

ANALISIS MOORING PIPELAY BARGE DI 2 POSISI TANPA MENGANGKAT JANGKAR PADA INSTALASI PIPA BAWAH LAUT

Grendilaxrama Santanuaji dan Krisnaldi Idris, Ph. D.

Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganeca no. 10, Bandung 40132
grendilaxrama@gmail.com dan krisnaldi@ocean.itb.ac.id

PENDAHULUAN

Konsumsi manusia dalam hal energi yang meningkat seiring dengan waktu merupakan suatu fenomena dunia yang tak dapat dihindari lagi. Sumber energi dengan tingkat konsumsi tertinggi oleh manusia saat ini adalah minyak dan gas. Dibutuhkan suatu struktur lepas pantai yang dapat melakukan eksploitasi ladang minyak di tengah laut.

Di dalam proses instalasi suatu struktur lepas pantai membutuhkan struktur terapung atau struktur terapung yang melaksanakan proses tersebut. Sebuah struktur terapung perlu diketahui kestabilannya saat dilakukan kegiatan di laut. Struktur akan secara berkala dihantam oleh gaya-gaya lingkungan, sehingga dapat terjadi pergerakan struktur dari tempatnya. Dibutuhkan suatu sistem untuk menjamin struktur terapung tersebut tidak mengalami perpindahan yang mengganggu seluruh proses produksi, sistem tersebut adalah sistem *mooring*.

Dalam penelitian tugas akhir ini, dilakukan analisis pada sistem *mooring* pada *Pipeline Barge* yang digunakan dalam kegiatan relokasi pipa bawah laut di daerah utara Pulau Madura, Jawa Timur. Relokasi pipa dilakukan karena *Well Head Platform* mengalami kegagalan *In-Place* yang menyebabkan perubahan posisi dan struktur. Pipa bawah laut ini digunakan sebagai pipa penyalur dari *Well Head Platform* menuju fasilitas penyimpanan di darat (*Onshore Receiving Facility*).

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisis respon gerak *pipeline barge* akibat gaya lingkungan
2. Menganalisis sistem mooring yang ditambatkan pada *pipeline barge*
3. Menganalisis pergerakan *pipeline barge* setelah dipasang sistem mooring
4. Mencari satu *mooring pattern* yang memenuhi kriteria desain di kedua posisi

TEORI DAN METODOLOGI

Struktur terapung yang terpengaruh dengan gelombang, akan memiliki respon gerak. Respon tersebut dapat dianalisis dengan analisis hidrodinamika.

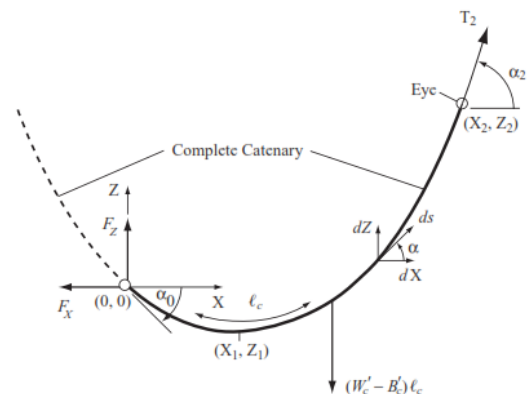
Faltinsen, 1990 menyatakan bahwa respon struktur terdiri dari resultan beberapa gaya yang bekerja pada struktur. Terdapat gaya apung dan gaya luar (gaya eksitasi dan gaya radiasi). Sehingga persamaan gerak struktur dapat ditulis dalam persamaan (1):

$$F_{Wj} + F_{Rj} = M \cdot \ddot{X} \quad (1)$$

Gaya eksitasi yang berlaku dalam tugas akhir ini teori difraksi dan gaya radiasi yang terjadi akibat *added mass* dan *damping*, ditampilkan persamaan gaya eksitasi dalam persamaan (2)

$$F_w = \int \rho \frac{\partial \phi_I}{\partial t} X_j ds + \int \rho \frac{\partial \phi_D}{\partial t} X_j ds \quad (2)$$

