

# Study Optimasi Panjang Mooring Line Tipe Spread Mooring pada F(P)SO

Budi Setyo Prasadjo<sup>1</sup>, Wahyu Dwi Aristanto<sup>2</sup>, Dhani Fayumi Ashyar<sup>2</sup>

## Abstrak

Dalam analisa mooring untuk F(P)SO (Floating (Production) Storage and Offloading), banyak hal yang harus dipertimbangkan agar mooring system bisa memenuhi standard kelayakan dan keamanan. Di paper ini akan dibahas mengenai optimasi panjang mooring line untuk mooring system tipe spread mooring pada kapal tanker dengan kapasitas sekitar 10,000 dan 20,000 DWT yang nantinya akan dikonversi menjadi F(P)SO. Jumlah mooring line diberi batasan untuk 8 spread mooring line (tipikal) dengan konfigurasi mooring line dan pretension mooring line yang sama untuk kedua kapasitas kapal yang berbeda. Variasi hanya pada panjang mooring line untuk melihat secara jelas sejauh mana pengaruh perubahan panjang mooring line terhadap tension dari tiap mooring line dan offset gerakan dari FPSO saat di tambat dan menerima beban beban lingkungan laut (gelombang, angin, arus) dengan menggunakan full analisa dinamis dengan metode time domain. Dari studi ini bisa diketahui dengan penambahan panjang mooring line maka akan terjadi pengurangan maksimum tension pada mooring line, tapi sebaliknya terjadi penambahan offset gerakan kapal.

**Kata kunci :** Mooring, FPSO, Mooring line, Mooring tension, Offset Kapal

## Abstract

*In the Mooring analysis for F(P)SO many parameters should be considered in order the mooring system design will fulfill required standard and safety. In this study, optimization of mooring lines length type spread mooring for tanker in which will be converted into FPSO with capacity approx. 10,000 and 20,000 DWT will be assessed. The study will be analyzed the effect of mooring lines length on the 8 spread mooring lines of FPSO. However, the mooring configuration and pretension for the 2 different FPSO will be applied same. The maximum tension and vessel offset of the mooring system during survival conditions in sea environment loads (wave, wind and current) by using full dynamic of time domain analysis method will be assessed. From this study, it is found that the additional length of mooring lines will reduce the maximum line tension, although the vessel offset will be more.*

**Keyword :** Mooring, FPSO, Mooring line, Mooring tension, Vessel Offset

## PENDAHULUAN

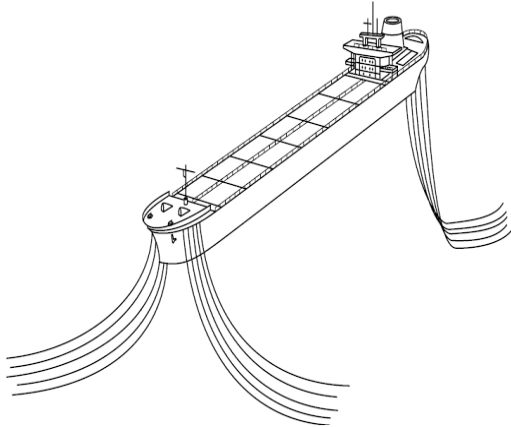
Saat ini, Industri minyak dan gas bumi di lepas pantai mengalami perkembangan menuju ke laut dalam, sehingga struktur anjungan terpancang (*fixed platform*) menjadi tidak ekonomis apabila dibandingkan dengan anjungan terapung (*floating platform*) yang dapat dengan mudah berpindah dari suatu lokasi ke lokasi yang lain. *Floating platform*

mempunyai peranan yang sangat penting dalam pengembangan ladang minyak di perairan dalam atau menengah dan menjadi suatu alternatif yang banyak dipilih daripada fixed platform. F(P)SO (Floating (Production) Storage and Offloading) merupakan alternatif anjungan terapung yang mulai banyak di pakai di Indonesia karena faktor kedalaman air yang semakin dalam dan konversi dari Kapal Tanker.

