

# ANALISIS FATIGUE PADA *CATENARY ANCHOR LEG MOORING BUOY*

Susanti Niken Aldila<sup>1</sup>, Dr. Paramashanti, ST., MT<sup>2</sup>

Program Studi Sarjana Teknik Kelautan ITB, FTSL, ITB

nikenaldila@gmail.com

Kata kunci: *mooring line*, *single buoy mooring*, dan *fatigue life*

## 1. Pendahuluan

Dikatakan menurut situs resmi Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia (ESDM) bahwa produksi minyak bumi dan gas alam di Indonesia masih bisa dikatakan besar. Pada tahun 2013, produksi minyak bumi Indonesia 406147 ribu barel. Dengan produksi demikian, kementrian ESDM memprediksi produksi minyak bumi di Indonesia akan bertahan hingga 59 tahun. Pendapatan negara dari sektor energi dan mineral hingga tahun 2010 masih yang terbesar di antara sektor energi dan mineral lainnya.

Dalam kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi dan gas alam di lautan diperlukan fasilitas anjungan lepas pantai. Kegiatan pengeboran, produksi, dan proses dapat dilakukan di anjungan lepas pantai. Untuk mentransmisikan minyak dan gas bumi dari anjungan lepas pantai ke darat dapat dilakukan dengan pipa bawah laut atau dengan kapal tanker.

Kapal tanker yang dapat digunakan untuk menyimpan dan mengolah minyak dan gas bumi. Saat mentransmisikan minyak atau gas dari anjungan lepas pantai ke kapal tanker dibutuhkan *catenary anchor leg mooring (CALM) buoy* untuk menjaga agar kapal tanker tetap stabil. CALM buoy bersifat *floating* sehingga membutuhkan penjangkaran yaitu dengan *mooring*.

Bangunan lepas pantai tidak bisa dilepaskan dari beban lingkungan yang diterimanya. Beban lingkungan paling besar datang dari beban gelombang yang sering menyebabkan kelelahan (*fatigue*) pada bangunan lepas pantai karena gelombang bersifat siklis. Pada CALM, kelelahan (*fatigue*) juga masih menjadi masalah utama yang dihadapi. *Fatigue* pada bangunan lepas pantai dapat diartikan sebagai kegagalan mekanis yang ditandai dengan berkurangnya kapasitas bangunan lepas pantai dalam menahan beban yang bersiklus.

*Mooring line* pada CALM buoy bagian berisiko mengalami *fatigue* karena selain mendapat beban gelombang secara terus menerus, *mooring line* juga harus dapat mempertahankan posisi CALM buoy agar kapal tanker tetap stabil. *Tension* yang terjadi pada *mooring line*

paling banyak disumbang oleh gerakan kapal tanker. Perubahan *tension* yang terjadi pada *mooring line* menyebabkan *mooring line* mengalami *fatigue*.

Kerusakan pada CALM *buoy* dapat berakibat fatal dan menimbulkan kerugian bagi perusahaan. Karena fungsinya yang sangat penting yaitu menjaga kapal tanker agar tetap stabil, maka analisis *fatigue life mooring line* pada CALM *buoy* harus dilakukan dengan baik. Aspek yang perlu diperhatikan dalam desain *mooring* antara lain data lingkungan di daerah CALM *buoy*, material *mooring* dan tegangan maksimum yang bekerja pada *mooring*. Pada tugas akhir ini akan dilakukan perhitungan *fatigue life* dan damage akibat gelombang dan arus dengan ruang lingkup melakukan validasi *software* yang digunakan untuk mendapatkan *tension*, melakukan pemodelan untuk mendapatkan data *response amplitude operator* (RAO) kapal, menghitung *tension* yang terjadi pada *mooring* CALM *buoy*, menghitung besarnya *fatigue damage* dan *fatigue life* yang terjadi pada *mooring* CALM *buoy* akibat gelombang dan arus dengan metode spectrum domain waktu, perbandingan nilai *fatigue life* terhadap perubahan konfigurasi *mooring line*.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Mooring line

Struktur lepas pantai sangat tidak bisa lepas dari mooring system. Mooring system terdiri dari kabel bebas tergantung yang menghubungkan struktur terapung yang berada di permukaan air ke jangkar atau piles yang terletak di seabed.

