

**ANALISA PELUNCURAN STRUKTUR JACKET NC3 CPP (CENTRAL  
PROCESSING PLATFORM) DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
SIMULASI NUMERIK**

*(Studi Kasus NC3 Gas Field, SK316 Block Bintulu Sarawak Malaysia)*

**SKRIPSI**

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Guna Meraih Gelar Sarjana Teknik  
(S.T) pada Program Studi Teknik Kelautan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin  
Makassar*



**OLEH:**

**MUHAMMAD SAEFUL MH  
D321 15 003**

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2019**





**LEMBAR PENGESAHAN**

Judul:

**ANALISA PELUNCURAN STRUKTUR *JACKET* NC3 CPP (*CENTRAL PROCESSING PLATFORM*) DENGAN MENGGUNAKAN METODE SIMULASI NUMERIK**

*(Studi Kasus NC3 Gas Field, SK316 Block Bintulu Sarawak Malaysia)*

Oleh:

**MUHAMMAD SAEFUL MH**  
D321 15 003

Skripsi ini telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat guna mencapai gelar sarjana pada Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.

Gowa, Desember 2019

Menyetujui:

Pembimbing I,

**Ir. Juswan, MT.**  
NIP. 19621231 198903 1 031

Pembimbing II,

**Daeng Paroka, ST., MT., Ph. D**  
NIP. 1970118 199802 1 001

Mengetahui

Ketua Departemen  
Teknik Kelautan,



**Dr. Taufiqur Rachman, ST., MT**  
NIP. 19690802 199702 1 001





**HALAMAN PENGESAHAN KOMISI PENGUJI**

Judul:

**ANALISA PELUNCURAN STRUKTUR *JACKET* NC3 CPP (*CENTRAL PROCESSING PLATFORM*) DENGAN MENGGUNAKAN METODE SIMULASI NUMERIK**

*(Studi Kasus NC3 Gas Field, SK316 Block Bintulu Sarawak Malaysia)*

Oleh:

**MUHAMMAD SAEFUL MH**  
**D321 15 003**

Telah dipertanggungjawabkan di depan Panitia Ujian Skripsi  
pada tanggal 25 Oktober 2019  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat


Dengan susunan kepanitian sebagai berikut:

1. Ketua : Ir. Juswan, MT
2. Sekertaris : Daeng Paroka, ST., MT., Ph. D
3. Anggota : Dr. Taufiqur Rachman, ST., MT
4. Anggota : Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT

Gowa, Desember 2019

Mengetahui,  
Ketua Departemen  
Teknik Kelautan



  
**Dr. Taufiqur Rachman, ST., MT**  
NIP. 19690802 199702 1 001



## ABSTRAK

**MUHAMMAD SAEFUL MH**, Analisa Peluncuran Struktur *Jacket* NC3 CPP (*Central Processing Platform*) dengan Menggunakan Metode Simulasi Numerik (*Studi Kasus NC3 Gas Field, SK316 Block Bintulu Sarawak Malaysia*).  
**Dibimbing oleh (Ir. Juswan, MT dan Daeng Paroka ST., MT., Ph. D).**

*Launching* adalah proses peluncuran struktur *jacket* dari *launching barge* ke laut di tempat dimana *platform* akan di *install* dan beroperasi. *Jacket launching* merupakan proses yang singkat tapi sangat kritis karena memiliki resiko yang tinggi. Jika terjadi kegagalan dalam proses peluncuran *jacket*, maka dapat menyebabkan kerusakan atau tenggelamnya struktur. Karena proses *jacket launching* yang sangat kompleks tersebut, maka perlu dilakukan analisis peluncuran untuk memastikan bahwa proses peluncuran dapat berlangsung dengan aman. Studi sensitivitas pada berbagai variasi kondisi harus dilakukan untuk mengetahui signifikansi pengaruh paramaternya terhadap proses peluncuran *jacket*. Analisa peluncuran dilakukan dengan menggunakan metode simulasi numerik dengan bantuan *software* MOSES. Tahap pertama yang dilakukan adalah pemodelan struktur *jacket* pada *software* SACS kemudian di *convert* kedalam *software* MOSES. *Launch barge* dimodelkan pada *software* MOSES dengan *input file* berupa titik koordinat dan posisi COG setiap *compartment* dan *equipment barge*. Setelah pemodelan struktur selesai, maka selanjutnya adalah membuat model simulasi peluncuran. Struktur *jacket* dibaringkan diatas *barge* dengan posisi *top of jacket* berada di *stern launch barge*. Hasil simulasi pada kondisi *base case* dengan *trim* awal *barge*  $3.5^\circ$  dan *draft* pada *midship* 6.1 m menunjukkan bahwa proses peluncuran *jacket* dapat berlangsung dengan aman. *Jacket* mulai bergerak dari posisi statis dengan bantuan *pulling force* sebesar 1428 MT. Kecepatan luncur *jacket* saat terpisah dari *barge* yaitu 7.56 m/s. Waktu yang dibutuhkan *jacket* dari *sliding* hingga *separate* adalah 133.2 sekon. Reaksi *rocker arm* maksimum terjadi pada saat *jacket* mengalami kondisi *tipping* yaitu 3001 MT. *Bottom clearance jacket* adalah 41.13 m dan *jacket* mengapung bebas dengan *reserve buoyancy* sebesar 17.89%. Analisa sensitivitas menunjukkan bahwa semakin besar sudut *trim* dan *draft* awal *barge* maka kecepatan luncur semakin singkat dan reaksi *rocker arm* menurun. Sedangkan perubahan LCG *jacket* dan penambahan berat *jacket* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *bottom clearance* dan kondisi *free floating jacket* setelah terpisah dari *launch barge*.

**Kata kunci:** Analisa Sensitivitas, *Bottom Clearance*, *Center of Gravity*, *Draft*, *Launching*, *Rocker Arm*, *Trim*





## ABSTRACT

**MUHAMMAD SAEFUL MH**, NC3 CPP (Central Processing Platform) Jacket Launching Analysis by Using Numerical Simulation Methods (Case Study of NC3 Gas Field, SK316 Block Bintulu Sarawak Malaysia). **Supervised by (Ir. Juswan, MT and Daeng Paroka ST., MT., Ph. D)**

Launching is the process of launching a jacket structure from the launching barge to the sea at the place where the platform will be installed and operating. Jacket launching is a short but very critical process because it has a high risk. If there is a failure in the jacket launch process, it can cause damage or sinking of the structure. Because the jacket launching process is very complex, a launch analysis is needed to ensure that the launch process can take place safely. Sensitivity studies on a variety of conditions must be carried out to determine the significance of the effect of the parameters on the jacket launch process. Launch analysis is carried out using numerical simulation methods with the help of MOSES software. The first step is modeling the jacket structure on SACS software and then converting it into MOSES software. The launch barge is modeled on MOSES software with an input file in the form of coordinates and COG positions for each compartment and barge equipment. After modeling the structure is complete, then the next is to make a launch simulation model. The structure of the jacket is laid on top of the barge with the position of the top of the jacket in the stern launch barge. Simulation results on the base case with a barge initial trim is  $3.5^\circ$  and a draft at midship is 6.1 m show that the jacket launch process can take place safely. Jacket began to move from a static position with the help of 1428 MT pulling force. Jacket sliding speed when separated from the barge is 7.56 m/s. The time taken from sliding to separate jacket is 133.2 seconds. The maximum rocker arm reaction occurs when the jacket experiences a tipping condition that is 3001 MT. The bottom clearance of the jacket is 41.13 m and the jacket floats freely with a reserve buoyancy of 17.89%. Sensitivity analysis shows that the greater the trim angle and the initial draft of the barge the shorter the sliding speed and the reaction of the rocker arm decreases. While changes in the LCG jacket and the additional weight of the jacket have a significant effect on the bottom clearance and freefloating jacket conditions after being separated from the launch barge.

