

RESPON DINAMIK SISTEM ARTICULATED TOWER DI SEKITAR PULAU PANJANG, BANTEN

Christina Rahayu Wulandari¹

Pembimbing : Krisnaldi Idris, Ph.D²

Program Studi Sarjana Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,

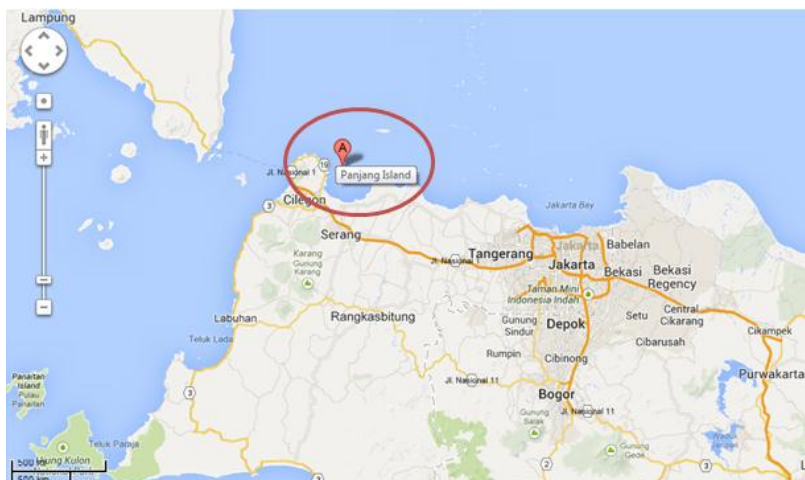
Jalan Ganesha 10 Bandung 40123

¹christina.rw@gmail.com dan ²krisnaldi@ocean.itb.ac.id

Kata Kunci: *articulated tower*, perpindahan, gaya tarik.

PENDAHULUAN

Pada kegiatan produksi minyak lepas pantai (*offshore*) diperlukan sistem transportasi dari *field* ke darat. Sistem ini tidak selalu menggunakan dermaga sebagai tempat *loading* dan *unloading* minyak. *Compliant offshore structure* seperti *articulated tower* dapat digunakan untuk menambat kapal dan untuk menampung minyak sementara dari *field* sebelum dialirkan ke kapal. Tugas Akhir ini akan membahas mengenai respon dinamik yang diterima oleh *articulated tower* akibat beban lingkungan di laut berupa angin, gelombang dan arus, serta respon dinamik dari kapal yang terhubung pada *articulated tower*. Respon dinamik yang akan ditinjau meliputi perpindahan *buoy* dan kapal serta gaya tarik tali tambat. Dalam kasus ini struktur terletak pada kedalaman 30 m di sekitar Pulau Panjang, Banten, seperti dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Lokasi Struktur di Sekitar Pulau Panjang, Banten. (Sumber: Google Maps, 2013)

TUJUAN

1. Memperoleh respon *articulated tower* terhadap beban yang diterima dan terhadap *vessel* (kapal) yang terhubung dengannya.
2. Membandingkan efisiensi struktur *articulated tower* dengan struktur lain yang serupa yaitu *single buoy mooring* dan *spread mooring* pada kondisi lingkungan yang sama.

TEORI DAN METODOLOGI

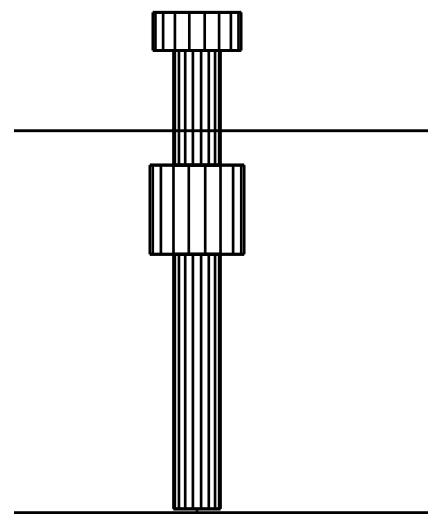
Articulated tower merupakan suatu struktur berupa kolom apung dengan pemberat (*ballast*) dan terhubung dengan dasar laut melalui suatu sendi sehingga struktur dapat bergerak bebas dalam bidang vertikal melalui sendi tersebut. Pondasi dari struktur tidak menahan gaya lateral seperti angin, gelombang, dan arus. Struktur mendapat momen pembalik akibat gaya apung yang diterimanya. Sistem *articulated tower* dimodelkan menggunakan program simulasi dinamik kelautan. Dalam Tugas Akhir ini, sendi dimodelkan dengan satu tali tipe *rope* (*wire with wire core*) yang panjangnya sangat kecil dibandingkan dengan kedalamannya. Panjang tali tersebut adalah 0.3m dengan diameter 0.1m dan dimodelkan dijangkarkan pada dasar laut. Struktur juga akan dihubungkan dengan kapal tanker dengan kapasitas 13000 DWT yang dimodelkan sebagai *vessel* dan

