RESPON DINAMIK SISTEM *CONVENTIONAL BUOY MOORING* DI SEKITAR PULAU PANJANG, BANTEN, JAWA BARAT

Aninda Miftahdhiyar [1] dan Krisnaldi Idris, Ph.D [2]

Program Studi Teknik Kelautan

Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

[1] aninda.miftahdhiyar@gmail.com dan [2] krisnaldi@ocean.itb.ac.id

ABSTRAK

Conventional buoy mooring adalah salah satu jenis struktur terapung untuk tempat menambat kapal di mana kapal ditambat dengan *rope* ke *buoy* dan *buoy* dijangkar ke *seabed* dengan rantai. *Conventional buoy mooring* sering digunakan untuk tempat penambatan kapal di lepas pantai dan sebagai sarana pendukung *loading-offloading* minyak bumi ke darat dan sebaliknya. Pada kasus ini struktur terletak di sekitar Pulau Panjang, Banten, Jawa Barat. Dalam Tugas Akhir ini akan dibahas mengenai respon dinamik berupa perpindahan struktur, *buoy* dan kapal, dan gaya tarik yang terjadi pada *mooring lines* dan *mooring hawser*.

Pada Tugas Akhir ini dilakukan pemodelan menggunakan perangkat lunak dinamik kelautan. Hasil yang akan dianalisis adalah respon dinamik pada sistem sebagai akibat beban luar yaitu beban gelombang dan beban *vessel* serta gaya tarik yang terjadi pada setiap *mooring line*.

Kata kunci : *conventional buoy mooring*, CBM, respon, dinamik, *mooring*, *tension*, *buoy*, *floating structure*

PENDAHULUAN

Sistem *conventional buoy mooring* adalah salah satu jenis struktur terapung untuk tempat menambat kapal di mana kapal ditambat dengan *mooring hawser*, berupa *rope*, ke *buoy* dan *buoy* dijangkar ke *seabed* dengan rantai. Sistem *conventional buoy mooring* bisa digunakan sebagai tempat untuk penambatan kapal di lepas pantai maupun di tepi pantai. Sistem *conventional buoy mooring* digunakan sebagai sarana pendukung *loading-offloading* minyak bumi atau gas alam ke darat dan sebaliknya. Sistem *conventional buoy mooring* di lepas pantai biasa digunakan untuk menekan biaya transportasi minyak bumi atau gas alam. Struktur *conventional buoy mooring* pada Tugas Akhir ini berlokasi di sekitar Pulau Panjang, Banten, Jawa Barat. Dalam Tugas Akhir ini akan dibahas mengenai respon dinamik berupa perpindahan struktur, *buoy* dan kapal, dan gaya tarik yang terjadi di setiap *mooring lines* dan *mooring hawser*. Terdapat analisis tambahan, yaitu sistem *conventional buoy mooring* akan dibandingkan dengan *single buoy mooring* (SBM) dan *articulated tower* untuk dicari sistem *mooring* yang paling tepat digunakan di sekitar Pulau Panjang. Banten, Jawa Barat (lihat **Gambar 1**).



Gambar 1 Lokasi pemodelan : Pulau Panjang, Banten

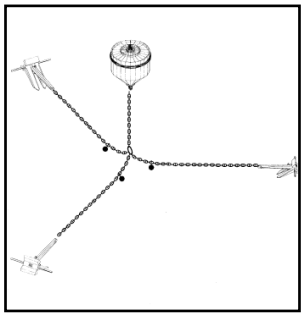
TUJUAN PENULISAN

1. Memperoleh respon *vessel* dan nilai gaya tarik pada *mooring lines* dan *mooring hawser* untuk kondisi operasi.
2. Membandingkan gaya tarik pada *mooring lines* dan *mooring hawser* dan *offset* pada *buoy* dan *vessel* dari sistem *conventional buoy mooring*, *single buoy mooring* (SBM) dan *articulated tower* pada lokasi yang sama.