**Keywords:** Bottom Clearance, Center of Gravity, Draft, Launching, Rocker Arm, Sensitivity Analysis, Trim



## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh*

Segala puji bagi Allah SWT, atas limpahan rahmat dan nikmat berupa nikmat kesehatan jasmani dan rohani yang diberikan kepada penulis, sehingga mampu menyelesaikan tugas akhir ini sesuai yang diharapkan. Shalawat serta salam kepada Baginda Rasulullah Muhammad SAW, sahabat, keluarga, serta para pengikutnya.

Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan studi guna meraih gelar sarjana pada Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam proses penyusunan sampai dengan terselesaikannya skripsi yang berjudul “Analisa Peluncuran Struktur *Jacket NC3 CPP (Central Processing Platform)* dengan Menggunakan Metode Simulasi Numerik (*Studi Kasus NC3 Gas Field, SK316 Block Bintulu Sarawak Malaysia*)” penulis sangat terbantu oleh banyak pihak, maka dari itu dengan segala kerendahan hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. **Ayahanda (Alm. Muh. Hatta)** dan **Ibunda (Nuraeni)** tercinta atas dukungan dan doa yang tak henti-hentinya selalu diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan pendidikan sebagai sarjana. Terima kasih juga telah mendidik, merawat dan membesarkan hingga kini dengan penuh kasih sayang.
2. **Saudara-saudara** saya (**Kaka Ita, Kaka Anis, Nisa, Rahmat, Adrian, Adam dan Arif**), terima kasih atas doa dan dukungannya, motivasi serta nasehat yang selalu diberikan kepada penulis, sehingga mampu menyelesaikan pendidikan ini. Semoga kita semua dalam lindungan-NYA dan termasuk anak yang sholeh dan sholeha serta berbakti kepada kedua orang tua.

Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Bapak **Dr. Taufiqur Rachman, ST., MT** selaku ketua Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.



5. Bapak **Ir. Juswan, MT** dan **Daeng Paroka, ST., MT., Ph. D** selaku Pembimbing I dan Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya penulisan skripsi ini.
6. **Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT** selaku Penasehat Akademik (PA) selama menjadi mahasiswa Teknik Kelautan.
7. **Segenap staf pengajar dan administrasi** Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu kelancaran perkuliahan dan administrasi.
8. Program Bidikmisi atas dukungannya berupa beasiswa selama menempuh pendidikan sarjana (S.1).
9. Bapak **Daniel Ampulembang** (*Section Head Naval Architecture, Structural Department TechnipFMC, Jakarta*) selaku mentor dan sekaligus pembimbing III yang telah banyak membantu dan memberikan ilmunya mengenai *offshore installation*.
10. **The Last Wavebender Team** (Kanda Fuad Mahfud Assidiq ST, Ardiyan Safiu ST, Imam Hairussalam ST) terima kasih atas ilmu dan pengalamannya sebagai *the most outstanding participant at OCEANO 2017*.
11. **Tumanurung TM** (Ipul, Ucup, Linda, Amar) terima kasih atas kerjasamanya telah menjadi tim yang baik selama mengikuti *Oil Rig Design Competition*.
12. Teman – teman **Offshore Technology Study Club (OFTEC)** Semoga OFTEC senantiasa menjadi wadah bagi mahasiswa khususnya mahasiswa Teknik Kelautan untuk memahami lebih jauh mengenai Teknologi Struktur Bangunan Lepas Pantai.
13. Teman-teman **Mahasiswa** khususnya Teknik Kelautan **2015** yang selalu memberi dukungannya serta waktu yang telah kita lalui bersama dalam suka dan duka.  
Kanda - kanda **Senior** dan **Junior** yang telah membantu secara disengaja maupun tidak disengaja.



15. Dan seluruh pihak yang tak mungkin disebut satu-persatu, terima kasih atas seluruh bantuan moril maupun materil yang telah diberikan.

Penulis menyadari keterbatasannya sehingga mungkin dalam penyusunan tugas akhir ini masih terdapat beberapa kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu, penulis akan senantiasa menerima kritikan dan saran dari pembaca yang bersifat membangun.

Akhir kata saya berharap apa yang telah saya paparkan dalam tugas akhir ini dapat membawa manfaat bagi para pembaca, khususnya mahasiswa yang akan melakukan peneitian dalam bidang yang serupa. Aamiin.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Gowa, 20 September 2019

**Penulis**





## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN KOMISI PENGUJI .....	iii
ABSTRAK .....	iv
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR NOTASI .....	xv
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN .....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Batasan Masalah .....	4
1.4. Tujuan Penelitian .....	4
1.6. Manfaat Penelitian.....	5
1.7. Sistematika Penulisan .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 <i>Jacket Platform</i> .....	7
2.2 Metode Instalasi <i>Jacket</i> .....	8
2.3 <i>Jacket Launching</i> .....	9
2.3 Gaya Hidrodinamik .....	13
2.4 Teori Gerak Bangunan Apung.....	15
2.4.1 Gerak <i>Surge</i> (x).....	16
2.4.2 Gerak <i>Sway</i> (y) .....	17
2.4.3 Gerak <i>Heave</i> (z).....	17
2.4.4 Gerak <i>Roll</i> ( $\varphi$ ) .....	18



2.4.5	Gerak <i>Pitch</i> ( $\theta$ ).....	19
2.4.6	Gerak <i>Yaw</i> ( $\psi$ ).....	20
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1.	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	21
3.1.1.	Lokasi Penelitian .....	21
3.1.2.	Waktu Penelitian.....	21
3.2.	Tahap Penyelesaian .....	21
3.2.1.	Studi Literatur.....	21
3.2.2	Penyajian Data Pendukung.....	21
3.2.3	Pemodelan Struktur .....	23
3.2.4	Analisis Sensitivitas.....	24
3.3	Diagram Alir.....	25
BAB IV	ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	27
4.1	Pemodelan Struktur <i>Jacket</i> NC3 CPP .....	27
4.2	Pemodelan Struktur <i>Launch Barge</i> .....	30
4.3	Simulasi Peluncuran .....	32
4.4	Sistem Koordinat Peluncuran .....	33
4.6	Hasil Simulasi.....	36
4.6.1	<i>Launch Trajectory</i> .....	36
4.6.1.1	Gerak <i>Jacket</i> dan <i>Barge</i> .....	38
4.6.1.2	Kecepatan Luncur.....	42
4.6.1.3	Maksimum <i>Barge Stern Submergence</i> .....	43
4.6.1.4	Bottom Clearance .....	44
4.6.1.5	Beban <i>Rocker Arm</i> .....	45
4.6.2	Analisis Sensitivitas.....	46
4.6.2.1	<i>Initial Barge Trim</i> .....	46
4.6.2.2	<i>Initial Barge Draft</i> .....	51
4.6.2.3	Posisi <i>Longitudinal COG Jacket</i> .....	53
4.6.2.4	Berat Struktur <i>Jacket</i> .....	55



