 m untuk *heave*;
  - c. Respon gerakan minimal 0,002 ; 0,168; 0,173; 0,094; 0,059 deg/m untuk *roll*;
  - d. Respon gerakan minimal 0,301; 0,121; 0,052; 0,256; 0,266 deg/m untuk *pitch*;
  - e. *Intact Stability* yang didapat dari rasio antara luasan di bawah Kurva Momen Pengembali (*Righting Moment*) dan Kurva Momen Olen (*Heeling Moment*) yaitu nilai  $K = 1,93$  pada sudut diizinkan karena nilai  $K > 1,3$ .

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih terdalam terhaturkan kepada orang tua penulis, Alm. Dr. Irwan Gunawan, S.E., M.P.,M.Sc. dan Dra. Is Herawati. Terima kasih juga diberikan kepada Dr.Eng Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng sebagai Kepala Laboratorium Operasional Riset dan Perancangan yang telah menyediakan tempat untuk melakukan penelitian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Biro Riset LM FE UI, Analisis Industri Minyak Dan Gas Di Indonesia: Masukan Bagi Pengelola BUMN, LM FE UI, Jawa Barat, (2010).
- [2] Global Maritime Indonesia Ltd., Engineering Report : “Dynamical Analysis Of Essar Wildcat”, (2011).
- [3] Kurian, V.J., C.Y. Ng, Yassir,M.A., “Response Of Semisubmersible Platform By Morison Equation And Diffraction Theory”, *Conference on Buildings and Infrastructure Technology*, Malaysia (2010).
- [4] Chakrabarti, S.K., “Hydrodynamics of Offshore Structures”, Computational Mechanics Publications Southampton. Boston, USA, (1978).
- [5] Rameswar, B., “Dynamic of Marine Vehicles”, John Wiley and Sons Inc, (1978).
- [6] Murtedjo, M., Teori Bangunan Apung, Surabaya
- [7] Tupper, Eric., “Introduction to Naval Architecture”, Butterworth Heinemann : Oxford, (2002).
- [8] ABS MODU, “Rules for Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units”, (2012).