Sistem mooring yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah *slack mooring/catenary mooring*. McCormick, 2010 menyatakan bahwa *slack mooring* adalah sistem mooring yang dipengaruhi oleh gaya berat tali mooring yang terendam. Dikarenakan mengandalkan berat terendam mooring, sehingga mooring berbentuk garis melengkung (*catenary*). Ilustrasi gaya tarik yang terjadi pada garis mooring dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Ilustrasi gaya tarik pada tali mooring pada sistem *slack mooring* (McCormick, 2010)

Bentuk mooring dapat dihitung dengan mendapatkan jarak vertikal tali mooring pada setiap titik tinjau, dinyatakan dalam persamaan (3).

$$Z = \frac{Fx}{W'_c} \left\{ \cosh \left(\frac{W'_c}{Fx} (X - X_1) \right) - 1 \right\} - Z_1 \quad (3)$$

Gaya tarik yang terjadi pada setiap titik tinjau dinyatakan dalam persamaan (4).

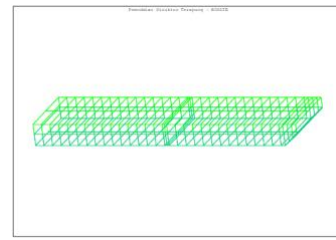
$$T = Fx \frac{ds}{dX} = Fx \cosh \left[\frac{W'_c}{Fx} (X - X_1) \right] \quad (4)$$

DASAR DESAIN DAN PEMODELAN

Struktur terapung yang digunakan adalah *pipeline barge* dengan dimensi yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Proeperti Barge “Aussie”

	NILAI	UNIT
PANJANG BARGE (LOA)	111.63	m
LEBAR BARGE	31.7	m
TINGGI BARGE	9	m
DRAFT	4.8	m
GROSS TONNAGE	11,133	t
KAPASITAS TENSIONER	90	t



Gambar 2 Pemodelan pipelay barge

Menggunakan tali mooring dari *barge*:

Tabel 2 Data Mooring

	NILAI	UNIT
MOORING	8	fairleads
MAX. LEGNTH	1500	m
NOMINAL DIAMETER	0.052	m
MINIMUM BREAKING LOAD	197	t
ANCHORS	10	t

Dikarenakan kegiatan yang dilakukan adalah instalasi, maka sistem mooring bersifat sementara. Sehingga beban lingkungan yang digunakan adalah data periode ulang 1 tahun Gelombang dan arus pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3 Data Gelombang Periode Ulang 1 Tahun

1-YEAR DIRECTIONAL WAVE CRITERIA			
WAVE PARAMETERS	WEST- NORTH WEST	EAST - NORTH EAST	OTHER SECTORS
Hs	3	2.4	1.2
Tz	5.6	5.3	4.3
Tp	7.9	7.5	6.1
Hmax	5.6	4.5	2.2
Tass	7.3	6.9	5.6

Tabel 4 Data Arus Periode Ulang 1 Tahun

CURRENT SPEED AT INDIVIDUAL LAYERS IN WATER COLUMN - OMNI - DIRECTIONAL				
LAYERS	1-YEAR	10-YEAR	50-YEAR	100-YEAR
SURFACE	115	150	190	200
MID DEPTH	90	120	155	165
SEABED	65	90	120	130

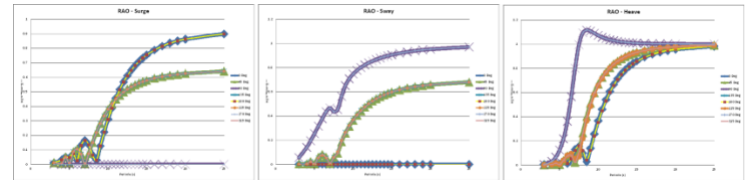
Analisis akan dilakukan pada perairan dengan kedalaman 58.5 m dengan analisis static dan dinamik pada kondisi *intact* dan *damage* menggunakan gelombang reguler dan acak. Berikut kriteria desain yang digunakan dalam tugas akhir ini ditampilkan pada Table 5.

