

RESPON DINAMIK SISTEM *SINGLE BUOY MOORING* di SEKITRAR PULAU PANJANG, BANTEN

Gabriella Renetta Anindia¹ dan Krisnaldi Idris, Ph.D²

Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha 10 Bandung 40132

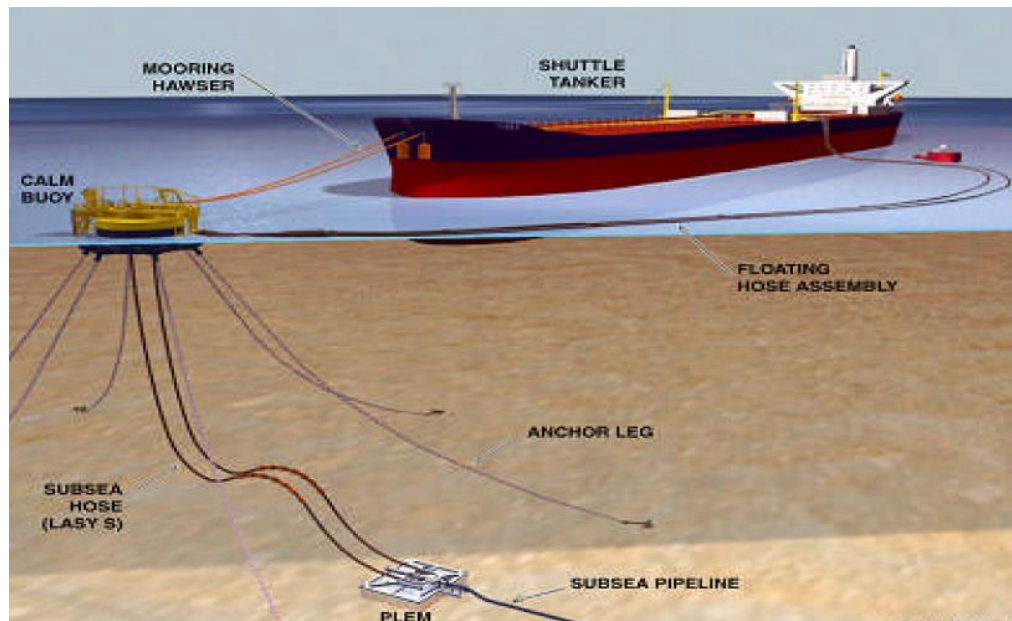
gabriella.renetta@hotmail.com dan krisnaldi@ocean.itb.ac.id

Kata Kunci : SBM, *buoy*, *mooring*, respon, *tension*

PENDAHULUAN

Eksplorasi yang dilakukan di lepas pantai membutuhkan teknologi yang canggih. Sebuah kapal tanker tidak dapat langsung melakukan pengeboran ke dalam sumber minyak bumi. Oleh karena itu dibutuhkan solusi dari permasalahan tersebut dan yang dibahas dalam laporan ini adalah *Single Buoy Mooring*. Sistem berupa 1 *buoy* yang dijangkar dengan beberapa *mooring* ke dasar laut, terdapat *subsea hose* untuk mengalirkan minyak dan merupakan struktur dengan posisi tetap. Kemudian kapal tanker akan datang untuk mengalirkan minyak dari sistem ke kapal.

Hal yang akan dibahas pada Tugas Akhir ini adalah respon dinamik pada sistem sebagai akibat beban luar yang diterima (lingkungan dan kapal) serta gaya tarik yang terjadi pada setiap *line mooring*.



Gambar 1 Ilustrasi sistem *single buoy mooring*.

TUJUAN PENULISAN

1. Memperoleh respon *buoy* dan nilai *tension* pada *mooring*.
2. Membandingkan efisiensi yang terjadi pada sistem *single buoy mooring* dengan sistem lain yaitu *spread mooring* dan *articulated tower* pada kondisi lingkungan dan kapal yang sama..

TEORI dan METODE Pengerjaan

Pada tugas akhir ini akan dilakukan pemodelan Sistem *Single Buoy Mooring* menggunakan perangkat lunak dinamik kelautan. *Buoy* akan dimodelkan sebagai silinder dengan skirt. *Mooring* berjumlah enam buah dan merupakan rantai bertipe *studless*. Beban lingkungan yang akan digunakan adalah arus, gelombang dan angin.