tugboat yang tidak dimodelkan sebagai *vessel* melainkan sesuatu yang letaknya selalu tetap, sehingga tali tambat yang menghubungkan *vessel-tugboat* dimodelkan *vessel-fixed*.

Model *articulated tower* akan disimulasikan terhadap beban lingkungan dengan periode ulang 2 tahun (operasi) dan 100 tahun (ekstrim). Sedangkan sistem *articulated tower* – kapal hanya disimulasikan terhadap beban lingkungan dengan periode ulang 2 tahun. Respon dinamik berupa perpindahan struktur, *tension hawser* (tali tambat antara kapal-struktur) dan tali tugboat akan dibandingkan dengan dua sistem terapung yang lain yaitu *single buoy mooring* dan *spread mooring* dengan kondisi lingkungan, kapal dan spesifikasi tali tambat yang sama. Spesifikasi dan model *articulated tower* dapat dilihat pada **Tabel 1** dan **Gambar 2**.

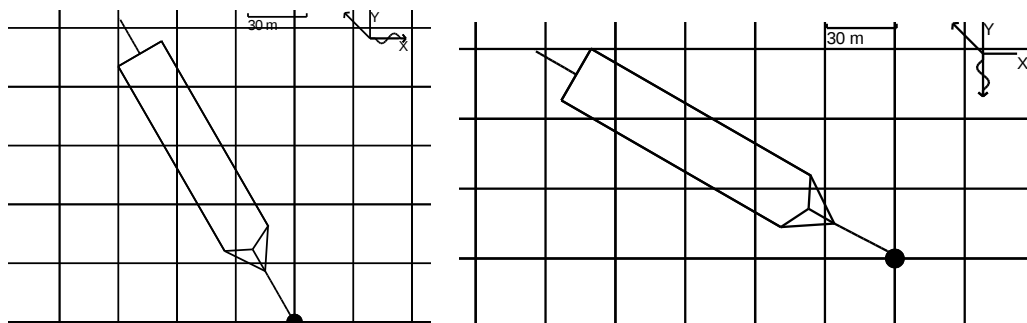
Tabel 1 Spesifikasi *Articulated Tower*

No	Parameter	Ukuran	Unit
1	Kedalaman	30	m
2	Massa tiang	8580	kg/m
3	Panjang tiang	38	m
4	Massa platform	4283	kg
5	Diameter platform	7.5	m
6	Ketinggian platform	38	m
7	Diameter tiang 1	4	m
8	Panjang tiang 1	22	m
9	Diameter tiang 2	7	m
10	Panjang tiang 2	6	m
11	Diameter tiang 3	4	m
12	Panjang tiang 3	10	m
13	Tinggi air (ballast)	5	m
14	Massa total	435.029	ton
15	Inersia Massa (I_x, I_y)	2.219×10^5	ton.m ²
16	Pusat Massa	16.707	m



Gambar 2 Model *Articulated Tower*

Kapal yang digunakan adalah kapal 13000 DWT dengan panjang 128 m dan menggunakan data RAO dari *default* program simulasi dinamik . Mooring yang digunakan sebagai *hawser* menggunakan rope tipe *nylon 8-strands* dengan nominal diameter (D) 60 mm sepanjang 20 m dengan *breaking load* 613.48 kN. Sketsa posisi sistem kapal – *articulated tower* terhadap dua arah gelombang dominan di sekitar Pulau Panjang, Banten, dapat dilihat pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**.



Gambar 3 Sketsa Posisi Kapal Terhadap *Articulated Tower* (Kiri: Gelombang Dominan dari Arah Barat; Kanan: Gelombang Dominan dari Arah Utara)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan sistem *articulated tower* beserta kapal menggunakan program simulasi dinamik kelautan. *Output* pemodelan berupa perpindahan struktur terhadap pusat massanya dan gaya tarik tali tambat yang dapat dilihat pada **Tabel 2** hingga **Tabel 5**.