Komponen mooring dibedakan menjadi dua yaitu:

1. *Wire Rope*, sistem kabel baja lebih ringan dibanding sistem rantai oleh karena itu pada umumnya tali tambat terdapat gaya pengembali yang lebih baik pada laut dalam dibanding rantai. Gambar 3 menunjukkan konstruksi dari *wire rope*.
2. *Chain*, sistem rantai telah terbukti untuk daya tahan pada operasi di lepas pantai. Rantai lebih baik digunakan pada laut dangkal. Ada dua jenis yaitu *studlink* dan *studless* (Chakrabakti, 2005)

### 2.2 Fatigue pada mooring

*Fatigue* adalah akumulasi kerusakan material akibat beban siklis, beban siklis adalah beban yang terus menerus terjadi pada suatu struktur contoh dari beban siklis yaitu arus dan gelombang. *Fatigue life* dapat dihitung dengan membandingkan beban siklis pada *mooring* dengan kemampuan *mooring* terhadap kerusakan akibat *fatigue*. Pendekatan untuk menghitung *fatigue* pada *mooring* menggunakan kurva T-N. Pada kurva T-N diberikan jumlah siklis kegagalan untuk *mooring* secara spesifik sebagai fungsi terhadap rentang tension yang sudah dinormalisasikan berdasarkan hasil eksperimen (API RP 2 SK, 2005). Pemilihan kurva T-N untuk menghitung analisis *fatigue* dari komponen harus mempertimbangkan 3 hal dari analisis *fatigue life* yaitu kurva T-N, *safety factor*, dan metode analisis terhadap hasil lapangan dan data yang tersedia. Kurva T-N pada persamaan di bawah ini digunakan untuk menghitung tegangan *fatigue life* dari komponen *mooring*. Nilai M dan K dapat dilihat pada Tabel 1.

$$NR^M = K \quad (1)$$

dimana:

N = jumlah siklis

R = perbandingan *tension* terhadap *breaking load* dari *mooring*

Table 1 Nilai M dan K (API RP 2 SK, 2005)

| Komponen                         | M    | K                     |
|----------------------------------|------|-----------------------|
| Common Studlink                  | 3.0  | 1000                  |
| Common studless link             | 3.0  | 316                   |
| Baldr and Kenter connecting link | 3.0  | 178                   |
| Six/multi strand rope            | 4.09 | $10^{(3.20-2.79L_m)}$ |
| Spiral strand rope               | 5.05 | $10^{(3.25-3.43L_m)}$ |

Perhitungan *fatigue damage* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *miner's rule*

$$D = \sum \frac{n_i}{N_i} \quad (2)$$

dimana:

$n_i$  = jumlah siklus dalam satu tahun akibat tension range

$$= v_i \times P_i \times 3.15576 \times 10^7$$

$v_i$  = spektrum tegangan yang didapat dari *zero crossing*

$P_i$  = probabilitas kejadian tension

$N_i$  = jumlah siklus yang menyebabkan kegagalan yang diberikan oleh kurva

T-N

Rumus di atas hanya berlaku jika metode yang digunakan untuk penentuan *fatigue damage* menggunakan metode deterministic. Menurut API 2 SK tahun 2005 design *fatigue life* (L), yaitu 1/D (dalam satuan tahun) harus lebih besar daripada umur layan dikalikan dengan *safety factor* (API RP 2SK, 2005).

$$\text{fatigue life} \geq 3 \text{ umur layan mooring} \quad (3)$$

### 3. Studi Kasus

Data lingkungan yang digunakan dalam pemodelan dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 3. Kedalaman perairan diukur dari *mean sea level* (MSL) yaitu sebesar 37 m.

#### Data Lingkungan

##### 1. *Survival Condition.*

Pada kondisi ini periode ulang yang digunakan yaitu periode ulang 100 tahun dengan kondisi tidak ada kapal yang bertambat pada SBM. Data lingkungan pada kondisi ini dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

**Table 2 Data Lingkungan Storm Condition**

| Parameter                    | Nilai | Satuan |
|------------------------------|-------|--------|
| Significant Wave Height (Hs) | 7.2   | m      |
| Peak Wave Period (Tp)        | 13    | detik  |
| Wind Speed (1 minute mean)   | 43    | m/s    |
| Current Speed (surface)      | 1.6   | m/s    |

## 2. Kondisi Operasional

Pada kondisi ini kapal dapat beroperasi secara aman di SBM. Periode ulang yang digunakan yaitu periode ulang 1 tahun.