Sistem ini kemudian akan disimulasikan 2 kali yaitu pembebanan lingkungan saja serta pembebanan lingkungan berikut kapal. Untuk pembebanan lingkungan saja akan disimulasikan dalam dua kondisi yaitu operasi dan ekstrim. Sistem ini kemudian dihubungkan ke kapal (*hawser*) dengan *rope* bertipe *nylon 8-strands* dan disimulasikan dalam kondisi operasi.

Semua hasil baik respon pada *buoy* maupun nilai *tension* pada *mooring* harus memenuhi standard yang sudah ada, dalam hal ini mengacu pada API RP 2SK, *Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structure*.

DATA

1. Data Lingkungan

Beban lingkungan yang dipakai adalah gelombang dan angin (**Tabel 1**) dan 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

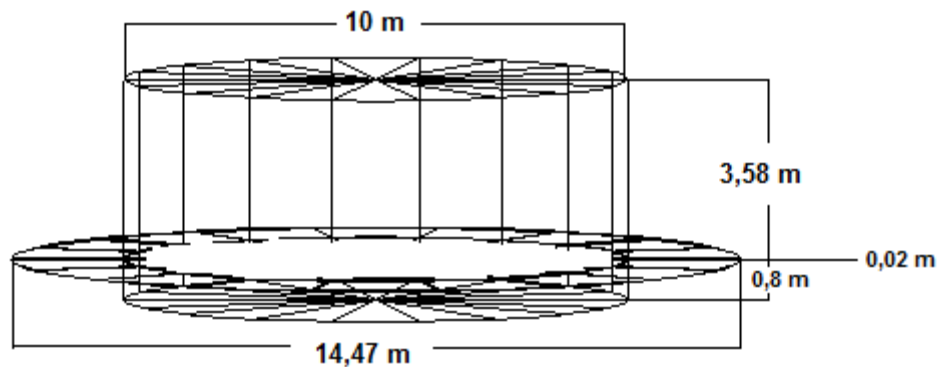
Tabel 2 Data Arus

Depth (% of depth)	Current Speed (m/s)	
	PeriodeUlang 2 Tahun	PeriodeUlang 100 Tahun
0	1,404	2,324
10	1,377	2,232
20	1,339	2,107
30	1,290	2,009
40	1,229	1,878
50	1,161	1,732
60	1,081	1,571
70	0,98	1,39
80	0,880	1,201
90	0,757	0,969
100	0,618	0,765

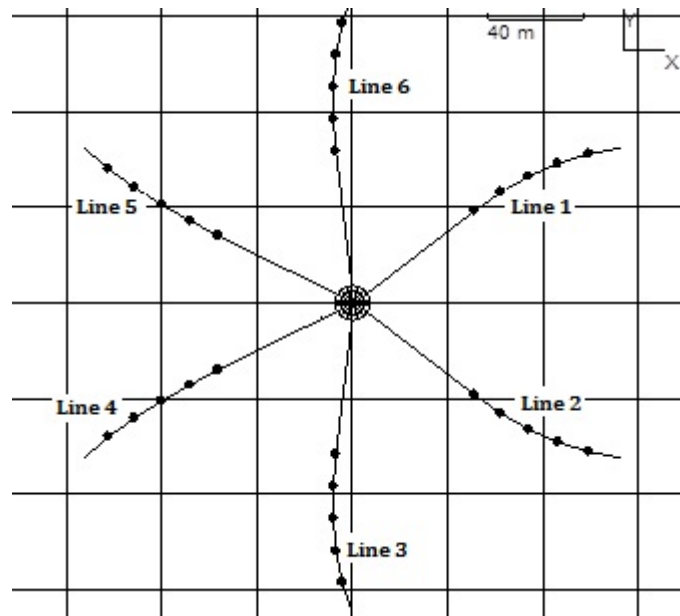
Arah angin dan gelombang dominan adalah dari barat dan dari utara sementara arah arus adalah dari tenggara.