BAB V PENUTUP.....	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran .....	58
DAFTAR PUSTAKA .....	59
LAMPIRAN.....	61
LAMPIRAN A. <i>JACKET DRAWING</i> .....	62
LAMPIRAN B. <i>LAUNCHING BARGE SPESIFICATION</i> .....	80
LAMPIRAN C. <i>LAUNCH SEQUENCE DRAWING</i> .....	87
LAMPIRAN D. <i>MOSES OUTPUT (BASE CASE)</i> .....	90



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>SK316 Gas Development Fields</i> .....	1
Gambar 2.1 <i>Jacket Platform</i> .....	7
Gambar 2.2 <i>Jacket Launching</i> .....	10
Gambar 2.3 Ilustrasi gerakan <i>six degree of freedom</i> .....	16
Gambar 4.1 Model <i>Jacket</i> pada SACS.....	28
Gambar 4.2 Tampak Atas <i>Jacket</i> .....	28
Gambar 4.3 Tampak Bawah Model <i>Jacket</i> .....	28
Gambar 4.4 Tampak Samping Model <i>Jacket</i> pada MOSES .....	29
Gambar 4.5 Tampak Atas Model <i>Jacket</i> pada MOSES .....	30
Gambar 4.6 Model <i>Launch Barge</i> pada software MOSES Ver. 7.10 .....	31
Gambar 4.7 <i>Top View Launch Barge Compartment</i> .....	31
Gambar 4.8 Tampak Samping Model Simulasi Peluncuran <i>Jacket</i> pada MOSES .....	32
Gambar 4.9 Tampak Atas Model Simulasi Peluncuran <i>Jacket</i> pada MOSES.....	33
Gambar 4.10 <i>MOSES Launch Coordinate System</i> .....	34
Gambar 4.11 <i>Perspective View</i> Kondisi Awal Peluncuran .....	38
Gambar 4.12 <i>Top View</i> Kondisi Awal Peluncuran .....	36
Gambar 4.13 Gerak <i>Surge Barge</i> dan <i>Jacket</i> .....	38
Gambar 4.14 Gerak <i>Sway</i> Struktur.....	39
Gambar 4.15 Gerak <i>Heave</i> Struktur.....	40
Gambar 4.16 Gerak <i>Roll</i> Struktur .....	41
Gambar 4.17 <i>Time Series</i> Gerak <i>Pitch</i> dan <i>Relative Surge</i> Struktur .....	41
Gambar 4.18 Gerak <i>Yaw</i> Struktur .....	42
Gambar 4.19 Kecepatan Luncur <i>Jacket</i> dan <i>Barge</i> .....	43
Gambar 4.20 Grafik <i>Barge Stern Submergence</i> Kondisi <i>Base Case</i> .....	44
Gambar 4.21 <i>Bottom Clearance Jacket</i> dan <i>Barge</i> .....	45
Gambar 4.22 Beban <i>Rocker arm</i> dan <i>Skid Beam</i> .....	46
Gambar 4.23 <i>Time Series</i> Perbandingan <i>Pitch Jacket</i> Gerak.....	47



Gambar 4.24 Perbandingan Gerak <i>Pitch Jacket</i> Terhadap Posisi LCG.....	48
Gambar 4.25 <i>Displacement Awal Jacket</i> Pada Berbagai Kondisi <i>Trim</i> Awal.....	49
Gambar 4.26 Pengaruh Variasi <i>Trim</i> Terhadap Respon <i>Launching</i> .....	50
Gambar 4.27 Pengaruh Variasi <i>Draft</i> Terhadap Respon <i>Launching</i> .....	52
Gambar 4.28 Pengaruh Variasi LCG <i>Jacket</i> Terhadap Respon <i>Launching</i> .....	54
Gambar 4.29 Gerak <i>Pitch Jacket</i> terhadap Perubahan Berat .....	57





## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Struktur <i>Jacket</i> .....	22
Tabel 3.2 Data <i>Launch Barge</i> .....	22
Tabel 3.3 <i>Friction Coefficient</i> .....	25
Tabel 4.1 Parameter Kondisi Awal .....	35
Tabel 4.2 <i>Summary Output of Base Case</i> .....	37
Tabel 4.3 Kondisi <i>Jacket</i> pada berbagai <i>Initial Draft</i> .....	53
Tabel 4.4 Perbandingan Perubahan Berat Struktur <i>Jacket</i> terhadap Respon <i>Launching</i> .....	56



## DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
$F_h$	gaya hidrodinamika	N
$F_d$	gaya <i>drag</i>	N
$F_a$	gaya inersia	N
$C_d$	koefisien <i>drag</i>	
$\rho$	<i>fluid density</i> = 1025	kg/m <sup>3</sup>
$A_w$	area yang tenggelam	m <sup>2</sup>
$V_n$	komponen kecepatan normal	m/s
$M'$	massa tambah/massa inersia	kg
$A_n$	percepatan normal	m/s <sup>2</sup>
$\Delta$	<i>displacement</i>	ton
$b_n$	Koefisien gaya redaman ( <i>damping</i> ) -	
$\Phi$	Gerak rotasi sumbu X ( <i>roll</i> )	m/°
$\theta$	Gerak rotasi sumbu Y ( <i>pitch</i> )	m/°
$\psi$	Gerak rotasi sumbu Z ( <i>yaw</i> )	m/°
$k_{xx}$	Radius Girasi terhadap sumbu X	m
$k_{yy}$	Radius Girasi terhadap sumbu Y	m
$k_{zz}$	Radius Girasi terhadap sumbu Z	m
$I_{xx}$	Momen inersia polar terhadap sumbu X	kg. m <sup>2</sup>
$I_{yy}$	Momen inersia polar terhadap sumbu Y	kg. m <sup>2</sup>
$I_{zz}$	Momen inersia polar terhadap sumbu Z	kg. m <sup>2</sup>



## DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

Istilah / Singkatan	Arti / Keterangan
API	<i>American Petroleum Institute</i>
COG	<i>Center of Gravity</i>
CPP	<i>Central Processing Platform</i>
DNV	<i>Det Norske Veritas</i>
EPCIC	<i>Engineering, Procurement, Construction, Installation, Commissioning</i>
FEED	<i>Front End Engineering Design</i>
LNG	<i>Liquid Natural Gas</i>
LCG	<i>Longitudinal Center of Gravity</i>
MSL	<i>Mean Sea Level</i>
OS	<i>Offshore Standard</i>
OSV	<i>Offshore Support Vessel</i>
RP	<i>Recommended Practice</i>
TCG	<i>Transversal Center of Gravity</i>
VCG	<i>Vertical Center of Gravity</i>
WHP	<i>Wellhead Platform</i>
WSD	<i>Working Stress Design</i>
<i>Added Mass</i>	Penambahan inersia ke suatu sistem karena mempercepat atau memperlambat sistem untuk bergerak atau berbelok ke beberapa volume fluida disekitarnya.
<i>Damping</i>	Penurunan amplitudo osilasi akibatnya energi terkuras dari suatu sistem untuk mengatasi gesekan atau gaya hambatan lainnya.
<i>Displacement</i>	Berat air yang dipindahkan oleh lambung kapal yang tercelup di perairan.



Gaya Eksitasi	Perpindahan energi pada suatu sistem yang mengalihkannya dari keadaan dasarnya ke suatu keadaan dengan energi yang lebih tinggi.
<i>.Kondensat</i>	Hidrokarbon cair yang didapatkan dari sumur gas atau sumur minyak bercampur gas.
<i>Radius Of Gyration</i>	Jarak yang menunjukkan distribusi massa (area) dari benda tersebut dianggap merata
<i>Station Keeping</i>	Suatu sistem yang mampu membatasi ekskursi <i>floating structure</i> dalam batas-batas ditentukan dengan menggunakan <i>mooring system</i> atau dengan <i>dynamic positioning system</i> .



