

ANALISIS MASA LAYAN *MOORING LINE* PADA SISTEM *CALM BUOY* TERHADAP KEGAGALAN AKIBAT *FATIGUE*

Azkaa Filardhi¹ dan Rildova²

Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi
Bandung

azkafilardh@gmail.com

ABSTRAK

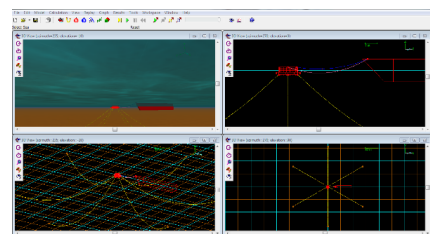
Analisis *fatigue* dilakukan untuk mengetahui usia layan rencana dari *mooring line* yang didesain. Laporan Tugas Akhir ini membahas mengenai analisis masa layan *mooring line* akibat *fatigue* yang diakibatkan oleh arus, angin, dan gelombang dengan kondisi *CALM Buoy* tertambat secara permanen pada FSO menggunakan *hawser*. Studi ini dilakukan dengan membuat model dari struktur dan *mooring line* desain yang kemudian disimulasikan selama 3 jam. Perhitungan *fatigue* dilakukan dengan ekstrapolasi untuk satu tahun agar rasio kerusakan akibat gaya siklik dapat diketahui. Perhitungan *fatigue life* dilakukan dengan menggunakan standard yang diatur pada API RP 2SK. Pada hasil simulasi, ditemukan bahwa usia layan *mooring line* yang didesain hanya mencapai usia 2.81 tahun, tidak memenuhi kriteria minimum yang diatur pada API RP 2SK yaitu sekurang-kurangnya 30 tahun sehingga *mooring line* dinyatakan gagal secara desain.

Kata Kunci: *fatigue*, gaya tarik, *mooring*, *fatigue life*

PENDAHULUAN

Sepanjang masa layannya, *mooring line* mengalami paparan gelombang, arus, dan tarikan dari *CALM Buoy* yang terjadi secara terus-menerus dan berulang-ulang. Kondisi ini mengakibatkan terjadinya perubahan gaya tarik yang terjadi berulang-ulang pula. Kondisi ini menyebabkan *mooring line* dapat rusak atau bahkan putus. Kerusakan akibat gaya berulang ini disebut sebagai kegagalan *fatigue*.

Kerusakan pada *mooring line* akan menghambat kegiatan transportasi produk. Hal ini berimbas pada terganggunya keberlangsungan produksi.



Gambar 1 Sistem *CALM Buoy*

¹ Mahasiswa Tugas Akhir

² Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Untuk menghindari hal tersebut, diperlukan analisis terhadap masa layan *mooring line* akibat kegagalan *fatigue*. Analisis ini dilakukan untuk memperkirakan usia layak pakai dari *mooring line* desain yang dilakukan dengan melakukan perhitungan terhadap jumlah siklus perubahan gaya tarik yang terjadi pada *mooring line* per tahun.

TEORI DAN METODOLOGI

Fatigue adalah kerusakan material yang terjadi akibat adanya beban yang berulang. API RP 2 SK mengatur bahwa perhitungan *fatigue* dilakukan dengan membandingkan pembebanan siklis yang terjadi dalam jangka waktu lama dengan resistensi komponen *mooring line* terkadang kerusakan akibat *fatigue*. Perbandingan ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan kurva T-N, yaitu interaksi antara gaya tarik yang terjadi dengan jumlah siklus. Pendekatan kurva T-N ini memberikan jumlah siklus yang diperlukan hingga terjadi kegagalan pada *mooring line* untuk rentang tegangan tertentu berdasarkan hasil eksperimen.