1. UPT BPPH-BPPT, Surabaya

2. PT Waicitrya Kumara, Surabaya

Saat beroperasi, karena operasi di Laut akan menerima beban lingkungan (arus, angin dan gelombang) maka akan dibutuhkan sistem tali tambat (Mooring System) pada FPSO tersebut yang berguna sebagai pengikat FPSO agar tetap pada posisinya dan mengurangi gerakan FPSO. Gambar Artistik dari FPSO dan tali tambat di perlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Gambar Artistik FPSO dan Mooring System (diambil dari API RP 2 SK)

Gerakan dari FPSO menyebabkan adanya gaya yang bekerja pada sistem tambat tersebut (tension force, restoring force dan damping) pada mooring system. Gaya-gaya yang terjadi pada mooring system sangatlah bergantung pada beban lingkungan, karakteristik gerakan FPSO dan konfigurasi tali tambat itu sendiri.

Dalam analisa mooring untuk F(P)SO (Floating (Production) Storage and Offloading, banyak hal yang harus dipertimbangkan agar mooring system bisa memenuhi standard kelayakan dan keamanan. Di paper ini akan dibahas mengenai optimasi panjang mooring line untuk mooring system tipe spread mooring pada kapal tanker dengan kapasitas sekitar 10,000 dan 20,000 DWT yang nantinya akan dikonversi menjadi F(P)SO. Jumlah mooring line diberi batasan untuk 8 spread mooring line (tipikal) dengan konfigurasi mooring line dan pretension mooring line yang sama untuk kedua kapasitas kapal yang berbeda. Variasi hanya pada panjang mooring line untuk melihat secara jelas sejauh mana pengaruh perubahan panjang mooring line terhadap tension dari tiap mooring line dan offset gerakan dari FPSO saat di tambat dan menerima beban beban lingkungan laut (gelombang, angin, arus) dengan menggunakan full analisa dinamis dengan metode time domain.

## KRITERIA DESAIN ENVIRONMENTAL LOADS

Maksimum Design Condition untuk environmental loads mengacu ke API RP 2SK seperti di kutip di paragraph di bawah :

The maximum design condition is defined as that combination of wind, waves, and current for which the mooring system is designed. Mooring systems should be designed for the combination of wind, wave, and current conditions causing the extreme load in the design environment. In practice, this is often approximated by the use of multiple sets of design criteria. 100-year design environment, three sets of criteria are often investigated:

- a. the 100-year waves with associated winds and currents,
- b. the 100-year wind with associated waves and currents, and
- c. the 100-year current with associated wave and wind.

The most severe directional combination of wind, wave, and current should be specified for the permanent installation being considered, consistent with the site's environmental conditions.

## MAKSIMUM TENSION

Maksimum tension akan mengacu ke ke API RP 2SK seperti di kutip di paragraph di bawah

Maximum tension can be determined by the following procedure which ever the bigger (a) or (b).

$$T_{max} = T_{mean} + T_{lfmax} + T_{wfsig} \quad (a)$$

$$T_{max} = T_{mean} + T_{wfmmax} + T_{lfsig} \quad (b)$$

Dimana :

$T_{max}$  = Maximum tension

$T_{mean}$  = Mean tension

$T_{wfmmax}$  = Maximum wave frequency tension

$T_{wfsig}$  = Significant wave frequency tension

$T_{lfmax}$  = Maximum low frequency tension

$T_{lfsig}$  = Significant low frequency tension

Maksimum offset akan mengacu ke ke API RP 2SK seperti di kutip di paragraph di bawah

Maximum offset can be determined by the following

procedure which ever the bigger (a) or (b).

$$S_{max} = S_{mean} + S_{lfmax} + S_{wfsig} \quad (a)$$

$$S_{max} = S_{mean} + S_{wfmmax} + S_{lfsig} \quad (b)$$

Dimana :

$S_{mean}$  = Mean vessel offset

$S_{max}$  = Maximum vessel offset

$S_{wfmmax}$  = Maximum wave frequency motion

$S_{wfsig}$  = Significant wave frequency motion

$S_{lfmax}$  = Maximum low frequency motion

$S_{lfsig}$  = Significant low frequency motion

## LIMIT TENSION dan SAFETY FAKTOR

Limit Tension dan Safety faktor untuk mooring line dijelaskan pada tabel 1 dibawah.