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. <i>Jacket Drawing</i> .....	62
Lampiran B. <i>Launching Barge Spesification</i> .....	80
Lampiran C. <i>Launch Sequence Drawing</i> .....	87
Lampiran D. <i>Moses Output (Base Case)</i> .....	90





# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

PETRONAS Carigali Sdn. Bhd. telah melakukan pengembangan ladang gas NC3 dan NC8 yang terletak di Blok SK316, sekitar 200 km Utara Bintulu, Sarawak. Kedalaman air di ladang NC3 dan NC8 sekitar 104 m - 107 m. NC3 adalah salah satu pusat pengembangan gas SK316 yang terdiri dari *Central Processing Platform (CPP)* dan *Wellhead Platform (WHP)* yang terhubung dengan sebuah *bridge*. NC8 field terdiri dari *Wellhead Platform (WHP)* dengan pipa bawah laut yang terhubung ke NC3 field.



Gambar 1.1 SK316 Gas Development Fields  
(Sumber: FEED and EPCIC of SK316 Development Project)



Gas yang diproses ditransfer ke pantai dengan menggunakan *trunkline* yang sudah ada melalui E11R-C atau dengan *trunkline* khusus yang terkoneksi ke daerah pantai. *Dehydrated condensate* ditransfer dengan menggunakan *trunkline* yang sama. Gas yang diproses dan *dehydrated condensate* kemudian dipisahkan lagi di darat sebelum dipindahkan ke LNG *Plant Train* 9 yang baru. Volume kotor dari gas yang diproses adalah 600 MMSCFD termasuk 20% CO<sub>2</sub>.

Proses instalasi *jacket* NC3 CPP dilakukan dengan menggunakan metode *launching*. *Jacket launching* adalah proses peluncuran struktur *jacket* dari *launching barge* ke laut di tempat dimana *platform* akan diinstal dan beroperasi. *Jacket launching* merupakan proses yang singkat tapi sangat kritis karena memiliki resiko yang tinggi. Jika terjadi kegagalan dalam proses *jacket launching*, maka dapat menyebabkan kerusakan atau tenggelamnya struktur (Gerwick,1986).

Jo (2002) melakukan sebuah penelitian berupa studi parameter pada *launching* struktur *jacket*. Pada penelitian tersebut, prosedur umum untuk analisis berbagai kriteria kondisi dan kriteria *launching* dibahas dan dikaji. Pengaruh parameter tersebut diuji dengan pemodelan numerik. Jo (2002) menunjukkan pengaruh berbagai parameter (dimensi *barge*, *jacket* dan kondisi inisial *barge*) pada operasi *launching* menggunakan *software* SACS.

Penelitian juga dilakukan oleh Honarvar dkk. (2008) pada pemodelan fisik dan numerik *launching jacket*. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi hasil pemodelan fisik proses *launching* struktur *jacket* yang merupakan proses paling beresiko pada proses instalasi *platform* dan akan dikomparasikan dengan pemodelan numerik. Nourpanah (2008) menggambarkan pemodelan numerik proses *launching* struktur *jacket* dan pengaruh *water entry force* terhadap *member jacket horizontal*. Hasilnya menunjukkan bahwa pengaruh *water entry force* pada *member jacket horizontal* sangat signifikan dan dapat mempengaruhi desain *member jacket* secara lokal.

Rodriguez (2014) melakukan percobaan instalasi *jack-up* dengan metode g. Karena perbedaan yang besar antara *jacket* dan *jack-up*, implementasi *launching* yang baru ini membutuhkan *feasibility study* yang mendalam. Model disyaratkan untuk mengukur *motion barge* dan *jack-up* dan



untuk mengevaluasi beban pada *rocker arm*. Rodriguez (2014) melakukan eksperimen untuk menilai fisibilitas operasi *launching* dua unit *jack-up* meggunakan *launch barge*. Study eksperimen ini dibagi atas 4 tahap. Hasil pengujian mencakup *motion* 6 DOF dan *trajectory launching jack-up* dan *launch barge*, dan gaya reaksi pada *rocker arm*.

Hu dkk. (2016) melakukan sebuah penelitian berupa studi komparatif antara pengukuran lapangan, hasil numerik dan hasil eksperimen dengan meninjau perilaku dinamis pada saat proses *launching mega jacket* di Laut Cina Selatan. Hasil pengkajiannya adalah adanya perbedaan hasil antara pengukuran data lapangan dan hasil eksperimen.

Analisis peluncuran harus menyelidiki sensitivitas terhadap parameter koefisien hidrodinamik *jacket* dan *barge*, koefisien *friction* dinamis dan statis, *initial trim*, *initial draught*, *jacket mass* dan *centre of gravity*, serta posisi awal. Dalam proses *jacket launching* terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan, diantaranya yaitu stabilitas *barge*, *rocker arm reactions*, dan *bottom clearance jacket*. (Noble Denton 0028/ND Rev 6.2, 2016).

*Trim* adalah perbedaan ketinggian antara *draught/garis air* pada FP (*forward perpendicular*) dengan *draught* pada AP (*after perpendicular*) (Rawson dan Tupper, 2001). Sudut *trim* barge dapat diatur dengan proses *ballasting*. Besarnya sudut *trim barge* akan berpengaruh pada proses peluncuran *jacket*, salah satunya yaitu terhadap kecepatan *jacket* saat meluncur. Titik COG *jacket* adalah titik berat gabungan dari semua komponen *jacket*. Posisi COG *jacket* mempunyai pengaruh yang vital pada stabilitas *barge* saat proses *launching*. Struktur *jacket* yang sangat kompleks tersebut menyebabkan letak atau posisi titik COG *jacket* sulit dideteksi dengan tepat 100%. Posisi COG *jacket* yang sulit dideteksi dengan tepat juga perlu diperhatikan dalam analisis. Karena proses *jacket launching* yang sangat kompleks tersebut, tidak ada *code* atau *regulations* yang menjelaskan analisis secara mendetail (Jo, Kim, dan Lee, 2002). Oleh karena itu, dalam analisis *jacket*

perlu dilakukan *sensitivity study* dengan berbagai variasi untuk menguji signifikansi pengaruh parameternya.



## 1.2. Rumusan Masalah

Pada penelitian ini masalah yang akan diteliti yaitu:

- a. Bagaimana proses peluncuran struktur *jacket* yang merupakan salah satu proses instalasi bangunan lepas pantai?
- b. Bagaimana pengaruh *trim* dan *draft barge*, *longitudinal center of gravity jacket*, dan perubahan berat struktur *jacket* terhadap respon *lanching jacket*?
- c. Bagaimana kondisi *free floating* struktur *jacket* setelah selesai diluncurkan?