Perhitungan *fatigue life* dari komponen *mooring line* dapat dihitung dari persamaan (1) berikut

$$NR^M = K \quad (1)^3$$

Dengan keterangan sebagai berikut

N = jumlah siklus

R = perbandingan gaya tarik terhadap *breaking strength* dari *mooring line*

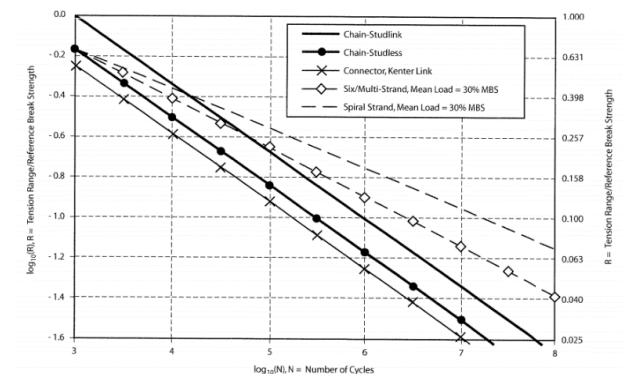
Nilai M dan K diperoleh dari Tabel 1 berikut

Tabel 1 Nilai M dan K

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	$10^{(3.2-2.79L_m)}$
Spiral strand rope	5.05	$10^{(3.25-3.43L_m)}$

(Sumber: API RP 2SK, 2005)

Kurva desain *fatigue* untuk komponen *mooring line* dapat dilihat pada Gambar 2 berikut



Gambar 2 Kurva desain *fatigue* untuk berbagai material *mooring line*

(Sumber: API RP 2SK, 2005)

³ API RP 2SK, 2005

Perhitungan kerusakan akibat *fatigue* kumulatif dalam periode waktu satu tahun dilakukan dengan menggunakan *Miner's Rule*, yang dinyatakan dalam bentuk persamaan (2) berikut