**Table 3 Data Lingkungan Operational Condition.**

| Parameter                    | Nilai | Satuan |
|------------------------------|-------|--------|
| Significant Wave Height (Hs) | 3.5   | m      |
| Peak Wave Period (Tp)        | 10    | detik  |
| Wind Speed (1 minute mean)   | 20.6  | m/s    |
| Current Speed (surface)      | 1.03  | m/s    |

## Data Kapal Tanker

Kapal yang digunakan dalam pemodelan adalah kapal tanker dengan ketentuan sesuai dengan Tabel 4.

**Table 4 Data Kapal Tanker**

| Parameter            | nilai  | satuan |
|----------------------|--------|--------|
| Tanker Size          | 250000 | DWT    |
| Length Overall (LOA) | 357    | m      |
| Lebar (B)            | 57     | m      |
| Depth                | 28     | m      |
| Full Load Draft (D)  | 20     | m      |

### Data Buoy

Buoy berbentuk silinder dengan 6 buah *mooring line* yang dijangkarkan pada *seabed* dengan spesifikasi yang dilihat pada Tabel 5.

Table 5 Data Buoy

| Parameter                   | Nilai | Satuan |
|-----------------------------|-------|--------|
| Outer shell diameter        | 11    | m      |
| Inner shell diameter        | 3.57  | m      |
| Outside skirt diameter      | 14.2  | m      |
| Height                      | 4.8   | m      |
| Weight exclude chain weight | 200   | ton    |
| Weight include chain weight | 265   | ton    |
| Draft                       | 3     | m      |
| Chain Stopper Draft         | 2.65  | m      |

### Data Mooring

*Mooring line* yang digunakan yaitu bertipe studlink dengan berat 199 kg/m di udara. Spesifikasi mooring dapat dilihat pada Tabel 6. Mooring yang digunakan sebagai hawser bertipe grommet dengan bahan nylon bradiline.

Table 6 Data Mooring Line

| Parameter                            | Nilai   | Satuan |
|--------------------------------------|---------|--------|
| Diameter                             | 0.09525 | m      |
| Weight (in air)                      | 199     | kg/m   |
| Length                               | 366     | m      |
| Breaking load (API Spec 2F)          | 6932    | kN     |
| Pretension angle with horizontal MSL | 55      | deg    |
| Pretension at MSL                    | 130     | kN     |
| Material                             | Chain   |        |

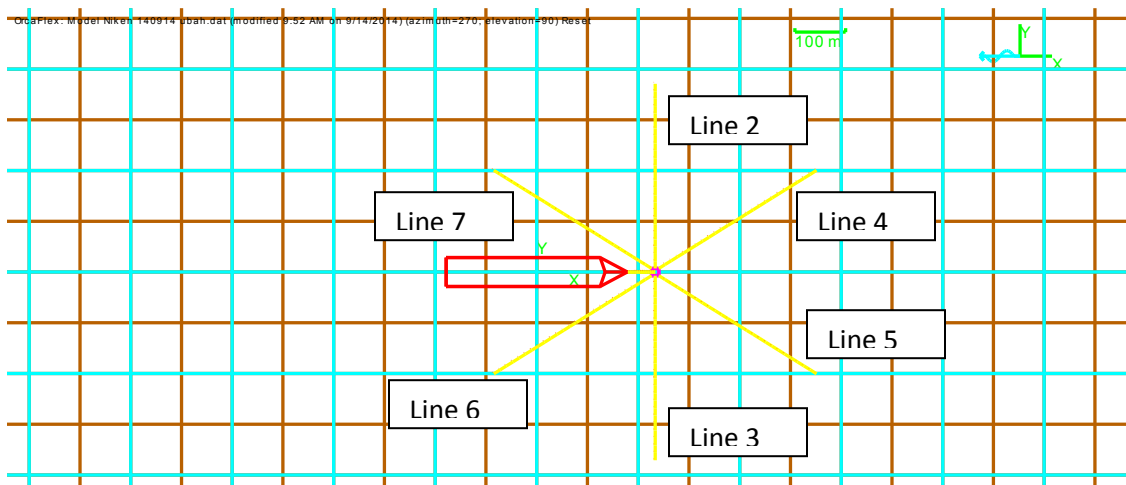
Data Hawser dapat dilihat pada Tabel 7 di bawah ini. Hawser adalah tali yang digunakan untuk menghubungkan CALM *buoy* dengan kapal tanker.