## 1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak terlalu melebar dari tujuan yang ingin dicapai, maka ditentukan batasan permasalahan. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Data struktur *jacket central processing platform* adalah *jacket* NC3 yang merupakan milik TechnipFMC Company
- b. Data *launch barge* yang digunakan adalah H-542 milik Heerema Company
- c. Analisa peluncuran *jacket* dilakukan pada kondisi *barge free floating*.
- d. Tidak menganalisa stabilitas *barge* dan *jacket*
- e. Tidak menganalisa kekuatan struktur *barge* dan *jacket* selama proses peluncuran

## 1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Menganalisa proses peluncuran struktur *jacket* yang merupakan salah satu proses instalasi bangunan lepas pantai
- b. Menganalisa pengaruh *trim* dan *draft barge*, *longitudinal center of gravity jacket*, dan perubahan berat struktur *jacket* terhadap respon *lanching jacket*
- c. Menganalisa dan mengetahui kondisi *free floating* struktur *jacket* setelah selesai diluncurkan



## 1.6. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan pemahaman kepada para pembaca khususnya penulis mengenai salah satu proses instalasi bangunan lepas pantai tipe *fixed jacket platform* yaitu dengan metode *launching*. Selain itu dengan melakukan penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai proses *launching* yang lebih aman, efektif, efisien dan resiko yang rendah serta sebagai bahan masukan dalam rangka pengembangan keilmuan, khususnya pada *marine operation* dan *installation industry* yang semakin hari semakin berkembang.

## 1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terbagi dalam lima bab dengan harapan, maksud dan tujuan dari penulisan ini dapat terangkum secara keseluruhan. Pembagian bab tersebut adalah sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini merupakan gambaran awal yang menguraikan tentang informasi secara menyeluruh dari penelitian yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan, dan sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menguraikan secara singkat teori – teori dasar yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, perolehan data, penyajian data, dan tahapan – tahapan penelitian.

### **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menyajikan hasil pengamatan, analisa dan pembahasan dari pengolahan data yang diperoleh dengan menggunakan teori – teori





yang telah dijelaskan sebelumnya sehingga diharapkan hasil yang diperoleh sesuai dengan tujuan penelitian.

## **BAB V PENUTUP**

Bab ini menyajikan kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisa yang telah dilakukan serta saran – saran yang diharapkan mampu menjadi masukan untuk penelitian berikutnya.

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Jacket Platform*

Struktur *jacket* adalah salah satu jenis struktur lepas pantai terpancang yang terdiri dari struktur *deck* (*main deck*, *cellar deck* dan *heli deck*), *jacket leg* sebagai penyangga *deck*, dan tiang pancang sebagai penyalur gaya – gaya yang bekerja pada struktur ke dalam tanah. Penggunaan struktur *jacket* hanya terbatas untuk perairan – perairan yang tidak terlalu dalam, dan konfigurasi *deck* yang sederhana.



Gambar 2.1 *Jacket Platform*  
(Sumber: ramboll.com)

*Jacket platform* merupakan struktur terpancang (*fixed structure*) yang terdiri atas beberapa komponen utama yaitu:

1. Geladak dan bangunan atas.



tidak adalah bagian yang berada diatas permukaan air dan merupakan bagian atas utama *jacket* yang menentukan fungsi struktur. Konstruksi geladak *jacket platform* berada pada ketinggian tertentu dari permukaan air tenang

(SWL) sehingga tidak terjangkau gelombang laut. Konstruksi geladak terdiri atas beberapa kelompok jenis konstruksi (*modules*) dimana jumlah, kelengkapan dan fasilitas yang ada pada geladak tergantung pada fungsi utama yang harus dilaksanakan oleh *jacket platform* itu sendiri.

## 2. *Jacket (Substructure)*

*Jacket* merupakan badan *platform* yang sebagian besar berupa konstruksi pipa (*tubular*). Struktur *jacket* sebagian besar terendam air hingga dasar laut. Fungsi utama struktur *jacket* adalah menopang konstruksi geladak dan fasilitas produksi yang ada, menahan struktur dari beban lateral dan momen guling akibat beban lingkungan (gelombang, arus, pasang surut).

## 3. Tiang Pancang (*Piles*)

Tiang pancang merupakan struktur *jacket platform* yang dipancangkan ke dalam dasar laut, hingga kedalaman 30 m – 150 m. Fungsi utama tiang pancang adalah sebagai pondasi struktur *jacket* yang menahan beban lateral dan aksial yang ditransformasikan ke tanah. Untuk itu karakteristik pondasi *jacket platform* selain ditentukan oleh perancangan tiang pancang itu sendiri juga ditentukan oleh kondisi tanah yang ada (*soil mechanics*).

## 2.2 Metode Instalasi *Jacket*

Karakteristik struktur *offshore* berbeda dengan struktur *onshore*. Struktur *onshore* dibangun dan diinstal di lokasi struktur beroperasi. Sedangkan struktur *offshore* harus dibangun di galangan kemudian dipindahkan, diangkut dan diinstal di lokasi struktur tersebut akan beroperasi. Ada berbagai macam metode dalam proses pemindahan, pengangkutan dan instalasi struktur *offshore*. Metode instalasi yang sering digunakan pada dunia industri adalah metode *lifting*, *self floating*, dan *launching*. Soegiono (2004) metode tersebut harus diperhitungkan sebagai bagian dari rangkaian proses *load out*, *sea transport*, *upending*, *set down*, dan *piling*.

a. Metode *lifting* adalah salah satu proses instalasi struktur *offshore* yang terdiri *lifting off*, *lifting in the air*, *splash zone crossing*, *deep submerging*, dan *upending of the structure* dengan menggunakan *offshore support vessel* (OSV)

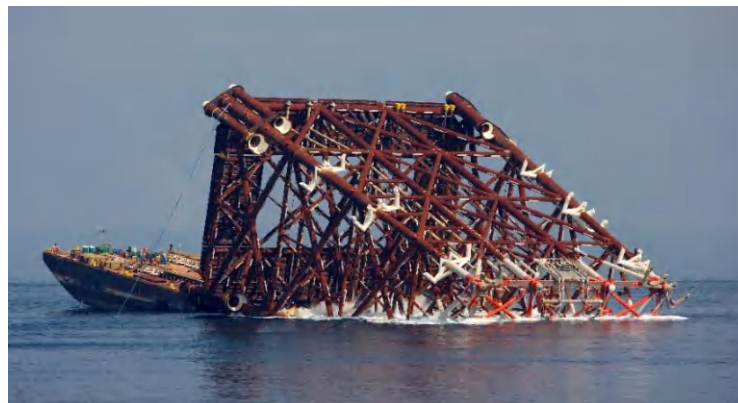


*crane*. Pada saat ini OSV *crane* lebih sering digunakan untuk melakukan *lifting operation* struktur *offshore* seperti modul *offshore* dan struktur *deck*.

- b. *Self floating* adalah metode yang digunakan untuk struktur *jacket* yang memiliki ukuran yang besar dengan memanfaatkan *buoyancy* dan *temporary floating tanks* kemudian ditarik oleh kapal tunda ke lokasi dimana *jacket* akan beroperasi.
- c. *Launching* adalah metode yang digunakan jika berat struktur *jacket* melebihi kapasitas *crane*. Struktur *jacket* diangkat dari galangan menuju lokasi instalasi menggunakan *barge*. Kemudian struktur tersebut akan diluncurkan ke dalam laut dengan cara *ballast launch barge* hingga kemiringan tertentu.

### 2.3 Jacket Launching

Peluncuran (*launching*) adalah salah satu proses instalasi *jacket* yang sangat penting dan memiliki resiko yang besar. Metode ini digunakan untuk struktur *jacket* yang beratnya melebihi kapasitas *crane*. Ketika *jacket* meluncur disepanjang *skid-way* maka *draft* dan *trim* pada *launching barge* berubah dan mempengaruhi respon gerak pada *barge*. Ketika *jacket* mulai miring di atas *rocker arm* dimana tahap tersebut adalah tahap yang paling kritis dan beban pada *rocker arm* akan mencapai beban maksimum. Setelah *jacket* berpisah dari *barge*, maka *jacket* akan meluncur ke dalam air hingga kedalaman maksimum kemudian beresilasi beberapa kali hingga dalam keadaan stabil.