Tabel 5 Kriteria Desain

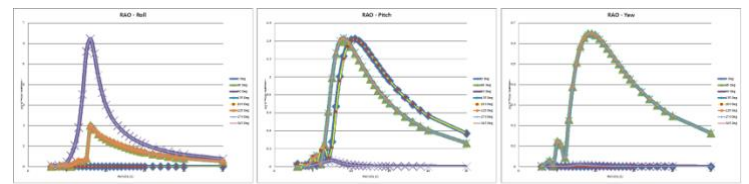
KRITERIA	KONDISI	NILAI MAKS.	UNIT
Minimum Breaking Load (WIRE ROPE)	INTACT QUASI-STATIC	966.285	kN
	INTACT DYNAMIC	1159.542	kN
	DAMAGED QUASI-STATIC	1352.799	kN
	DAMAGED DYNAMIC	1546.056	kN
VESSEL EXCURSION		5.85	m

HASIL DAN ANALISIS

Analisis sistem mooring tahap pertama adalah melakukan pemodelan hidrodinamika pada struktur terapung seperti pada Gambar 2 untuk menghasilkan respon struktur akibat gelombang dalam bentuk spectrum RAO ditampilkan pada Gambar 3 dan 4.

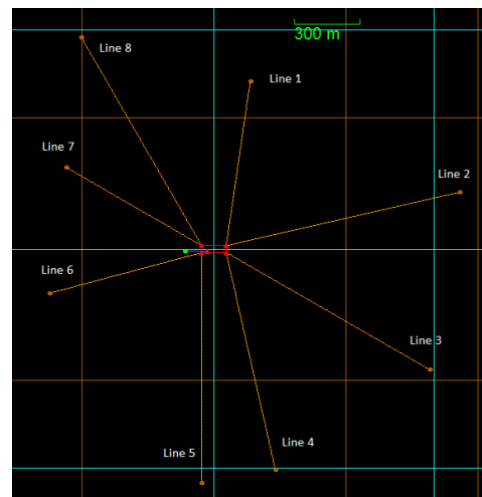


Gambar 3 Response amplitude operator respon gerak translasi



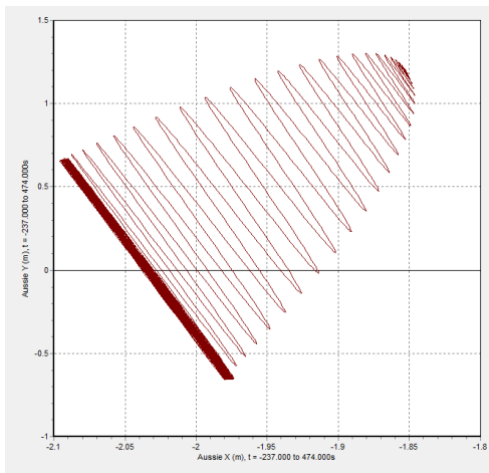
Gambar 4 Response amplitude operator respon gerak rotasi

Tahap kedua adalah analisis domain waktu dengan pemodelan hidrodinamika mooring pada konfigurasi mooring yang ditampilkan pada Gambar 5 untuk di POSISI 6 dan POSISI 7. Pemodelan hidrodinamika mooring hanya dilakukan dengan 4 arah gelombang 0 (*head seas*), 51.315 (W-NW), 90 (*beam seas*), 271.316 (E-NE) dengan *barge* menghadap 0 derajat.



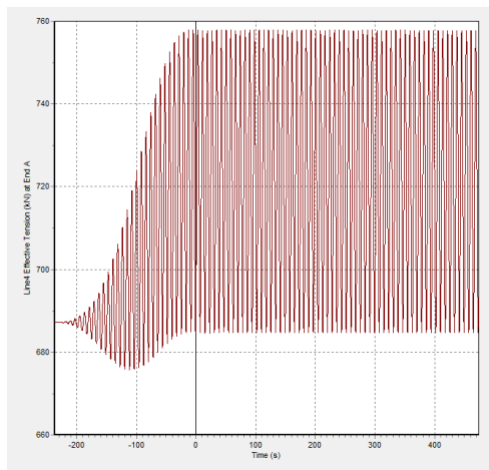
Gambar 5 Konfigurasi mooring

Pada Gambar 6 ditampilkan pergerakan struktur dari tampak atas, akibat gelombang reguler (Stokes Orde 5) arah gelombang 271.316 (E-NE) di kondisi *intact* yang merupakan respon gerak struktur yang memiliki simpangan terjauh.