$$D = \sum \frac{n_i}{N_i} \quad (2)^4$$

Dengan keterangan sebagai berikut

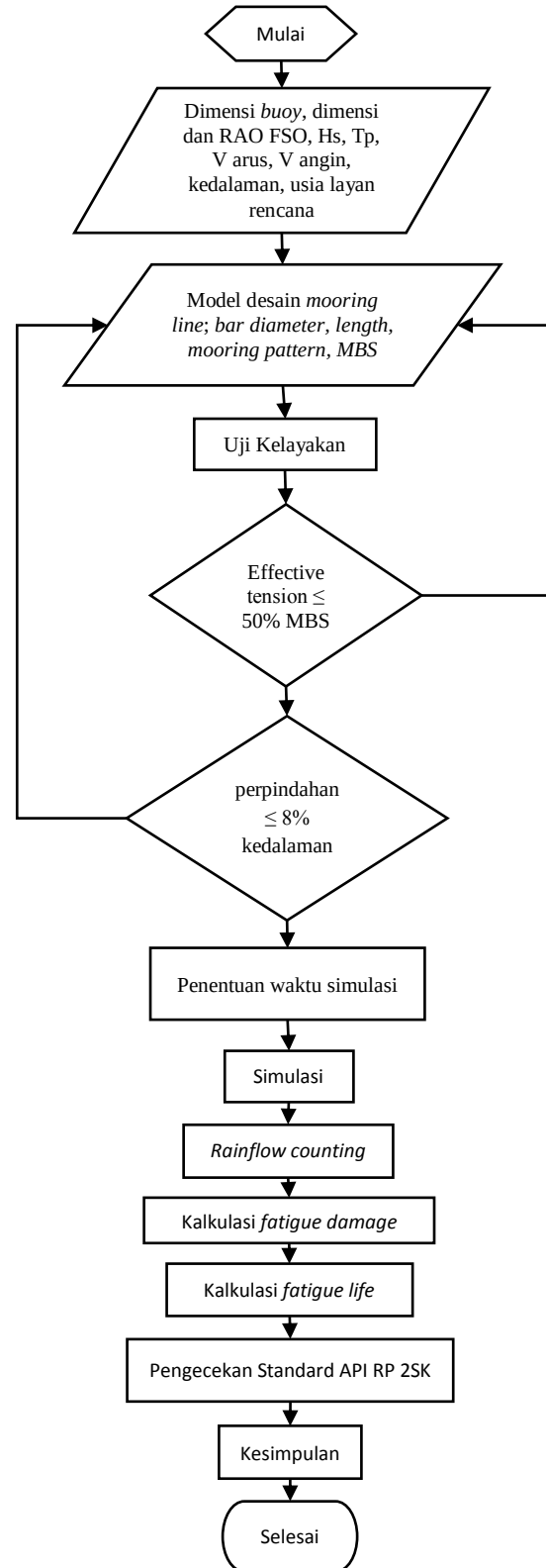
D = rasio kerusakan

n_i = jumlah siklus per tahun dalam rentang gaya tarik dengan interval i

N_i = jumlah siklus untuk mencapai kegagalan yang diperoleh dari kurva T-N

Fatigue life, dengan nilai $1/D$, harus lebih besar dari masa layan *mooring line* dikalikan dengan *safety factor*.

Analisis *fatigue* dilakukan dengan metodologi seperti pada Gambar 3 berikut



Gambar 3 Metodologi pengerjaan

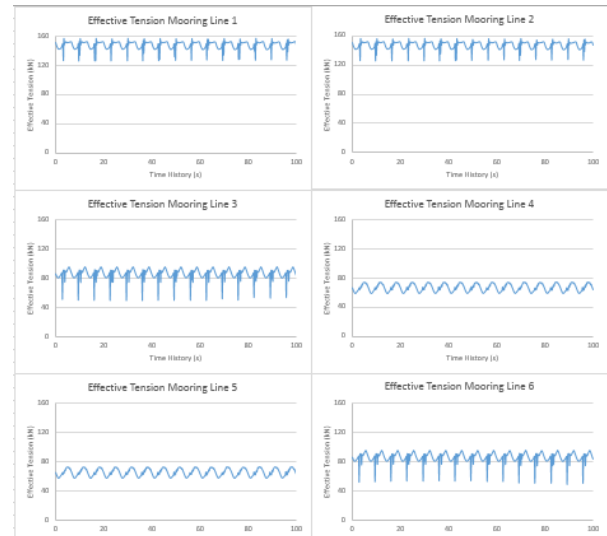
⁴ API RP 2SK, 2005

HASIL DAN ANALISIS

Untuk kekuatan *mooring line*, API RP 2SK mengatur bahwa gaya tarik maksimum yang diizinkan terjadi adalah 50% dari *Maximum Breaking Strength* (MBS) dari *mooring line* tersebut. Pada studi kasus kali ini, *mooring line* yang digunakan memiliki nilai MBS sebesar 7868 kN, seperti yang ditunjukkan pada **Error! Reference source not found..** Berarti, gaya tarik maksimum yang diizinkan terjadi adalah sebesar 3934 kN.

Dalam hal perpindahan *buoy*, perpindahan yang diizinkan menurut standard API RP 2P RP adalah 8% dari kedalaman perairan. Pada kasus kali ini, kedalaman perairan adalah 34 m. Oleh karena itu, perpindahan yang diizinkan adalah sebesar 2.72 m.

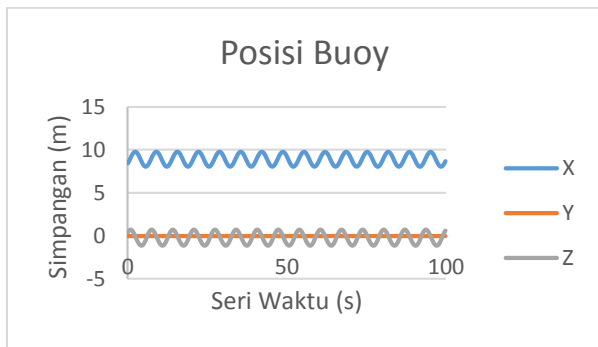
Uji kelayakan ini dilakukan baik untuk konfigurasi 1 maupun konfigurasi 2. Dari hasil simulasi, didapat gaya tarik yang terjadi untuk konfigurasi 1 seperti pada Gambar 4 berikut



Gambar 4 *Effective tension* untuk uji kelayakan konfigurasi 1

Pada Konfigurasi 1, dapat dilihat bahwa gaya tarik terbesar yang terjadi adalah senilai 156.4528 kN, jauh lebih kecil dari batas maksimum yang diatur pada API RP 2SK, yaitu 3934 kN. Oleh karena itu, mengacu kepada standard kekuatan minimal dari *mooring line*, desain awal *mooring* dinyatakan layak.