Gambar 2.2 *Jacket Launching*

(Sumber: [oilandgasmiddleeast.com](http://oilandgasmiddleeast.com))



Nourpanah (2008) menyatakan bahwa analisis *time –history* pada metode ini diperlukan karena beberapa alasan yaitu:

- a) Memastikan bahwa *jacket* tidak akan bertubrukan dengan *mud-line*
- b) Mengecek agar *member jacket* dapat menahan gaya reaksi yang ditimbulkan oleh *rocker arm*
- c) Mengecek agar *member* dapat menahan gaya-gaya hidrodinamika yang terjadi pada saat meluncur ke dalam laut.

Proses *launching* dilakukan pada kondisi laut yang tenang. *Jacket* diangkat menggunakan *launch barge* menuju lokasi instalasi. Kemudian *launch barge* *diballast* hingga mengalami *trim* dengan kemiringan ( $2^{\circ}$  -  $4^{\circ}$ ). Hal ini dimaksudkan untuk mengamankan sudut *tilting* yang lebih besar selama mungkin sehingga *jacket* tidak tiba-tiba meluncur karena beratnya sendiri. Setelah *barge* mencapai sudut *trim* yang disyaratkan, *sea fastening* dipotong. Proses tersebut adalah proses awal pada analisa *launching*. Secara umum proses *launching* dapat dibagi ke dalam 4 (empat) tahap:

1. *Ballasting stage*: *barge* *diballast* hingga mencapai *trim* dan *draft* yang diinginkan.
2. *Sliding stage*: *jacket* meluncur di atas *barge* akibat berat sendiri menuju *rocker arm*.
3. *Tipping stage*: *jacket* meluncur dengan menggerakkan *rocker arm* kemudian berotasi hingga sudut maksimum yang diijinkan dan *jacket* pun meluncur tenggelam ke dalam air.
4. *Self-righting*: *jacket* berpisah dari *barge* kemudian mengalami osilasi beberapa kali hingga *jacket* dalam keadaan diam/stabil.

*Tipping stage* dan *self-righting* adalah tahap yang paling penting pada saat proses peluncuran struktur *jacket offshore*. Faktor-faktor yang mempengaruhi *barge* dan *jacket* pada saat *launching* sebagai berikut:

a. *Barge*

Kondisi pre-launch tergantung pada *draft*, *trim* dan panjang *tilting beam* kontribusi berdasarkan parameter berikut:

*rocker tipping load*





- panjang kaki *jacket* yang tersisa di atas *rocker arm*
- *barge submerging depth*
- kedalaman selam *jacket*
- kecepatan luncur *brace horizontal*
- stabilitas *barge* selama proses *launching*
- kekuatan *longitudinal barge*

b. *Jacket*

Parameter yang berpengaruh terhadap *jacket* selama proses *launching* ditentukan sebagai berikut:

- pusat gravitasi (*center of gravity*)
- pusat gaya apung (*center of buoyancy*)
- *reserved buoyancy quantity*
- panjang *jacket* / rasio panjang *tilting beam*

Dengan mengubah parameter dan menentukan kondisi *pre-launch* maka pengaruh parameter tersebut dapat diteliti. Setelah *jacket* berpisah dari *barge* maka harus dipastikan bahwa *jacket* memiliki *buoyancy* yang cukup untuk terapung sehingga kondisinya tetap stabil/seimbang. Selama proses *launching*, titik berat dan *buoyancy jacket* berubah secara terus menerus. Selama proses tersebut struktur harus memiliki kekuatan dan stabilitas yang cukup.

Dari proses pertama, selanjutnya *jacket* meluncur sepanjang *skidway* yang disebabkan oleh gaya tarik *winch* atau dorongan hidraulik, oleh karena itu kecepatan luncur *jacket* pada *skidway* adalah konstan dan sama dengan kecepatan *winch*. Itu berarti bahwa percepatan *sliding* relatif adalah nol. Sehingga hubungannya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V_t = 0 \dots\dots\dots (1)$$

...ya dorong minimum untuk memindahkan *jacket* dari posisi statis diatas  
...itung dengan persamaan berikut:

$$u_s \cos \alpha - \sin \alpha \dots\dots\dots (2)$$



Dimana:

W= berat struktur jacket (ton)

$\mu_s$ = koefisien gesek statis

$\alpha$  = sudut *trim barge* (°)

Gaya *winch* parallel dengan *barge deck*, sehingga hubungan persamaan keduanya dapat dituliskan seperti berikut:

$$P_w^x \sin(\theta_j) + P_w^z (\cos \theta_j) = 0 \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

$P_w^x$  = gaya *winch* arah x (N)

$P_w^z$  = gaya *winch* arah z (N)

$\theta_j$  = sudut *trim jacket* (°)

Gaya *contact* dihasilkan dari gaya reaksi normal dan gaya gesek yang dipengaruhi oleh koefisien gesek dinamis

$$P_c^x \cos(\theta_j) + \mu_d (\sin \theta_j) - P_c^z (\sin(\theta_j) - \mu_d \cos(\theta_j)) = 0 \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

$P_c^x$  = gaya *contact* arah x (N)

$P_c^z$  = gaya *contact* arah z (N)

$\mu_d$  = koefisien gesek dinamis

Pada fase kedua, *jacket* mengalami *sliding* yang disebabkan oleh beratnya sendiri. Yang artinya bahwa sudut *trim barge* telah melebihi sudut friksi/gesek dinamis. Hal ini mengindikasikan bahwa kecepatan relatif *sliding* melebihi kecepatan *winch*. Sehingga persamaan untuk fase ini sama dengan fase pertama:

$$P_w^x = 0 \dots\dots\dots (5)$$

$$\dots\dots\dots (6)$$



Pada fase ketiga, *jacket* mengalami *tipping* sesaat setelah COG *jacket* berada pada *rocker arm barge*. Kemudian *jacket* berotasi dan meluncur sampai terpisah dari *barge*.

$$M_c^Y = 0 \dots\dots\dots (7)$$

Kemudian berotasi untuk beberapa detik dan akhirnya mengapung dengan daya apungnya sendiri

$$\ddot{\theta}_b = \ddot{\theta}_j \dots\dots\dots (8)$$

Dimana:

$\ddot{\theta}_b$  = sudut *trim* akhir *barge* (°)

$\ddot{\theta}_j$  = sudut *trim* akhir *jacket* (°)

### 2.3 Gaya Hidrodinamik

Gaya - gaya yang bekerja pada *Jacket* selama proses peluncuran adalah gaya gravitasi, gaya inersia, gaya apung, gaya geser hidrodinamik dan gaya konstrain yang disebabkan oleh *barge*. Gaya konstrain *barge* terhadap *Jacket* adalah beban distribusi yang bekerja pada *Jacket leg* selama *Jacket* berada diatas *barge*. Gaya hidrodinamik terdiri dari gaya *drag*, massa tambahan, dan gaya *damping*. Persamaan gerak struktur dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F_h + F_o = M\bar{A} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana:

$F_h$  = gaya hidrodinamik (N)

$F_o$  = jumlah gaya komponen mula-mula yang disebabkan oleh gaya hidrodinamik yang bekerja pada struktur (N)