Tabel 1. Tension Limit dan Safety Factor

	Analysis Method	Tension Limit (Percent of MBS)	Equivalent Factor of Safety
Intact	Quasi-static	50	2.0
Intact	Dynamic	60	1.67
Damaged	Quasi-static	70	1.43
Damaged	Dynamic	80	1.25

## KAPAL, MOORING LINE dan DATA LINGKUNGAN

Data dari Kapal dijelaskan di bawah :

### Detail Kapal

#### 1. Tanker kapasitas 10,000 DWT

Length Over All (LOA) = 101 Meters  
 Breadth (B) = 21 Meters  
 Moulded Depth (D) = 9 Meters  
 Fully Loaded Draft / = 6 Meters  
 Displacement = 9915.2 Metric Tons

#### 2. Tanker kapasitas 20,000 DWT

Length Over All (LOA) = 149.79 Meters  
 Breadth (B) = 24 Meters  
 Moulded Depth (D) = 12.6 Meters  
 Fully Loaded Draft / = 7.6 Meters  
 Displacement = 21112.6 Metric Tons

## Mooring Line

Mooring line merupakan kombinasi antara rantai (chain) dan tali baja (wire rope) dengan spesifikasi seperti dibawah :

Chain

Type = Stud link

Chain Size = 95 mm diameter (3.75" diameter)

Chain Breaking Load = 922.2 Tons

With Safety Factor (1.67) = 552.21 Tons

Wire = 127 mm diameter (5" diameter)

Wire Breaking Load = 960.79 Tons

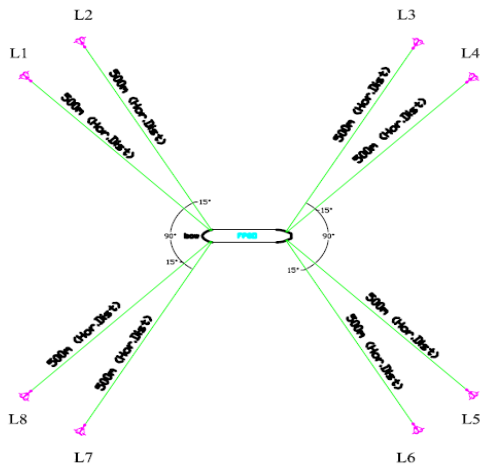
With Safety Factor (1.67) = 575.32 Tons

Mooring system dengan horizontal length 500meter

Tabel 2. Mooring Arrangement 500meter

Mooring Line	Mooring Arrangement
Line1	Approximate 40m of 3.75 Inch dia. chain + 55m of 5 Inch dia. wire + 426.902m of 3.75 Inch dia. chain
Line2	Approximate 40m of 3.75 Inch dia. chain + 55m of 5 Inch dia. wire + 426.902m of 3.75 Inch dia. chain
Line3	Approximate 40m of 3.75 Inch dia. chain + 55m of 5 Inch dia. wire + 426.902m of 3.75 Inch dia. chain
Line4	Approximate 40m of 3.75 Inch dia. chain + 55m of 5 Inch dia. wire + 426.902m of 3.75 Inch dia. chain
Line5	Approximate 40m of 3.75 Inch dia. chain + 55m of 5 Inch dia. wire + 426.902m of 3.75 Inch dia. chain
Line6	Approximate 40m of 3.75 Inch dia. chain + 55m of 5 Inch dia. wire + 426.902m of 3.75 Inch dia. chain
Line7	Approximate 40m of 3.75 Inch dia. chain + 55m of 5 Inch dia. wire + 426.902m of 3.75 Inch dia. chain
Line8	Approximate 40m of 3.75 Inch dia. chain + 55m of 5 Inch dia. wire + 426.902m of 3.75 Inch dia. chain

Mooring system dalam 8 lines spread mooring system dengan gambar sketsa untuk mooring system seperti dijelaskan pada gambar 2 dibawah.



Gambar 2. Mooring arrangement untuk panjang line 500 m.

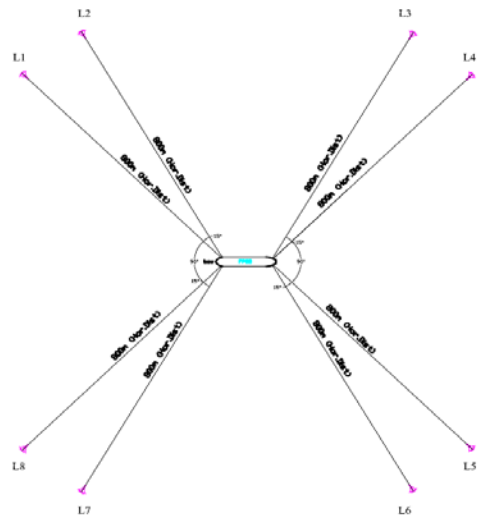
Mooring system dengan horizontal length 800meter