2. Data Sistem

Sistem terdiri dari *buoy* (**Gambar 2**) dan *mooring* (**Gambar 3**) yang dihubungkan ke *vessel* (**Gambar 4**). Semua data komponen sistem terangkum dalam **Tabel 3**.



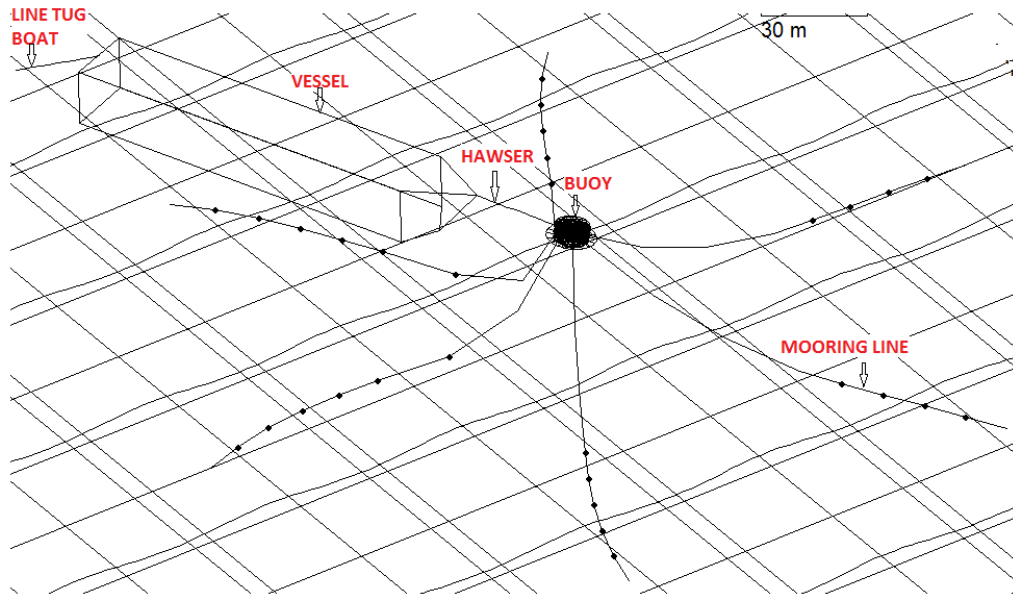
Gambar 2 Ilustrasi *buoy* yang dimodelkan.



Gambar 3 Ilustrasi peletakan posisi *line*.

Tabel 3 Data Komponen Sistem

Tinggi Buoy	4,4 m
Diameter Buoy	10 m
Diameter Skirt	14,47 m
Massa	173 ton
Panjang Mooring	135 m
Diameter Mooring	70 mm
Minimum Breaking Load Mooring	3750 kN
Panjang Hawser	20 m
Diameter Hawser	60 mm
Minimum Breaking Load Hawser	614,1 kN
Panjang Kapal	128 m



Gambar 4 Ilustrasi sistem dan kapal dalam bentuk 3D.

HASIL dan ANALISIS

1. Pembebanan Linngkungan

Berikut rangkuman simpangan dan amplitudo *buoy* dalam **Tabel 4**.

Tabel 4 Respon *Buoy* dalam Pembebanan Lingkungan

		OPERASI		EKSTRIM	
		Gel. 0°	Gel. 270°	Gel. 0°	Gel. 270°
X	Simpangan (m)	-0,41	-0,53	1,16	-1,7
	Amplitudo (m)	1,75	0,08	4,3	0,17
Y	Simpangan (m)	0,69	0,49	1,82	1,21
	Amplitudo (m)	0,06	1,77	0,25	4,46
Z	Simpangan (m)	0,81	0,817	0,86	0,86
	Amplitudo (m)	1,79	1,85	3,6	3,62
X	Rotasi (°)	1,32	1,07	3,19	2,6
	Amplitudo (°)	2,54	13,63	5	9,56
Y	Rotasi (°)	2,31	2,6	3,13	4,09
	Amplitudo (°)	14,45	3,5	10,38	4,16
Z	Rotasi (°)	-0,3038	-0,0321	-0,1825	0,7858
	Amplitudo (°)	0,7135	2,263	2,345	5,1187

Pada beban lingkungan akan dilakukan analisis gerak perpindahan *buoy* yang terjadi yaitu pada arah x dan arah y, untuk selanjutnya akan disebut sebagai *offset*. 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.