Tabel 2 Perpindahan *Buoy* Saat Kondisi Operasi dan Kondisi Ekstrim Terhadap 2 Arah Gelombang Dominan

GELOMBANG DARI BARAT								GELOMBANG DARI UTARA							
TANPA VESSEL								TANPA VESSEL							
BEBAN LINGKUNGAN 2 TAHUN								BEBAN LINGKUNGAN 2 TAHUN							
BUOY		X (m)	Y (m)	Z (m)	Rotation 1 (deg)	Rotation 2 (deg)	Rotation 3 (deg)	BUOY		X (m)	Y (m)	Z (m)	Rotation 1 (deg)	Rotation 2 (deg)	Rotation 3 (deg)
	Mean	-0.75	0.76	-13.23	-2.57	-2.54	43.33		Mean	-0.76	0.75	-13.23	-2.54	-2.56	-43.44
	Amplitudo	0.20	0.003	0.01	0.01	0.77	9.03		Amplitudo	0.003	0.20	0.01	0.77	0.01	9.06
BEBAN LINGKUNGAN 100 TAHUN								BEBAN LINGKUNGAN 100 TAHUN							
BUOY		X (m)	Y (m)	Z (m)	Rotation 1 (deg)	Rotation 2 (deg)	Rotation 3 (deg)	BUOY		X (m)	Y (m)	Z (m)	Rotation 1 (deg)	Rotation 2 (deg)	Rotation 3 (deg)
	Mean	-1.50	1.57	-13.35	-5.37	-5.09	40.30		Mean	-1.57	1.50	-13.35	-5.11	-5.35	-40.78
	Amplitudo	0.65	0.02	0.06	0.11	2.36	13.76		Amplitudo	0.02	0.65	0.06	2.37	0.09	13.99

Dari **Tabel 2** dapat dilihat bahwa perpindahan struktur pada kondisi operasi maupun kondisi ekstrim untuk masing-masing arah gelombang dominan, nilainya tidak melebihi 10% dari kedalamannya. Selain itu beban lingkungan dengan periode ulang 100 tahun memberikan perpindahan paling besar untuk masing-masing arah gelombang dominan.

Tabel 3 Perpindahan *Buoy* Saat Terhubung Dengan Kapal (Kondisi Operasi Terhadap 2 Arah Gelombang Dominan)

GELOMBANG DARI BARAT								GELOMBANG DARI UTARA							
DENGAN VESSEL								DENGAN VESSEL							
BEBAN LINGKUNGAN 2 TAHUN								BEBAN LINGKUNGAN 2 TAHUN							
BUOY		X (m)	Y (m)	Z (m)	Rotation 1 (deg)	Rotation 2 (deg)	Rotation 3 (deg)	BUOY		X (m)	Y (m)	Z (m)	Rotation 1 (deg)	Rotation 2 (deg)	Rotation 3 (deg)
	Mean	-2.18	1.78	-13.43	-6.15	-7.49	26.23		Mean	-1.70	2.25	-13.43	-7.75	-5.82	17.92
	Amplitudo	0.34	0.02	0.05	0.10	1.23	3.72		Amplitudo	0.02	0.34	0.05	1.22	0.08	4.15

Tabel 4 Perpindahan Kapal (Kondisi Operasi Terhadap 2 Arah Gelombang Dominan)

GELOMBANG DARI BARAT					GELOMBANG DARI UTARA				
DENGAN VESSEL					DENGAN VESSEL				
BEBAN LINGKUNGAN 2 TAHUN					BEBAN LINGKUNGAN 2 TAHUN				
VESSEL		X (m)	Y (m)	Z (m)	VESSEL		X (m)	Y (m)	Z (m)
	Posisi awal	-47.00	81.40	0.00		Posisi Awal	-81.40	47.00	0.00
	Mean	-47.34	78.98	0.003		Mean	-79.02	47.32	0.003
	Amplitudo	0.71	0.16	0.41		Amplitudo	0.16	0.71	0.41

Dari **Tabel 3** dapat dilihat bahwa apabila dilihat dari pusat massanya, perpindahan rata-rata *buoy* saat terhubung dengan kapal berada di bawah 10% dari kedalamannya. Namun apabila dilihat dari permukaan, perpindahan rata-rata *buoy* berkisar 10%-14% dari kedalamannya. Sedangkan perpindahan kapal (**Tabel 4**) dari posisi awalnya masih dibawah 10% untuk masing-masing arah gelombang dominan.