Selanjutnya, dilakukan pengecekan terhadap perpindahan *buoy*. Dari hasil simulasi, perpindahan posisi *buoy* akibat gaya lingkungan setelah dipasang *mooring line* untuk konfigurasi 1 adalah seperti pada Gambar 5 berikut.

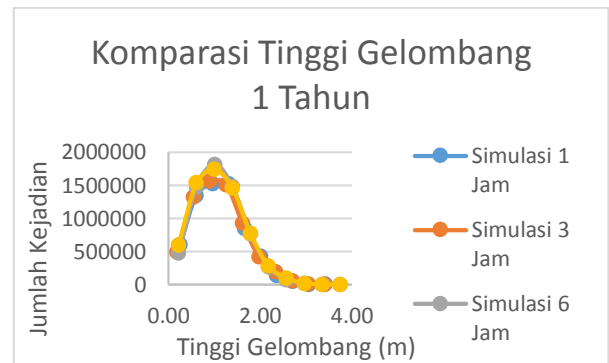


Gambar 5 Perpindahan *buoy* pada konfigurasi 1

Pada Gambar 5 di atas, dapat dilihat bahwa perpindahan terbesar yang terjadi adalah senilai 1.7 m, jauh lebih kecil dari batas maksimum yang diatur pada API RP 2P RP, yaitu 2.72 m. Oleh karena itu, mengacu kepada standard perpindahan maksimal dari *mooring line*, desain awal *mooring* dinyatakan layak.

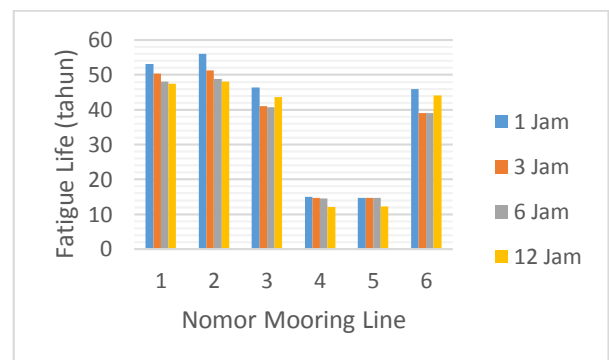
Hal yang sama dilakukan pada konfigurasi 2. Hasil peninjauan menunjukkan bahwa baik konfigurasi 1 maupun 2 layak dan dapat dilanjutkan ke tahapan analisis *fatigue*.

Sebelum analisis *fatigue* dilakukan, pertama-tama diperlukan penentuan waktu simulasi yang digunakan. Penentuan ini dilakukan dengan mempertimbangkan hasil analisis yang paling mendekati. Untuk studi kasus kali ini, waktu simulasi yang dipertimbangkan adalah simulasi selama 1, 3, 6, dan 12 jam.



Gambar 6 Komparasi distribusi tinggi gelombang untuk tiap waktu simulasi

Pada Gambar 6 di atas, dapat dilihat bahwa distribusi gelombang untuk tiap waktu simulasi kurang-lebih memiliki nilai yang cukup mendekati, terutama simulasi 1 dan 3 jam serta 6 dan 12 jam. Mengingat distribusi keempatnya cukup mirip, perlu perbandingan dengan parameter lain untuk menentukan waktu simulasi yang digunakan. Kali ini, akan digunakan hasil perhitungan *fatigue life* sebagai pembanding. Gambar 7 berikut menunjukkan komparasi hasil perhitungan *fatigue life* untuk tiap waktu simulasi.