Table 7 Data hawser

| Parameter     | Nilai  | Satuan |
|---------------|--------|--------|
| Length        | 54.864 | m      |
| Diameter      | 14.55  | cm     |
| Breaking Load | 299.1  | ton    |
| Material      | Nylon  |        |

#### 4. Hasil Analisis Pemodelan

Modelan yang dilakukan terdiri dari kapal, CALM Buoy, serta *mooring line*. Pemodelan dilakukan untuk mendapatkan *effective tension* yang terjadi pada *mooring line* dalam rentang masa waktu yang ditinjau. *Mooring line* yang ditinjau yaitu line 2, line 3, line 4, line 5, line 6, dan line 7 dengan mengasumsikan pergerakan buoy sama dengan pergerakan kapal. Pada gambar 1 menunjukkan pemodelan yang dilihat dari sumbu x-y. Pemodelan dilakukan dengan beban gelombang dan arus dari arah 0, 90, 180, dan 270 derajat.



Gambar 1 Pemodelan arah sumbu x-y

*Effective tension* yang didapat dari hasil pemodelan kemudian diolah menjadi tension range dengan menggunakan metode *rainflow counting*. *Tension range* yang didapat kemudian dibagi dengan *minimum break strength* pada masing-masing *mooring line*. dari hasil tersebut kemudian dapat diketahui jumlah siklus yang dibutuhkan agar mooring line mengalami fatigue dengan menggunakan rumus 1 dan 2.

Hasil fatigue damage dan fatigue life untuk semua mooring line dapat dilihat pada Tabel 8.

Table 8 Nilai *fatigue damage* dan *fatigue life* untuk setiap *mooring line*

| Mooring line | Fatigue Damage | Fatigue life (tahun) |
|--------------|----------------|----------------------|
| 2            | 8.852          | 0.113                |
| 3            | 8.631          | 0.116                |
| 4            | 5.437          | 0.184                |
| 5            | 5.437          | 0.184                |
| 6            | 6.541          | 0.153                |
| 7            | 6.538          | 0.153                |

## 5. Simpulan dan Saran

### Simpulan

1. Nilai *fatigue life* yang didapatkan dari hasil pemodelan tidak memenuhi kriteria desain yaitu *fatigue life* > 3 kali umur layan mooring line, umur layan mooring line bernilai 20 tahun, sedangkan nilai maksimum yang didapat dari pemodelan konfigurasi 1 dan konfigurasi 2 bernilai 0.13 tahun.
2. Perubahan konfigurasi mooring line tidak berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan *fatigue life*, karena *fatigue life* dipengaruhi oleh range tension. Perubahan konfigurasi *mooring line* terlihat mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap *effective tension* yang terjadi di setiap mooring line.

### Saran

1. Memperbesar *fatigue life* dapat dilakukan dengan memperbesar diameter pada *mooring line*.
2. Memperbesar nilai *fatigue life* dapat juga dilakukan dengan memperbesar sudut antara *mooring line* dengan *seabed*.
3. Material *mooring line* yang digunakan dalam tugas akhir berupa *studlink chain*, mengganti menjadi *studlink* menjadi *studless* dapat mengurangi berat mooring line sehingga dapat memperbesar *fatigue life* mooring.
4. Untuk penelitian berikutnya dapat dilakukan analisis perbandingan nilai *fatigue life* berdasarkan perbedaan material komponen mooring serta mooring jenis apakah yang mempunyai *fatigue life* yang paling besar.

## 6. Daftar Pustaka

API RP 2 SK, 2005. API Publishing Service. Washington DC

Barltrop, N. D. P. 1991 *Dynamics of Fixed Marine Structure*, Thomson Litho, Ltd, Scotland

Berteaux, Henri. O. 1991. *Coastal and Oceanic Buoy Engineering*, Woods Hole, USA,

Chakrabarti, Subrata K. 2005. *Handbook of Offshore Engineering*. Plainfield: Elsevier

McCormick, Michael E. 2010. *Ocean Engineering Mechanis with Applications*. Cambridge: Cambridge University Press

Orcina. *Manual Orcaflex Version 9.6a*. Daltongate: Orcina Ltd.