Tabel 5 Gaya Tarik Tali Tambat (Kondisi Operasi Terhadap 2 Arah Gelombang Dominan)

GELOMBANG DARI BARAT			GELOMBANG DARI UTARA		
DENGAN VESSEL			DENGAN VESSEL		
BEBAN LINGKUNGAN 2 TAHUN			BEBAN LINGKUNGAN 2 TAHUN		
HAWSER (VESSEL- BUOY)	Effective Tension (kN)		HAWSER (VESSEL- BUOY)	Effective Tension (kN)	
	Mean	102.99		Mean	102.67
TALI TAMBAT (VESSEL- TUGBOAT)	Effective Tension (kN)		TALI TAMBAT (VESSEL- TUGBOAT)	Effective Tension (kN)	
	Mean	140.70		Mean	140.45

Dari **Tabel 5** dapat dilihat bahwa gaya tarik kedua tali tambat untuk masing-masing arah gelombang dominan tidak melebihi batas izinnnya yaitu 613.48 kN.

Tabel 6 Perbandingan Tiga Struktur Terapung (*Single Buoy Mooring, Articulated Tower, Spread Mooring System*)

Gelombang dari Barat							Gelombang dari Utara								
Struktur		Simpangan (m)				Gaya Tarik (kN)		Struktur		Simpangan (m)				Gaya Tarik (kN)	
		Buoy		Vessel		Hawser	Line Tugboat			Buoy		Vessel		Hawser	Line Tugboat
		X	Y	X	Y					X	Y	X	Y		
Single Buoy Mooring		-2.42	2.89	1.01	1.00	141.87	236.18	Single Buoy Mooring		-2.61	2.68	0.31	0.85	141.03	236.53
Articulated Tower		-3.90	3.23	0.34	2.42	102.99	140.70	Articulated Tower		-3.05	4.08	2.68	0.32	102.67	140.45
Spread Mooring System	Buoy 1	6.52	13.51	9.35	1.85	75.58	-	Spread Mooring System	Buoy 1	-1.57	3.63	-1.49	-6.82	0.42	-
	Buoy 2	-2.55	2.71			0.34			Buoy 2	-14.02	-6.39			95.17	
	Buoy 3	-4.97	-13.66			66.24			Buoy 3	6.03	-3.15			9.69	
	Buoy 4	3.22	-10.20			4.62			Buoy 4	12.57	1.84			39.26	

Tabel 6 menunjukkan bahwa dilihat dari respon dinamikanya (perpindahan *vessel* dan *buoy*), *single buoy mooring* memberikan nilai terkecil diantara struktur yang lain yaitu di bawah 10% dari kedalaman lautnya.

SIMPULAN DAN SARAN

Perpindahan sistem *articulated tower*-kapal tanker 13000 DWT pada saat kondisi operasi berkisar antara 10-14% dari kedalamannya, sedangkan gaya tarik kedua tali tambat berada di bawah minimum *breaking load*. Dari ketiga struktur terapung yang dimodelkan di sekitar Pulau Panjang, Banten, *single buoy mooring* memberikan perpindahan terkecil dan nilai gaya tarik tali tambatnya pun berada di bawah batas izin. Sebaiknya dalam pemodelan, data yang digunakan lengkap, khususnya data RAO dan *hull* kapal. Selain itu perlu dicoba memodelkan *universal joint* pada *articulated tower* secara lebih baik dan memodelkan *tugboat* dengan sesuatu yang dapat memberikan arah *tension* tetap serta membandingkan ketiga struktur terapung tersebut dari segi ekonomi dan kemudahan operasional.

PUSTAKA

- American Petroleum Institute (API). 1996. *Recommended Practice for Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures*. Washington, D.C.
- Chakrabarti, Subrata K. 1987. *Hydrodynamic of Offshore Structures*, Henry Ling Ltd, Dorchester, Great Britain.
- Giffary, Gilang, Respon Dinamik Sistem *Conventional Mooring Buoy*, Tugas Akhir, Program Studi Teknik Kelautan ITB, Bandung.
- Ihsan, Muhammad, Respon Dinamik *Articulated Tower* Menggunakan *Orcaflex*, Tugas Akhir, Program Studi Teknik Kelautan ITB, Bandung.
- Orcina, Ltd., "*Orcaflex Manual version 8.4a9*".
- Wilson, James F. 2003. *Dynamic of Offshore Structures*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.