Berikut rangkuman gaya tarik maksimum pada tiap kondisi dalam **Tabel 5**.

Tabel 5 Gaya Tarik *mooring* dalam Pembebanan Lingkungan

	OPERASI		EKSTRIM	
	Gel. 0°	Gel. 270°	Gel. 0°	Gel. 270°
Line 1 (kN)	88,3773	85,1243	167,19	123,608
Line 2 (kN)	91,5324	89,7409	163,534	128,509
Line 3 (kN)	87,712	95,453	109,722	162,499
Line 4 (kN)	148,274	98,7355	234,382	129,536
Line 5 (kN)	195,187	98,5704	264,547	179,822
Line 6 (kN)	76,8624	102,731	159,178	262,902

Nilai gaya tarik maksimum untuk *mooring* pada setiap kondisi yang ditinjau harus berada di bawah nilai MBL yaitu sebesar 3750 kN. Gaya tarik maksimum pada kondisi operasi untuk gelombang 0° adalah pada *line* 5 senilai 195,187 kN dan pada kondisi ekstrim senilai 264,54 kN. Gaya tarik maksimum pada kondisi operasi untuk gelombang 270° adalah pada *line* 6 senilai 102,73 kN dan pada kondisi ekstrim senilai 262,9 kN. Nilai gaya tarik maksimum pada tiap kondisi tidak melebihi nilai MBL.

2. Pembebanan Lingkungan dan Kapal

Berikut rangkuman simpangan dan rotasi *buoy* dan kapal pada **Tabel 6**.

Tabel 6 Perpindahan *Buoy* dan Kapal

	OPERASI	
	Gel. 0°	Gel. 270°
<i>Buoy</i>		
X (m)	-2,612	-2,42
Y (m)	2,682	2,89
Z (m)	0,867	0,866
rot x (°)	1,748	1,492
rot y (°)	1,94	2,14
rot z (°)	2,33	-1,48
Kapal		
X (m)	-0,306	-1,01
Y (m)	0,85	1

Pada beban lingkungan dengan kapal juga akan dilakukan analisis *offset*. Berdasarkan API RP 2SK, *offset* maksimum yang diizinkan sebesar 4,5 m. Dapat dilihat dari tabel bahwa *offset* pada *buoy* tidak melebihi nilai *offset* maksimum yang diizinkan.

Berikut rangkuman gaya tarik maksimum tiap *line* dan pada tiap kondisi pada **Tabel 7**.

Tabel 7 Gaya Tarik Mooring, Hawser dan Line Tug Boat dalam Pembebanan Kapal

	Gel. 0°	Gel. 270°
<i>Line 1</i>	105.83	78.84
<i>Line 2</i>	205.64	161.66
<i>Line 3</i>	108.02	184.88
<i>Line 4</i>	159.48	94.59
<i>Line 5</i>	41.79	40.46
<i>Line 6</i>	48.32	65.77
<i>Hawser</i>	141.03	141.87
<i>Tug Boat</i>	236.53	236.18

Nilai gaya tarik maksimum untuk *mooring* pada setiap kondisi yang ditinjau harus berada di bawah nilai MBLnya yaitu sebesar 3750 kN. Gaya tarik maksimum pada kondisi operasi untuk gelombang 0° adalah pada *line 2* senilai 205,64 kN. Gaya tarik maksimum pada kondisi operasi untuk gelombang 270° adalah pada *line 3* senilai 184,88 kN. Nilai gaya tarik maksimum untuk *hawser* dan *line tug boat* pada setiap kondisi yang ditinjau harus berada di bawah nilai MBL yaitu sebesar 614,1 kN. Untuk tiap arah gelombang nilai gaya tarik maksimum yang terjadi berkisar pada 236 kN, yang berarti tidak melebihi nilai MBL.