Tabel 3. Mooring Arrangement 800meter

Mooring Line	Mooring Arrangement
Line1	Approximate 40m of 3.75 Inch dia. chain + 55m of 5 Inch dia. wire + 726.854m of 3.75 Inch dia. chain
Line2	Approximate 40m of 3.75 Inch dia. chain + 55m of 5 Inch dia. wire + 726.854m of 3.75 Inch dia. chain
Line3	Approximate 40m of 3.75 Inch dia. chain + 55m of 5 Inch dia. wire + 726.854m of 3.75 Inch dia. chain
Line4	Approximate 40m of 3.75 Inch dia. chain + 55m of 5 Inch dia. wire + 726.854m of 3.75 Inch dia. chain
Line5	Approximate 40m of 3.75 Inch dia. chain + 55m of 5 Inch dia. wire + 726.854m of 3.75 Inch dia. chain
Line6	Approximate 40m of 3.75 Inch dia. chain + 55m of 5 Inch dia. wire +

	726.854m of 3.75 Inch dia. chain
Line7	Approximate 40m of 3.75 Inch dia. chain + 55m of 5 Inch dia. wire + 726.854m of 3.75 Inch dia. chain
Line8	Approximate 40m of 3.75 Inch dia. chain + 55m of 5 Inch dia. wire + 726.854m of 3.75 Inch dia. chain

Mooring system adalah 8 lines spread mooring system dengan gambar sketsa untuk mooring system seperti dijelaskan pada gambar 3 dibawah.



Gambar 3. Mooring arrangement untuk panjang line 800 m.

### Environment Loads – 100 YRP

Tabel 4. Environmental Loads for 100 YRP

Environment Heading	Sig. Wave Height (m)	Peak Period (s)	Current Speed (m/s)	Wind Speed (m/s)
Omni Direction 100 Years	5.79	12.38	1.311	25.928

### ANALISA

Dalam Study ini, analisa menggunakan pendekatan prediksi numerik dengan memakai software MOSES dan ORCAFLEX. MOSES adalah software yang menggunakan pendekatan Boundary Element Method,

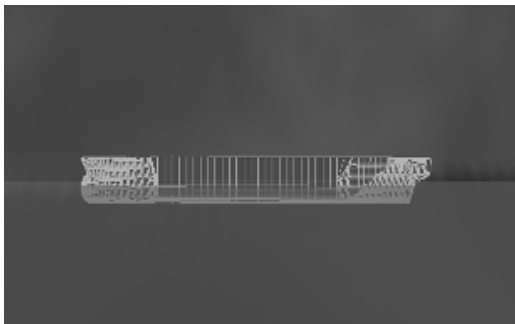
sehingga pemodelan kapal bisa akurat dimodelkan sesuai bentuk dari Kapal yang sebenarnya.

Sedangkan Software ORCAFLEX adalah pendekatan numerik untuk mooring analysis dengan metode full dynamic analysis dengan time domain method.

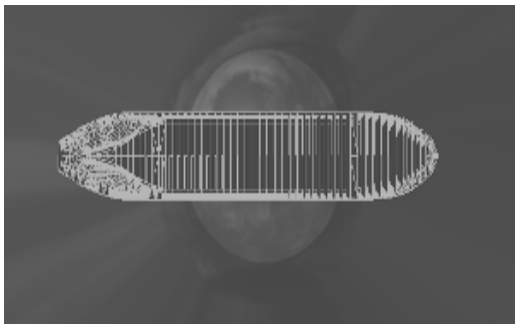
Analisa hanya dilakukan untuk prediksi gaya terbesar, yaitu untuk arah environmental loads yang terjadi pada beam sea (90 deg). Analisa juga dibatasi hanya untuk kondisi intact, dimana semua mooring lines dianggap tidak putus saat survival conditions.