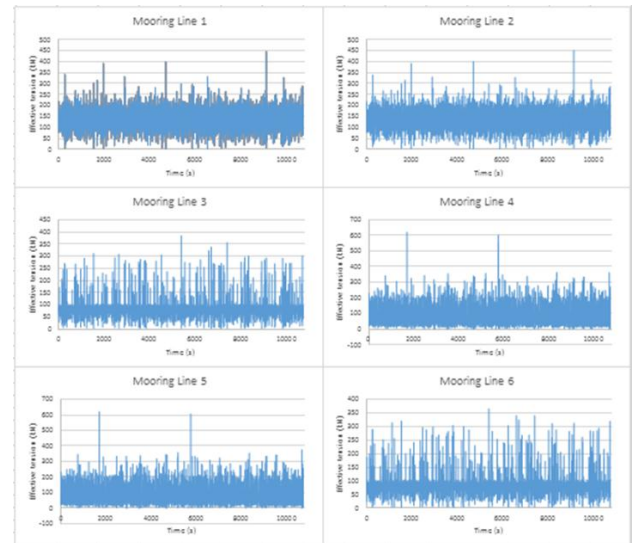


Gambar 7 Komparasi *fatigue life* konfigurasi 1 tiap simulasi

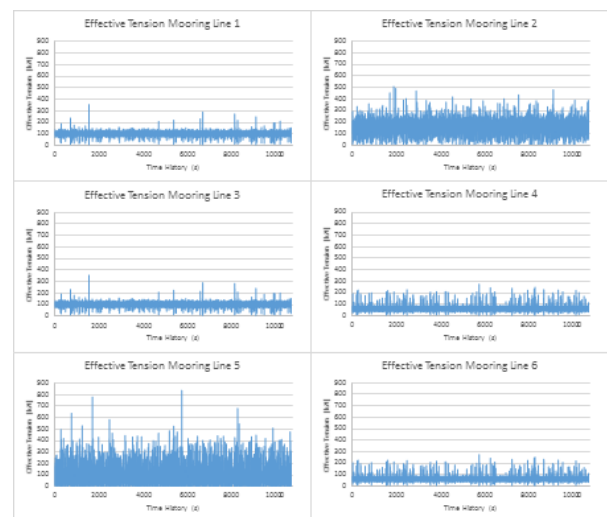
Pada Gambar 7 di atas, dapat dilihat bahwa hasil simulasi dengan waktu 3 dan 6 jam memiliki nilai yang lebih konvergen dibandingkan simulasi menggunakan waktu simulasi 1 dan 12 jam. Hal ini terjadi karena pada simulasi 1 jam, sebaran data tidak cukup merata sehingga hasil ekstrapolasi tiap kelas sebaran data menjadi terlalu jauh perbedaannya. Pada simulasi 12 jam, terlalu banyak slot kosong akibat interval sebaran data yang digunakan terlalu kecil.

Mempertimbangkan hal tersebut, pada studi kasus kali ini digunakan simulasi dengan waktu 3 jam karena hasil simulasi antara 3 dan 6 jam tidak jauh berbeda. Setelah mengetahui waktu simulasi yang diperlukan, analisis *fatigue* siap dilakukan. Analisis ini dilakukan untuk kedua konfigurasi dengan waktu simulasi 3 jam.

Untuk melakukan analisis *fatigue*, diperlukan pengecekan terhadap gaya tarik efektif tiap *mooring line* untuk setiap konfigurasi. Gaya tarik efektif yang terjadi adalah seperti pada Gambar 8 dan Gambar 9 berikut.



Gambar 8 Gaya tarik efektif untuk konfigurasi 1



Gambar 9 Gaya tarik efektif untuk konfigurasi 2

Menggunakan *rainflow counting*, keenam data tersebut diolah menjadi kumpulan *tension range* agar dapat diolah lebih lanjut seperti pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Perhitungan *Fatigue Damage*
Mooring Line 1 Konfigurasi 1