TEORI DAN METODE PENGERJAAN

Sistem *conventional buoy mooring* terdiri dari 4 buah *buoy* yang masing-masing *buoy* memiliki 1 *line mooring* vertikal (tegak lurus *seabed*) dan 3 *line mooring* yang di-*anchor* ke dasar laut. *Line mooring* pada *buoy* adalah *chain* tipe *studless* dengan diameter 50 mm. Kapal ditambat pada *conventional buoy mooring* menggunakan *hawser*, jenis *rope*, dengan diameter 60 mm. Ilustrasi pemodelan *buoy* dapat dilihat pada Gambar 2. Posisi sistem *conventional buoy mooring* adalah tetap. Proses *loading-unloading* pada lepas pantai membutuhkan kondisi perairan yang tenang sehingga sistem *conventional buoy mooring* didisain agar mampu meminimalisasi pergerakan kapal akibat beban lingkungan agar tidak terlalu besar sehingga tidak mengganggu proses *loading-unloading*. Kapal yang digunakan pada pemodelan adalah kapal berkapasitas 13.000 DWT. *Buoy* dimodelkan sebagai silinder bertumpuk dengan diameter tertentu dengan data *buoy* secara sederhana seperti pada **Tabel 1**. Properti *chain* dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Pada pemodelan teori yang digunakan adalah teori mengenai gelombang, struktur terapung, dinamika struktur terapung, gaya gelombang, sistem *mooring*, dan teori tentang *buoy*.



Gambar 2 Ilustrasi pemodelan *buoy*

DATA

Berikut ini adalah data yang digunakan pada pemodelan.

1. Data Lingkungan

Berikut ini adalah data gelombang dan angin (**Tabel 1**) dan data arus (**Tabel 2**).

Tabel 1 Data gelombang dan angin

Periode Ulang (tahun)	Tinggi Gelombang (meter)	Periode Gelombang (detik)	Kecepatan Angin (m/s)
2	2.03	6.42	10.23
100	3.75	8.83	23.37

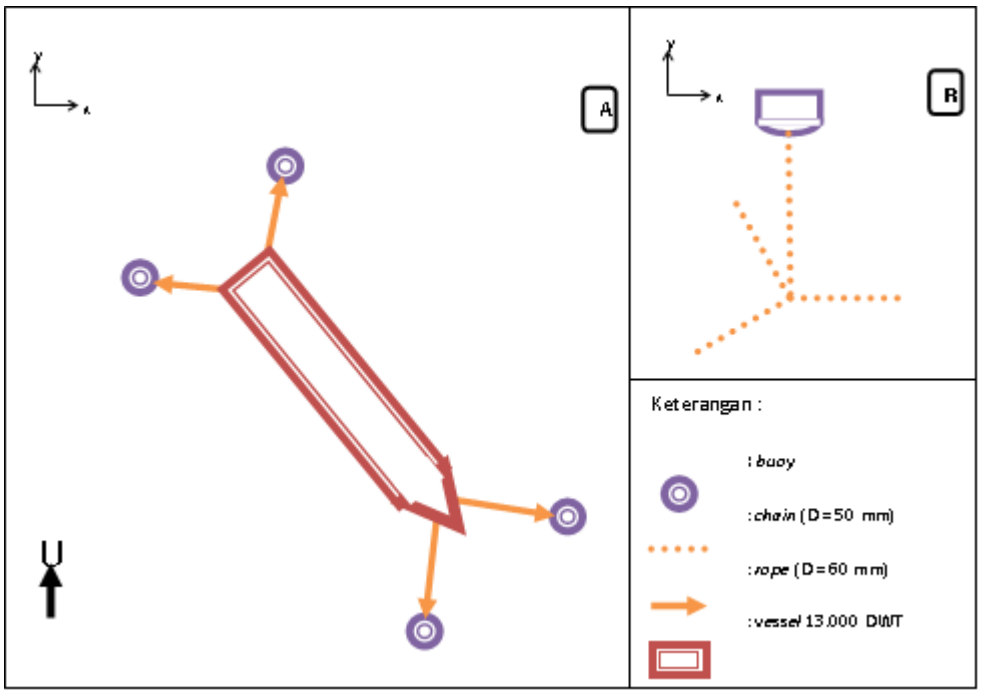
Tabel 2 Data arus untuk beberapa kedalaman

Depth (% *of depth*)	*Current Speed* (m/s)	
	Periode Ulang 2 Tahun	Periode Ulang 100 Tahun
0	1.40	2.32
10	1.38	2.23
20	1.34	2.13
30	1.29	2.01
40	1.23	1.88
50	1.16	0.73
60	1.08	1.57
70	0.99	1.40
80	0.88	1.20
90	0.76	0.98
100	0.62	0.77

Arah angin dan gelombang dominan berasal dari arah barat dan utara. Arah arus yang dimodelkan berasal dari tenggara.