$M$  = massa (kg)

$\bar{A}$  = percepatan (m/s<sup>2</sup>)

samaan gerak *heave* dan *surge* struktur *Jacket* yang terjadi selama proses & dijelaskan pada persamaan sistem koordinat tetap seperti berikut:



$$\frac{d}{dt}(m\dot{n}) = (W + F_p + F_b) + F_h \dots\dots\dots (10)$$

Dimana:

m= massa *jacket* (ton)

$\dot{n}$  = kecepatan luncur *jacket* arah *heave* dan *surge* (m/s)

W= berat *jacket* (ton)

F<sub>p</sub>= gaya reaksi *pin* pada *rocker arm* arah *heave* dan *surge* (N)

F<sub>b</sub>= gaya apung arah *heave* dan *surge* (N)

F<sub>h</sub>= gaya hidrodinamik arah *heave* dan *surge* (N)

Sedangkan persamaan gerak *pitch* struktur *jacket* yang terjadi selama proses *launching* dijelaskan pada persamaan sistem koordinat tetap seperti berikut:

$$\frac{d}{dt}(I\omega) = (W\omega + M_p + M_b) + M_h \dots\dots\dots (11)$$

Dimana:

I = momen inersia

$\omega$  = kecepatan angular

M $\omega$ = momen gravitasi

M<sub>p</sub>= momen pin pada *rocker arm*

M<sub>b</sub>= momen *buoyancy*

M<sub>h</sub>= momen hidrodinamik

Gaya hidrodinamik yang bekerja pada struktur *barge* selama proses *launching* berlangsung dapat dituliskan kedalam persamaan sebagai berikut:

$$F_h = F_d + F_a \dots\dots\dots (12)$$

dan gaya *drag* dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_d = C_d \rho A_w \bar{V}_n |\bar{V}_n| \dots\dots\dots (13)$$



Gaya massa tambah dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_a = -M' \overline{A_n} - \frac{dM'}{dt} \overline{V_n} \dots\dots\dots (14)$$

Dimana:

$C_d$  = koefisien *drag*

$A_w$  = *submerged area* (m<sup>2</sup>)

$\overline{V_n}$  = kecepatan normal (m/s)

$M'$  = massa inersia tambahan

$\overline{A_n}$  = percepatan normal (m/s<sup>2</sup>)

#### 2.4 Teori Gerak Bangunan Apung

Bangunan apung memiliki enam mode gerakan bebas (*Six Degree of Freedom*) yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 mode gerakan translasional dan 3 mode gerakan rotasional dalam 3 arah sumbu. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 berikut adalah penjelasan keenam mode gerakan tersebut: (Bhattacharyya, 1978).

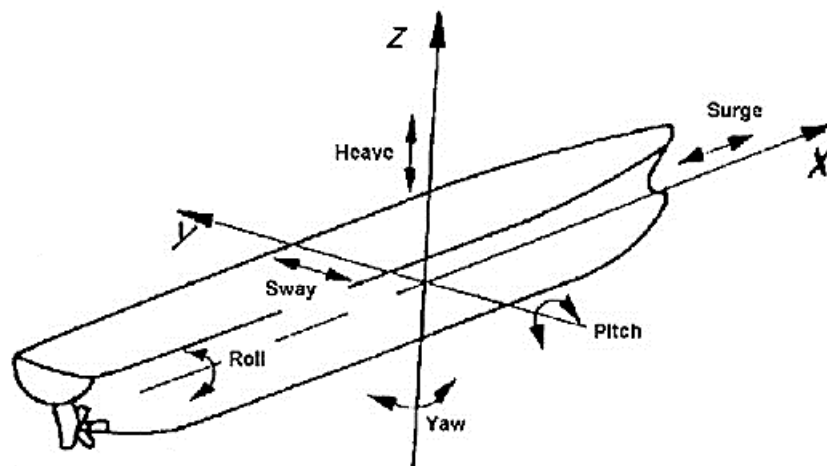
1. Model Gerak Translasional
  - a. *Yaw*, gerakan transversal arah sumbu x
  - b. *Sway*, gerakan transversal arah sumbu y
  - c. *Heave*, gerakan transversal arah sumbu z
2. Model Gerak Rotasional
  - a. *Roll*, gerakan rotasional arah sumbu x
  - b. *Pitch*, gerakan rotasional arah sumbu y
  - c. *Yaw*, gerakan rotasional arah sumbu z

Menurut teori klasik gerakan kapal di atas gelombang reguler secara matematis dapat diformulasikan dengan mengacu pada hukum *Newton* ke II, yang

ya memberikan korelasi antara gaya aksi oleh gelombang insiden dan aksi berupa respons gerakan kapal. Selanjutnya persamaan umum gerakan am 6-derajat kebebasan dengan memakai konvensi sistem sumbu tangan



kanan yang terdiri dari *yaw*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw*. Definisi gerakan kapal dalam enam derajat kebebasan dapat dijelaskan dengan gambar 2.3. Tiga gerakan translasi pada arah sumbu x, y dan z, adalah masing-masing *yaw* ( $\zeta_1$ ), *sway* ( $\zeta_2$ ) dan *heave* ( $\zeta_3$ ), sedangkan untuk gerakan rotasi terhadap ketiga sumbu adalah *roll* ( $\zeta_4$ ), *pitch* ( $\zeta_5$ ) dan *yaw* ( $\zeta_6$ ) (Bhattacharyya, 1978).



Gambar 2.3 Ilustrasi gerakan *six degree of freedom*  
(Sumber: google.com)

Persamaan murni tiap gerakan *six degree of freedom* untuk bangunan apung secara bersamaan atau saling interaksi antara gerakan seperti pada penjelasan berikut (Djutmiko, 2012):

#### 2.4.1 Gerak *Surge* (x)

Persamaan murni gerak *surge* (x) pada bangunan apung adalah sebagai berikut:

$$(M + M'_1) \ddot{x} + b_1 \dot{x} = F_1 \cos \omega_e t \dots\dots\dots (15)$$

$(M + M'_1)$  adalah koefisien dari komponen gaya inersia dan penjumlahan dari massa bangunan apung dan massa tambahnya untuk gerakan *surge*. Sebagai ketika kapal bergerak dan *displacementnya* berubah maka seolah-olah penambahan massa benda akibat terdorongnya partikel fluida di sekitarnya adalah massa tertentu karena Bergeraknya kapal itu sendiri. Hal ini yang



disebut sebagai massa tambah (*added mass*) akibat gerakan bangunan apung tertentu.  $b_1$  adalah koefisien dari gaya redaman (*damping*) akibat gerakan *surge* yang didapatkan dari hasil *experiment* atau pendekatan berdasarkan geometri bangunan apung.  $(F_1 \cos \omega_e t)$  adalah komponen gaya penggetar atau eksitasi sedangkan  $F_1$  adalah amplitude dari gaya penggetar yang menyebabkan terbentuknya gerakan *surge* akibat gaya eksitasi berupa tekanan hidrostatis dan dinamis gelombang. Adanya  $(\cos \omega_e t)$  menunjukkan gaya penggetarnya bersifat *periodic* dan *regular*. Komponen gaya eksitasi didapatkan berdasarkan penggunaan metode *strip/panel*. Sistem gerakan *surge* tidak memiliki unsur kekakuan (*stiffness*) sehingga komponen gaya pengembalinya tidak ada.