Pemodelan kapal untuk prediksi numerik dalam MOSES diperlihatkan pada gambar dibawah :

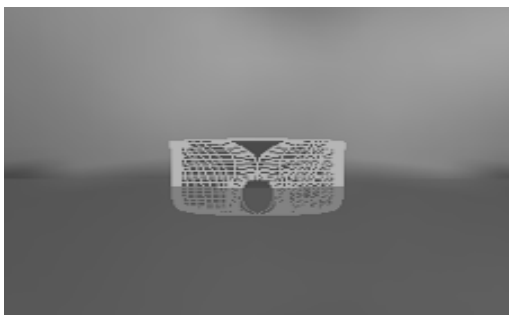
Kapasitas 10,000 DWT



(Isometric view)

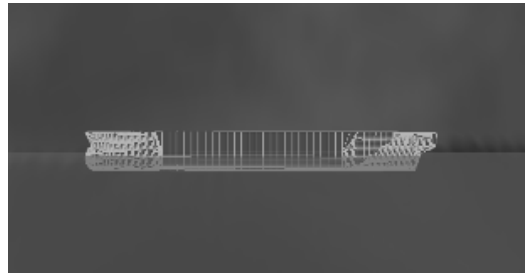


(Top view)

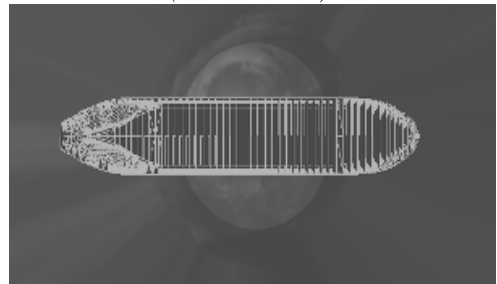


(Bow view)

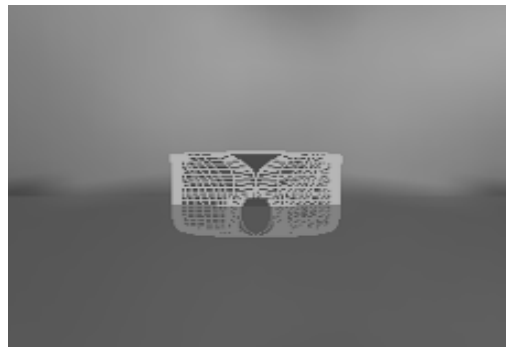
Kapasitas 20,000 DWT



(Isometric view)



(Top view)



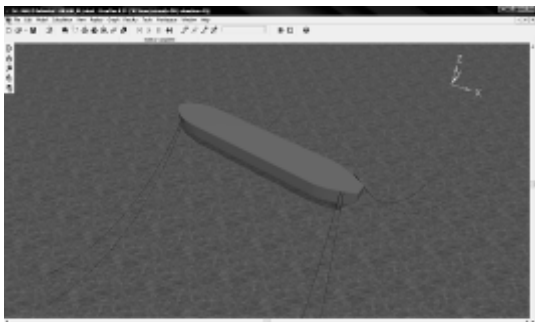
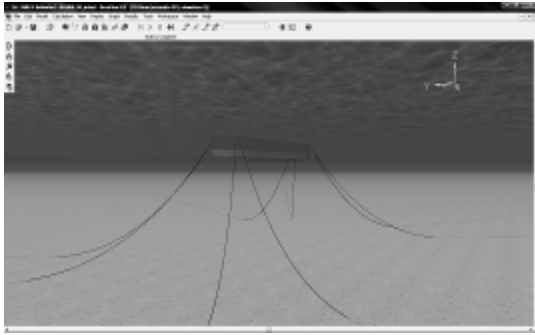
(Bow view)

Gambar 4. Modeling Kapal

Setelah itu dari MOSES akan didapatkan :

- Response Amplitude Operator (RAO)
- Diffraction forces
- Wave-drift force
- Quadratic Transfer Function (QTF)
- Hydrostatic stiffness matrix
- Hydrodynamic frequency dependant added mass and damping matrices

Hasil hydrodynamic coefficients yang di dapat akan dijadikan input untuk pemodelan mooring analysis. Gambar hasil pemodelan mooring arrangement (untuk 10,000 dan 20,000 DWT) pada software ORCAFLEX ditunjukkan pada gambar dibawah :



Gambar 5. Pemodelan Mooring – Isometric View

## HASIL ANALISA

Analisa dilakukan untuk 2 kasus kapal, untuk kapasitas ukuran 10,000 dan 20,000 DWT. Mooring arrangement dari kedua FPSO tersebut adalah sama, yaitu dengan spread mooring sejumlah 8 lines. Ada 2 variasi panjang mooring lines, yaitu 500 m dan 800 meter dengan pretension untuk setiap mooring arrangement diset sama yaitu sekitar 40 te. Hanya 1 kondisi environmental heading, diambil yang paling ekstrem, yaitu 100 YRP dengan heading beam sea. Kondisi analisa adalah Intact conditions, dimana diasumsikan tidak ada line yang damage selama analisa.