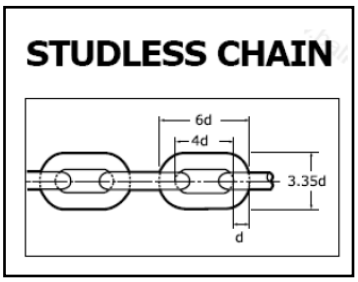
2. Data Buoy, *Mooring* Lines, *Mooring* Hawser, dan *Vessel*

Ilustrasi pemodelan sistem *conventional buoy mooring* dapat dilihat pada **Gambar 3**. Data *buoy* dapat dilihat pada **Tabel 3** dan data panjang *mooring line* dan *mooring hawser* dapat dilihat pada **Tabel** 4.

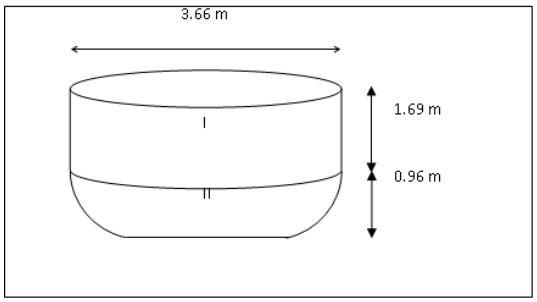


Gambar 3 Ilustrasi pemodelan *conventional buoy mooring*

Pemodelan *mooring lines* menggunakan *chain* tipe *studless* dengan diameter 50 mm. Pada **Gambar 4** dapat dilihat ilustrasi dimensi pada *chain* tipe *studless*. Ilustrasi *buoy* yang dimodelkan terdapat pada **Gambar 5**.



Gambar 4 Properti *studless chain*



Gambar 5 Ilustrasi *buoy* yang dimodelkan

Tabel 3 Data *Buoy*

Berat (kg)	Diameter (m)	Tinggi (m)	I_x dan I_y ($ton.m^2$)	I_z ($ton.m^2$)
4717.44	3.66	2.65	5.867	7.68

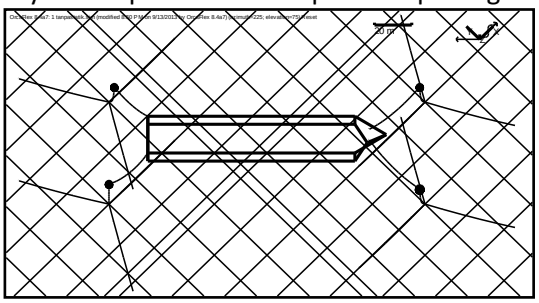
Tabel 4 Data *mooring lines* dan *mooring hawser*

Istilah	Line	Panjang (m)
Mooring Lines	1,6,11,16	30
	2-4,7-9,12-14,17-19	50
Mooring Hawser	5	43
	10	42
	15	30
	20	36

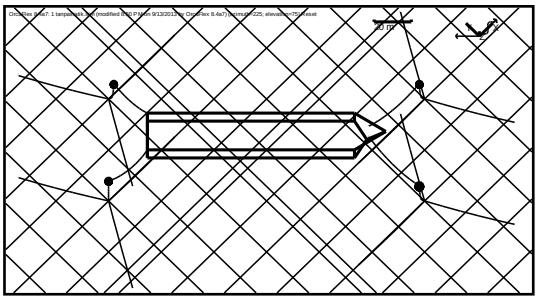
Tabel 5 Data *vessel*

Kapasitas (DWT)	LOA (m)	Breadth (m)	Draft (m)
13.000	128	20.4	8.35

Layout pemodelan pada perangkat lunak dinamik kelautan dapat dilihat pada



Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6 Pemodelan pada perangkat lunak

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pemodelan 1 *Buoy* dengan Beban Lingkungan

Berikut ini adalah rangkuman simpangan dan amplitudo 1 *buoy* dalam **Tabel 6**.

Tabel 6 Hasil pemodelan 1 *buoy* dengan beban lingkungan

Arah	Nilai	OPERASI		BADAI	
		Gel. 0°	Gel. 270°	Gel. 0°	Gel. 270°
X	Simpangan (m)	-2.30	-4.26	-0.14	-1.90
	Amplitudo (m)	1.08	0.48	2.62	0.50
Y	Simpangan (m)	4.26	2.30	2.05	-1.93
	Amplitudo (m)	0.12	2.62	0.50	2.66

Z	Simpangan (m)	0.34	0.34	0.40	-0.01
	Amplitudo (m)	0.67	1.20	1.19	1.19

Pemodelan *buoy* dengan beban lingkungan dilakukan untuk menganalisis perpindahan *buoy* yang terjadi pada arah x dan y, selanjutnya akan disebut sebagai *offset*, terhadap beban lingkungan saja tanpa beban *vessel*. Berdasarkan API RP 2SK, *offset* maksimum yang diizinkan terjadi berkisar antara 15-30% kedalaman air. Jadi untuk kasus ini, *offset* maksimum yang diizinkan sebesar 4,5 m. Dapat dilihat dari tabel bahwa *offset* pada *buoy* tidak melebihi nilai *offset* maksimum yang diizinkan.Rangkuman gaya tarik *mooring lines* dengan beban lingkungan dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Tabel 7 Gaya tarik *mooring lines* pada *buoy* dengan beban lingkungan