#### 2.4.2 Gerak Sway (y)

Persamaan murni gerak *sway* (y) pada bangunan apung adalah sebagai berikut:

$$(M + M'_2) \ddot{y} + b_2 \dot{y} = F_2 \cos \omega_e t \dots\dots\dots (16)$$

$M + M'_2$  adalah koefisien dari komponen gaya inersia dan penjumlahan dari massa bangunan apung dan massa tambahnya untuk gerakan *sway* sementara  $b_2$  adalah koefisien dari gaya redaman (*damping*) akibat gerakan *sway* yang dihasilkan dari eksperimen atau pendekatan berdasarkan geometri bangunan apung.  $F_2$  adalah amplitude dari gaya penggetar yang menyebabkan terbentuknya gerakan *sway* akibat gaya eksitasi berupa tekanan hidrostatis dan dinamis gelombang. Komponen gaya eksitasi didapatkan berdasarkan penggunaan metode *strip/panel*. Sistem gerakan *sway* tidak memiliki unsur kekakuan (*stiffness*) sehingga komponen gaya pengembalinya tidak ada.

#### 2.4.3 Gerak Heave (z)

Persamaan murni gerak *heave* (z) pada bangunan apung adalah sebagai

$$(M_3) \ddot{z} + b_3 \dot{z} + \rho g (A_{wp})z = F_3 \cos \omega_e t \dots\dots\dots (17)$$





$M + M'_3$  adalah koefisien dari komponen gaya inersia dan penjumlahan dari massa bangunan apung dan massa tambahnya untuk gerakan *heave* sementara  $b_3$  adalah koefisien dari gaya redaman (*damping*) akibat gerakan *heave* yang didapatkan dari eksperimen atau pendekatan berdasarkan geometri bangunan apung.  $(\rho g A_{wp})$  adalah koefisien dari komponen gaya pengembali (*stiffness*) yang menyebabkan gerakan osilasi naik turun (*heading*) karena fungsinya untuk mengembalikan ke posisi setimbang (*equilibrium*). Hal ini juga disebabkan karena adanya gaya penggetar eksternal sehingga ada kecenderungan yang berasal dari penambahan gaya apung saat bangunan apung bergerak secara vertikal dan membentuk perubahan pada saratnya.  $F_3$  adalah amplitude dari gaya penggetar yang menyebabkan terbentuknya gerakan *heave* akibat gaya eksitasi berupa tekanan hidrostatis dan dinamis gelombang. Komponen gaya eksitasi didapatkan berdasarkan penggunaan metode *strip/panel* dan dapat dihitung berdasarkan kemampuan komputasi atau *software* berbasis finite element method yang tersedia.

#### 2.4.4 Gerak Roll ( $\varphi$ )

Persamaan murni gerak *roll* ( $\varphi$ ) pada bangunan apung adalah sebagai berikut:

$$(Mk_{xx}^2 + M'_4 k'_{xx}{}^2) \ddot{\varphi} + b_4 \dot{\varphi} + Mg\overline{GM}_T \varphi = F_4 \cos \omega_e t \dots\dots\dots (18)$$

$I_{xx}^2 + I'_{xx}{}^2$  atau  $(Mk_{xx}^2 + M'_4 k'_{xx}{}^2)$  adalah koefisien dari komponen gaya inersia dan penjumlahan dari momen inersia bangunan apung dan momen inersia massa tambah untuk gerakan *roll* sementara  $k_{xx}$  adalah jari-jari girasi gerakan *roll* terhadap sumbu x.  $b_4$  adalah koefisien dari gaya redaman (*damping*) akibat gerakan *roll* yang dihasilkan dari eksperimen atau pendekatan berdasarkan

bangunan apung.  $(Mg\overline{GM}_T)$  adalah koefisien dari komponen gaya pengembali atau penunjukkan sifat kekakuannya karena adanya tambahan gaya akibat gerakan *roll*. Sifat kekakuannya dapat diilustrasikan sebagaimana



pada pegas spiral yang jika diberi gaya ke kanan atau kiri maka terdapat perlawanan untuk kesetimbangan pegas tersebut.  $M$  adalah massa bangunan apung,  $g$  adalah percepatan gravitasi, dan  $GM_T$  adalah radius metasentrik transversal bangunan apung. Ruas kanan adalah komponen momen penggetar eksternal berupa gaya tekanan hidrostatis dan tekanan dinamis gelombang dengan  $F_4$  adalah amplitude momen penggetarnya untuk gerakan *roll*.

#### 2.4.5 Gerak Pitch ( $\theta$ )

Persamaan murni gerak *pitch* ( $\theta$ ) pada bangunan apung adalah sebagai berikut:

$$(Mk_{yy}^2 + M'_5k'_{yy}{}^2) \ddot{\theta} + b_5 \dot{\theta} + Mg\overline{GM}_L\theta = F_5 \cos \omega_e t \dots\dots\dots (19)$$

$I_{yy}^2 + I'_{yy}{}^2$  atau  $(Mk_{yy}^2 + M'_5k'_{yy}{}^2)$  adalah koefisien dari komponen gaya inersia dan penjumlahan dari momen inersia bangunan apung dan momen inersia massa tambah untuk gerakan *pitch*. Sementara  $k_{yy}$  adalah jari-jari girasi gerakan *pitch* terhadap sumbu  $y$ .  $b_5$  adalah koefisien dari gaya redaman (*damping*) akibat gerakan *pitch* yang dihasilkan dari eksperimen atau pendekatan berdasarkan geometri bangunan apung.  $(Mg\overline{GM}_L)$  adalah koefisien dari komponen gaya pengembali atau penunjukkan sifat kekakuannya karena adanya tambahan gaya apung akibat gerakan *pitch*, dengan  $\overline{GM}_L$  adalah radius metasentris *longitudinal* bangunan apung. Sifat kekakuannya dapat diilustrasikan sebagaimana pada pegas yang jika diberi gaya ke depan atau belakang maka terdapat perlawanan untuk kesetimbangan pegas tersebut. Ruas kanan adalah komponen momen penggetar eksternal berupa gaya tekanan hidrostatis dan tekanan dinamis gelombang dengan  $F_5$  adalah amplitude momen penggetarnya untuk gerakan *pitch*.



### 2.4.6 Gerak Yaw ( $\psi$ )

Persamaan murni gerak yaw ( $\psi$ ) pada bangunan apung adalah sebagai berikut:

$$(Mk_{zz}^2 + M'_6 k'_{zz}{}^2) \ddot{\psi} + b_5 \dot{\psi} = F_6 \cos \omega_e t \dots\dots\dots (20)$$

$I_{zz}^2 + I'_{zz}{}^2$  atau  $(Mk_{zz}^2 + M'_6 k'_{zz}{}^2)$  adalah koefisien dari komponen gaya inersia dan penjumlahan dari momen inersia bangunan apung dan momen inersia massa tambah untuk gerakan yaw sementara  $k_{zz}$  adalah jari-jari girasi gerakan *pitch* terhadap sumbu z.  $b_6$  adalah koefisien dari gaya redaman (*damping*) akibat gerakan yaw yang dihasilkan dari eksperimen atau pendekatan berdasarkan geometri bangunan apung. Ruas kanan adalah komponen momen penggetar eksternal berupa gaya tekanan hidrostatis dan tekanan dinamis gelombang dengan  $F_6$  adalah amplitude momen penggetar untuk gerakan yaw. Sistem gerakan yaw tidak memiliki unsur kekakuan (*stiffness*) sehingga komponen gaya pengembalnya tidak ada.