Hasil analisa yang berupa Maksimum tension pada masing masing mooring lines dan maksimum offset dari FPSO untuk arah X (memanjang kapal) dan Y melintang kapal di tunjukkan secara detail pada table dibawah untuk Kapal dengan kapasitas 10,000 DWT dan 20,000 DWT.

### 10,000 DWT

Tabel 5. Hasil analisa untuk Kapal Ukuran 10,000 DWT

Envi Heading	Line Damage	Environment	Line Mooring	Vessel Condition	Line Mooring	Max Tension (Te)	Safety Factor	Remarks	Max. Offset (m)	
90 deg Beam seas	Intact	100 Years	40 te Pretension, 500m Hor. Length	Fully Loaded	L1	74.95	12.30	NOT OK	X	-3.740
					L2	92.31	9.99			
					L3	137.10	6.73			
					L4	104.82	8.80			
					L5	286.91	3.21		Y	17.338
					L6	442.54	2.08			
					L7	560.05	1.65			
					L8	355.63	2.59			
90 deg Beam seas	Intact	100 Years	40 te Pretension, 800m Hor. Length	Fully Loaded	L1	69.57	13.26	OK	X	-3.708
					L2	78.19	11.79			
					L3	120.50	7.65			
					L4	90.16	10.23			
					L5	262.59	3.51		Y	18.025
					L6	380.36	2.42			
					L7	471.94	1.95			
					L8	316.75	2.91			

## 20,000 DWT

Tabel 6. Hasil analisa untuk Kapal Ukuran 10,000 DWT

Envi Heading	Line Damage	Environment	Line Mooring	Vessel Condition	Line Mooring	Max Tension (Te)	Safety Factor	Remarks	Max. Offset (m)	
90 deg Beam seas	Intact	100 Years	40 te Pretension, 500m Hor. Length	Fully Loaded	L1	72.46	12.73	NOT OK	X	-3.649
					L2	80.23	11.49			
					L3	115.19	8.01			
					L4	97.64	9.44			
					L5	453.03	2.04		Y	21.794
					L6	702.74	1.31			
					L7	998.58	0.92			
					L8	623.77	1.48			
90 deg Beam seas	Intact	100 Years	40 te Pretension, 800m Hor. Length	Fully Loaded	L1	53.05	17.38	NOT OK	X	-2.971
					L2	81.56	11.31			
					L3	105.86	8.71			
					L4	92.58	9.96			
					L5	411.71	2.24		Y	22.853
					L6	591.80	1.56			
					L7	780.71	1.18			
					L8	518.73	1.78			

## KESIMPULAN

- Dalam mendesain mooring system harus benar benar diperhatikan mengenai kemampuan dan kapasitas dari mooring line. Terlepas dari hasil analisa bahwa ada beberapa line yang mempunyai kapasitas dibawah tension yang diijinkan dalam design, tapi dari studi ini terlihat bahwa dengan penambahan panjang mooring line maka akan terjadi pengurangan maksimum tension pada mooring line, tapi sebaliknya terjadi sedikit penambahan offset gerakan kapal.
- Dari study diatas, terlihat bahwa panjang mooring line akan mempengaruhi pemilihan dimensi dan type dari chain dan wire, serta jangkar yang akan dipakai dalam mooring system.

## DAFTAR PUSTAKA

- API RP 2 SK (2005) : "Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures"
- DNV OS E-301 (2004) : " Position Mooring"
- MacDonald, R.C. (1984): "Positional Mooring Offshore", LRTA Paper No. 4
- Faltinsen, O.M. (1990): "Sea Loads on Ships and Offshore Structures", Cambridge University Press
- Pinkster, J.A. and Huijsmans, R.H.M. (1992): "Wave Drift Forces in Shallow Water", BOSS 1992.
- Forristall, G.Z. (2004): "Use of Directional Wave Criteria", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering.
- Chakrabarti, S.K. (2005): "Handbook of Offshore Engineering - Vol II", Offshore Structural Analysis, Inc, Illinois, USA
- Chakrabarti, S.K. (2008): "An Introduction on Offshore Engineering and Technology", short-course, Universiti Teknologi Malaysia