Line	Operasi		Badai	
	Gel. 0°	Gel. 270°	Gel. 0°	Gel. 270°
1	95.8	73.8	69.9	73.8
2	103.2	167.1	165.9	167.1
3	102.3	172.5	165.8	172.5
4	107.61	178.7	176.1	178.7

Nilai gaya tarik maksimum untuk semua *line* pada kondisi yang dimodelkan harus berada di bawah nilai *Minimum Breaking Load* (MBL) yaitu sebesar 2.110 kN. Gaya tarik maksimum pada kondisi operasi untuk gelombang 0° adalah pada *line* 4, yaitu senilai 107.61 kN. Gaya tarik maksimum pada kondisi badai untuk gelombang 0° adalah pada *line* 4, yaitu senilai 176.1 kN. Gaya tarik maksimum pada kondisi operasi untuk gelombang 270° adalah pada *line* 4, yaitu senilai 178.7 kN atau sebesar gaya tarik maksimum pada *line* 4 kondisi badai untuk gelombang 270°. Nilai gaya tarik maksimum pada tiap kondisi tidak melebihi nilai MBL.

2. Hasil Pemodelan *Conventional Buoy Mooring System* dan *Vessel*

Berikut ini adalah rangkuman simpangan *buoy* dan *vessel* untuk kondisi operasi dengan beban gelombang dari barat dan utara (lihat **Tabel 8**)**.**

Tabel 9

Tabel 8 Perpindahan pada *buoy* dan *vessel* pada arah x, y, dan z

Buoy	Gel. 0°			Gel. 270°		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	-1.57	3.63	0.30	6.52	13.51	-1.2
2	-14.02	-6.39	-0.86	-2.55	2.71	0.26
3	6.03	-3.15	0.13	-4.97	-13.66	-0.54
4	12.57	1.84	-0.49	3.22	-10.20	-0.53
Vessel	-1.49	-6.82	0	9.352	1.846	0

Tabel 9 Gaya tarik maksimum pada *mooring line* dan *mooring hawser*

Line	Gaya Tarik Maksimum (kN)	
	Gel 0°	Gel 270°
1	105.25	255.63
2	149.72	739.47
3	154.90	598.35
4	166.20	754.21
5	1.53	124.01
6	242.04	37.91
7	593.28	68.21
8	754.44	66.01
9	699.11	68.46
10	142.26	1.25

11	116.61	365.05
12	352.77	939.97
13	409.57	977.33
14	401.83	723.41
15	59.34	251.36
16	347.05	382.83
17	770.88	668.64
18	940.49	757.03
19	1039.81	783.25
20	224.02	76.38

3. Perbandingan Sistem *Mooring*

Tugas Akhir ini berkaitan dengan dua Tugas Akhir lain, yaitu Tugas Akhir dari **Christina Rahayu Wulandari** (15509020) yang membahas respon dinamik sistem *articulated tower* dan Tugas Akhir dari **Gabriella Renetta Anindia** (15509037) yang membahas respon dinamik sistem *single point mooring*.Respon dinamik dari ketiga struktur terapung ini akan dibandingkan untuk menentukan struktur terapung yang paling efektif untuk lokasi di sekitar Pulau Panjang, Banten. Aspek yang ditinjau hanya berdasarkan *displacement* dan gaya tarik dari *mooring hawser* saja tanpa memperhitungkan dari segi ekonomi, yaitu biaya konstruksi dan biaya operasional, dan teknis di lapangan, yaitu kemudahan proses instalasi dan *maintenance*. Berikut ini adalah **.**

Tabel 10 rangkuman simpangan dan gaya tarik tiga sistem *mooring*.