Gambar 6 Pergerakan struktur tampak atas (271.316 (W-NW))

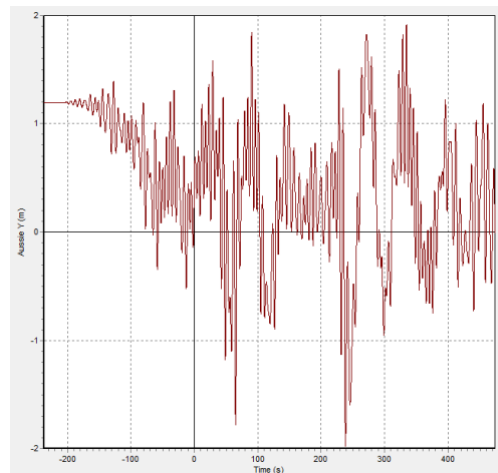
Analisis dinamik gelombang reguler ini menghasilkan nilai gaya tarik efektif terbesar di kondisi *intact* terjadi pada LINE 4 akibat gelombang arah 51.316 (W-NW) sebesar 757.959 kN. Ditampilkan gaya tarik efektif selama simulasi pada Gambar 7.



Gambar 7 Gaya tarik efektif Line 4 (51.316 (W-NW) Reguler)

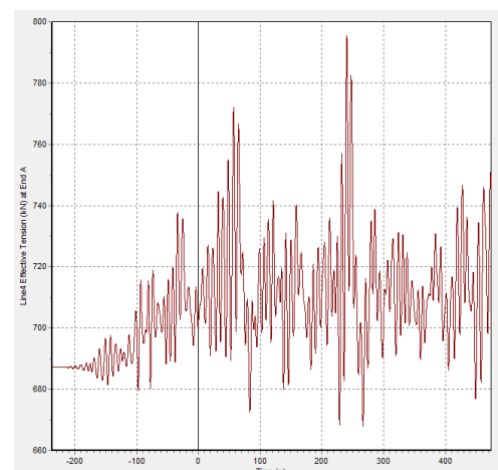
Analisis dinamik menggunakan gelombang acak disimulasikan secara ideal dengan durasi selama 3 jam, tetapi di dalam API RP-2SK dianjurkan suatu metode penyederhanaan dengan durasi yang lebih singkat tetapi memasukkan kejadian gelombang acak dengan puncak tertinggi di tengah simulasi.

Pada pembebanan gelombang acak didapatkan respon gerak dengan simpangan terjauh sebesar 3.173 m pada arah y negative (sway) akibat arah gelombang 271.316 (E-NE) di kondisi *intact* ditampilkan respon gerak tersebut pada Gambar 8.



Gambar 8 Sway di posisi 6 kondisi *intact* (271.316 (W-NW))

Nilai gaya tarik efektif terbesar akibat pembebanan gelombang acak terjadi pada arah 51.316 (W-NW) dengan nilai sebesar 795.572 kN terjadi di line 4 pada kondisi *intact*. Pada Gambar 8 digambarkan nilai gaya tarik efektif disepanjang simulasi.



Gambar 9 Gaya tarik efektif Line 4 (51.316 (W-NW) Acak)

Berikut rekapitulasi seluruh nilai terbesar gaya tarik efektif dan respon gerak struktur yang terjadi pada analisis akibat gelombang reguler dan acak di posisi 6 & 7 pada kondisi *intact* dan *damage* pada Tabel 6 dan 7, dan seluruh nilai yang terjadi memenuhi kriteria desain maka konfigurasi mooring yang digunakan sudah sesuai.