3. Perbandingan Sistem *Mooring*

Bersama Tugas Akhir ini, terdapat 2 Tugas Akhir lain membahas mengenai sistem *mooring* yang berbeda dengan kondisi pembebanan (lingkungan dan kapal) yang sama yaitu sistem *Articulated Tower* dan *Spread Mooring*.

Perbandingan ke-3 sistem ini dilakukan dengan meninjau nilai perpindahan *buoy* dan kapal serta gaya tarik pada *hawser* pada masing-masing sistem dan pada tiap arah datang gelombang dominan. Perbandingan ke-3 sistem ini ditunjukkan pada **Tabel 8** dan **Tabel 9**.

Tabel 8 Perbandingan Sistem *Mooring* Kondisi Gelombang 0°

Struktur		Simpangan (m)				Gaya Tarik (kN)	
		<i>Buoy</i>		<i>Vessel</i>		<i>Hawser</i>	<i>Line Tugboat</i>
		X	Y	X	Y		
<i>Single Buoy Mooring</i>		-2,42	2,89	1,01	1,00	141,87	236,18
<i>Articulated Tower</i>		-3,90	3,23	0,34	2,42	102,99	140,70
<i>Spread Mooring System</i>	<i>Buoy 1</i>	6,52	13,51	9,35	1,85	75,58	-
	<i>Buoy 2</i>	-2,55	2,71			0,34	
	<i>Buoy 3</i>	-4,97	-13,66			66,24	
	<i>Buoy 4</i>	3,22	-10,20			4,62	

Tabel 9 Perbandingan Sistem *Mooring* Kondisi Gelombang 270°

Struktur		Simpangan (m)				Gaya Tarik (kN)	
		<i>Buoy</i>		<i>Vessel</i>		<i>Hawser</i>	<i>Line Tugboat</i>
		X	Y	X	Y		
<i>Single Buoy Mooring</i>		-2,61	2,68	0,31	0,85	141,03	236,53
<i>Articulated Tower</i>		-3,05	4,08	2,68	0,32	102,67	140,45
<i>Spread Mooring System</i>	<i>Buoy 1</i>	-1,57	3,63	-1,49	-6,82	0,42	-
	<i>Buoy 2</i>	-14,02	-6,39			95,17	
	<i>Buoy 3</i>	6,03	-3,15			9,69	
	<i>Buoy 4</i>	12,57	1,84			39,26	

Dari ke dua tabel di atas dapat dilihat bahwa yang memberikan simpangan lebih kecil pada *buoy* dan kapal adalah sistem *Single Buoy Mooring*. Jika dibandingkan dengan sistem *articulated tower* hal ini dikarenakan luas area yang terkena beban lingkungan pada sistem *articulated tower* jauh lebih besar. Sementara jika dibandingkan dengan sistem *spread mooring* hal ini dikarenakan oleh geometri pada struktur *buoy* yang berukuran kecil dan peletakan kapal yang selalu tetap dalam kondisi lingkungan apapun.

Dari ke dua tabel di atas juga dapat dilihat bahwa jika dibandingkan dengan sistem *articulated tower* yang juga tergolong *single point mooring* gaya tarik *hawser* dan *line* penghubung ke *tug boat* pada *single buoy mooring* lebih besar nilainya. Hal ini disebabkan oleh struktur *single buoy mooring* yang lebih kecil sehingga harus menahan pembebanan yang lebih besar.

KESIMPULAN dan SARAN

Dari hasil dan analisis dapat diambil kesimpulan yaitu baik pembebanan lingkungan saja dalam kondisi operasi dan ekstrim serta pembebanan berikutan kapal dalam kondisi operasi, offset *buoy* dan kapal memenuhi persyaratan API RP 2SK dan nilai gaya tarik pada mooring dan *hawser* serta *line* penghubung pada *tug boat* berada di bawah minimum breaking load. Jika dibandingkan dengan sistem *articulated tower* dan *spread mooring* mengenai respon dan gaya tarik maka sistem *single buoy mooring* adalah yang paling baik. Dalam pemodelan SBM ini lebih baik jika memperhitungkan panjang mooring dan kontur permukaan dasar laut yang sebenarnya sehingga hasil lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

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