Tabel 10 Perbandingan tiga sistem *mooring*

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

Dari **.**

Tabel 10 terlihat bahwa *displacement buoy* dan *vessel* yang paling besar dihasilkan oleh sistem *conventional buoy mooring*. Hal ini disebabkan oleh dimensi *buoy* yang berukuran kecil jika dibandingkan dengan dua struktur sistem lain dan konfigurasi jarak antar-*buoy* dan panjang *mooring hawser* yang tidak seragam atau simetris. Jika membandingkan *single buoy mooring* dibandingkan dengan *articulated tower*, simpangan pada SBM lebih kecil karena luas area yang terkena beban lingkungan pada sistem *articulated tower* jauh lebih besar dari SBM. Arah angin dan gelombang yang berubah-ubah membuat sistem yang

memiliki kemampuan *weather varying* seperti *single point mooring* (termasuk di dalamnya *single buoy mooring* dan *articulated tower*) lebih baik untuk di lokasi Tugas Akhir ini, di Pulau Panjang, Banten.

Dari jenisnya, SBM dan *articulated tower* termasuk jenis *single point mooring*. Berdasarkan hal tersebut akan dibandingkan gaya tarik *hawser* dan *line* penghubung ke *tug boat* pada SBM dan *articulated* tower dan didapatkan bahwa gaya tarik *hawser* dan *line* penghubung ke *tug boat* pada SBM lebih besar nilainya. Hal ini disebabkan oleh struktur SBM yang lebih kecil dibandingkan *articulated tower* sehingga harus menahan beban yang lebih besar. Gaya tarik *line tugboat* pada *single buoy mooring* cenderung lebih besar dari *articulated tower*.

Untuk wilayah perairan di sekitar Pulau Panjang, Banten, struktur terapung sebagai sarana tambat pada proses *loading-unloading* minyak atau gas alam yang paling efektif ditinjau dari respon dinamik berupa gaya dan perpindahan tanpa memperhitungkan aspek lain adalah sistem *single buoy mooring* (SBM).

SIMPULAN DAN SARAN

Berikut ini adalah simpulan dari Tugas Akhir ini :

1. Pembebanan lingkungan pada 1 *buoy* saja masih memenuhi persyaratan *offset* pada API RP 2SK sedangkan penambahan *vessel* pada model dengan pembebanan lingkungan, *offset* dari *conventional buoy mooring system* tidak memenuhi persyaratan API RP 2SK.
2. Gaya tarik maksimum pada *mooring lines* dan *mooring hawser* masih memenuhi persyaratan yaitu di bawah *Minimum Breaking Load* (MBL).
3. Jika membandingkan respon dan gaya tarik pada *conventional buoy mooring system* dengan *single buoy mooring* dan *articulated tower*, sistem yang paling tepat di perairan di sekitar Pulau Panjang, Banten, adalah *single buoy mooring*.
4. *Conventional buoy mooring system* tidak cocok digunakan untuk lokasi dengan arah beban lingkungan yang tidak seragam (*weather vaning*).

Berikut ini adalah saran dari Tugas Akhir ini :

1. Dalam pemodelan *conventional buoy mooring system* dengan *vessel*, sebaiknya menggunakan data RAO yang sebenarnya agar hasil yang didapat lebih akurat.
2. Dalam pemodelan, sebaiknya dilakukan dengan panjang *mooring hawser* yang sama dan dengan jarak antar-*buoy* yang simetris pada *conventional buoy mooring system*.
3. Perlunya modifikasi dimensi *buoy* apabila pada pemodelan *buoy* tenggelam pada saat simulasi.
4. Dari hasil luaran pemodelan, apabila ada hasil yang menunjukkan bahwa ada *buoy* yang tidak bekerja (gaya tarik yang terjadi mendekati nol), perlu dicari konfigurasi baru agar keempat *buoy* bekerja maksimum.

DAFTAR PUSTAKA

American Petroleum Institute (API), 1996. *Recommended Practice for Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures*. Washington, D.C.

American Petroleum Institute (API). 1987. *Recommended Practice for the Analysis of Spread Mooring System for Floating Drilling Unit*, Washington, D.C.

Dean, Robert G., dan Dalrymple, Robert A. 1991. "*Water Wave Mechanics For Engineers And Scientists*". Singapore : World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Giffary, Gilang. (2012) Respon Dinamik Sistem Conventional Buoy Mooring, Tugas Akhir, Program Studi Teknik Kelautan ITB, Bandung.

Orcina, Ltd., "*Orcaflex Manual version 8.2*".

Primantoko, Rachman Dali. (2010) Analisis Penggantian Mooring Vessel Floating Production Unit (FPU), Tugas Akhir, Program Studi Teknik Kelautan ITB, Bandung

Tawekal, Ricky Lukman. KL-4131 "Diktat Bangunan Lepas Pantai". Bandung : Penerbit ITB.

Wilson, James F. 2003. *Dynamic of Offshore Structures Second Edition*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. United States of America.

Design Moorings, Departement of Defense, United States of America