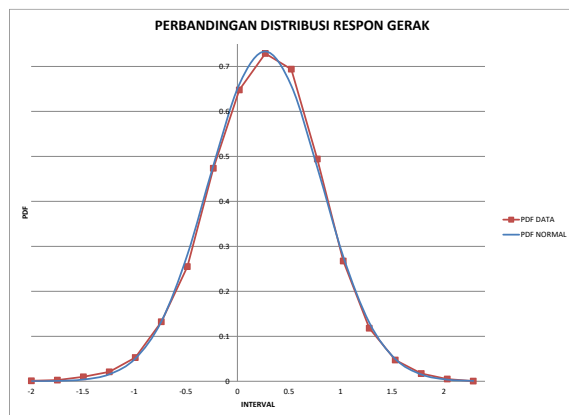
Tabel 6 Rekapitulasi Respon Gerak Simpangan Maksimum

POSISI	KONDISI	RESPON GERAK SWAY (m) ARAH GELOMBANG 271.316 (EAST-NORTH EAST)			
		GELOMBANG G REGULER	WAKTU	GELOMBANG ACAK	WAKTU
ELEVASI MUKA AIR (m)		1.252	0	2.853	237
6	INTACT	-1.854	46.5	-3.173	238.3
	DAMAGE LINE 4	-2.584	1.2	-3.993	64.9
7	INTACT	-1.950	470.5	-3.041	65.2
	DAMAGE LINE 4	-3.428	6.3	-4.484	65

Tabel 7 Rekapitulasi Gaya Tarik Efektif Maksimum

POSISI	KONDISI	GAYA TARIK EFEKTIF MAKSIMUM (kN)				ARAH GELOMBANG (DEG)	LINE
		GELOMBANG REGULER	WAKTU	GELOMBANG ACAK	WAKTU		
ELEVASI MUKA AIR (m)		1.573	0	3.566	237	51.316 (W-NW)	-
6	INTACT	757.959	42.5	795.572	240.2	51.316 (W-NW)	LINE 4
	DAMAGE LINE 4	954.214	1.2	965.805	244.7	90 (BEAM SEAS)	LINE 3
7	INTACT	733.664	49.1	787.797	240.1	51.316 (W-NW)	LINE 4
	DAMAGE LINE 4	1014.841	4.4	1028.697	244.7	90 (BEAM SEAS)	LINE 3

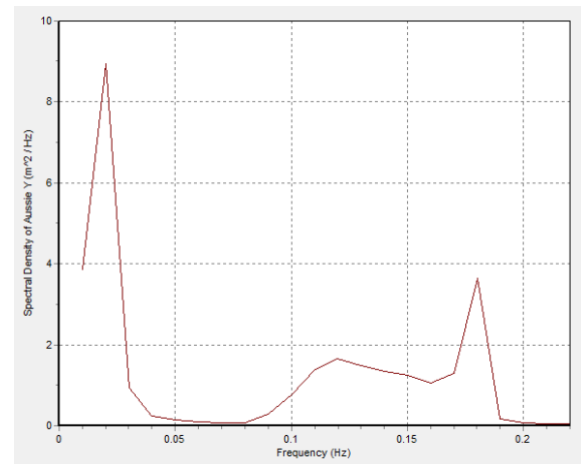
Berikutnya akan dilihat sebaran data respon gerak arya y (sway) akibat gelombang acak arah 271.316 (E-NE) pada kondisi *intact* di posisi 6, analisis distribusi data dilakukan dengan membandingkan dengan distribusi normal, ditampilkan pada Gambar 10 dan parameter distribusi normal ditampilkan pada Tabel 8.

**Gambar 10** Distribusi Normal vs Distribusi Data Sway**Tabel 8** Parameter Distribusi Normal

PARAMETER	NILAI
STANDAR DEVIASI (σ)	0.544
MEAN (μ)	0.268

Distribusi data mengikuti pola distribusi normal, maka aturan pada distribusi normal berlaku pada distribusi data. Aturan pertama nilai dengan distribusi tertinggi merupakan nilai rata – rata dan nilai dengan distribusi tertinggi adalah 0.270, maka memiliki nilai yang sama. Aturan kedua adalah nilai maksimum pada sumbu x di distribusi normal harus bernilai $\mu + 3\sigma$ dan nilai pada data adalah 2.287. Terjadi perbedaan nilai pada aturan kedua disebabkan elevasi muka air tertinggi gelombang acak pada rentang simulasi 10000 detik masuk ke dalam analisis.

Setelah melakukan simulasi dinamik menggunakan gelombang acak dengan durasi simulasi 10000 detik, ditinjau spectrum dari respon gerak struktur arah y (sway) yang ditampilkan pada Gambar 11.

**Gambar 11** Spektrum respon gerak struktur arah y (sway)

Dapat dilihat dari Gambar 11 bahwa ada 3 nilai frekuensi yang mewakili 3 nilai kerapatan paling tinggi, yaitu 0.02 Hz, 0.18 Hz, dan 0.13 Hz. Frekuensi 0.13 Hz sama dengan frekuensi gelombang jadi kerapat tertinggi ketiga disebabkan oleh beban gelombang. Frekuensi dengan nilai kerapatan tertinggi kedua (0.18 Hz) disebabkan oleh frekuensi natural gerak rotasi struktur di sumbu x (*roll*) dan 0.02 Hz yang memiliki nilai kerapatan paling tinggi pada spectrum disebabkan oleh frekuensi natural gerak translasi struktur arah y (sway). Dapat disimpulkan bahwa respon gerak struktur paling dipengaruhi oleh frekuensi natural struktur arah gerak y (sway).

KESIMPULAN

1. Nilai respon gerak dan gaya tarik efektif yang terjadi dari pemodelan dinamik menggunakan gelombang reguler dan gelombang acak didapatkan nilai respon gerak terbesar akibat gelombang arah 271.316° atau gelombang dari arah EAST – NORTH EAST dan gaya tarik efektif terbesar akibat gelombang arah 51.316° atau gelombang dari arah WEST – NORTH WEST.
2. Pemodelan menggunakan gelombang acak menghasilkan nilai respon gerak dan gaya tarik efektif pada tali mooring yang lebih besar dibandingkan dengan pemodelan menggunakan gelombang reguler.
3. Analisis domain frekuensi menunjukkan bahwa respon gerak struktur sangat dipengaruhi oleh frekuensi natural struktur arah gerak translasi y (sway) dengan besar frekuensi sebesar 0.02 Hz.
4. Seluruh nilai respon gerak struktur dan gaya tarik efektif pada tali *mooring* di POSISI 6 & 7 memenuhi kriteria desain pada kondisi *intact* dan *damage*, sehingga konfigurasi *mooring* yang digunakan sudah sesuai dengan syarat.

SARAN

Perihal yang lebih dapat diteliti lebih lanjut dalam penelitian ini:

1. Analisis sistem mooring dengan kondisi lingkungan yang tidak kolinier.
2. Analisis sistem mooring menggunakan 8 arah datang beban lingkungan.
3. Analisis sistem mooring dengan pemodelan instalasi pipa secara detil (tanpa ada penyederhanaan)

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institue. 1987. API RP 2P: Analysis of Spread Mooring Systems for Floating Drilling Units. Washington D.C. : American Petroleum Institute
- American Petroleum Institue. 1997. API RP 2A-LRFD: Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms – Load and Resistance Factor Design. Washington D.C. : American Petroleum Institute
- American Petroleum Institue. 2005. API RP 2SK: Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures. Washington D.C. : American Petroleum Institute
- Dean, Robert G. dan Robert A. Dalrymple. 1991. Water Wave Mechanics for Engineers and Scientist. Singapura: World Scientific
- Det Norske Veritas. 2013. DNV-OS-E301: Position Mooring. Amerika: Det Norske Veritas.
- Faltinsen, O.M. 1990. Sea Loads on Ships and Offshore Structure. Oxford: Elsevier Science & Technology
- Goda, Y. 2000. Random Seas and Design of Maritime Structures. Singapura: World Scientific
- McCormick, Michael E. 2010. Ocean Engineering Mechanics with Applications. Cambridge: Cambridge University Press
- Orcina. 2009. Manual Orcaflex Version 9.2f. Daltongate: Orcina Ltd.
- Putri, Anggraeni Eka. 2015. Analisis Sistem Mooring Pada Pipelay Barge Dalam Kegiatan Instalasi Bawah Laut. Laporan Tugas Akhir Tidak Diterbitkan. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Ultramarine, inc. 2013. Reference Manual for MOSES.