Median Range	Cycle 3h	Cycle 1y	R	N	kom. D
430	1	2922	0.054651754	1935863.67	0.001509404
410	0	0	0.052109812	2233204.87	0
390	2	5844	0.04956787	2594695.002	0.002252288
370	0	0	0.047025928	3038610.01	0
350	0	0	0.044483986	3589847.529	0
330	1	2922	0.041942044	4282903.771	0.000682247
310	4	11688	0.039400102	5166483.597	0.002262274
290	3	8766	0.03685816	6310825.078	0.001389042
270	2	5844	0.034316218	7819677.53	0.000747345
250	11	32142	0.031774276	9850541.621	0.003262968
230	16	46752	0.029232334	12650177.76	0.003695758
210	23	67206	0.026690391	16619664.49	0.004043764
				Damage Ratio	0.01984509

Nilai usia layan dari *mooring line* diperoleh dengan nilai $1/D$. API RP 2 SK (2005) menyatakan bahwa usia layan desain *mooring line* sekurang-kurangnya tiga kali masa layan rencana. Pada kasus kali ini, usia layan rencana yang digunakan adalah 10 tahun, sehingga usia layan desain sekurang-kurangnya memiliki nilai 30 tahun. Dengan melakukan perlakuan yang sama untuk setiap *mooring line*, diperoleh nilai masa layan seperti pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut.

Tabel 3 Laporan Masa Layan Desain
Mooring Line Konfigurasi 1

	Usia Layan (tahun)		Safety Factor	Syarat Minimal	Status
	Desain	Rencana	API RP 2SK		
Mooring Line 1	50.3903	10	3	30	Memenuhi
Mooring Line 2	51.3597	10	3	30	Memenuhi
Mooring Line 3	41.0795	10	3	30	Memenuhi
Mooring Line 4	14.6161	10	3	30	Gagal
Mooring Line 5	14.6810	10	3	30	Gagal
Mooring Line 6	38.9981	10	3	30	Memenuhi

Tabel 4 Laporan Masa Layan Desain
Mooring Line Konfigurasi 2

	Usia Layan (tahun)		Safety Factor	Syarat Minimal	Status
	Desain	Rencana	API RP 2SK		
Mooring Line 1	404.2551	10	3	30	Memenuhi
Mooring Line 2	9.7619	10	3	30	Gagal
Mooring Line 3	431.0828	10	3	30	Memenuhi
Mooring Line 4	354.0092	10	3	30	Memenuhi
Mooring Line 5	2.8060	10	3	30	Gagal
Mooring Line 6	326.1313	10	3	30	Memenuhi

Dari Tabel 3 dan Tabel 4 di atas, dapat dilihat bahwa *mooring line* 4 dan 5 (konfigurasi 1) dan *mooring line* 2 dan 5 (konfigurasi 2) tidak memenuhi persyaratan minimal yang diatur oleh API RP 2 SK, yaitu sekurang-kurangnya tiga kali usia layan rencana. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa desain *mooring line* yang dianalisis pada Tugas Akhir ini **gagal secara desain**. Hal ini terjadi karena pada

mooring line yang gagal tersebut, siklus perubahan gaya tarik yang terjadi memiliki nilai yang cukup tinggi dengan intensitas yang cukup sering.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada pembahasan Tugas Akhir kali ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Kerusakan akibat *fatigue* pada *mooring line* paling besar terjadi pada *mooring line* nomor 5 konfigurasi 2 dengan besaran 0.3564 (35.64%) per tahun.
2. Usia layan *mooring line* terendah terjadi pada *mooring line* 5 konfigurasi 2 dengan nilai 2.81 tahun.
3. Desain *mooring line* awal yang diajukan tidak memenuhi kriteria desain *fatigue damage*, sekurang-kurangnya tiga (3) kali usia layan rencana, yaitu 30 tahun.

Pada pengerjaan Tugas Akhir ini, terdapat beberapa saran seperti berikut

1. Modifikasi terhadap konfigurasi dan material rantai yang digunakan dapat dilakukan untuk mencari desain *mooring line* yang memenuhi kriteria desain yang diatur pada API RP 2SK.
2. Perhatikan interval *range* dan waktu yang digunakan. Selama pengerjaan, ditemukan bahwa perhitungan usia layan desain sangat tergantung pada

interval *range* dan waktu simulasi yang diambil.

DAFTAR PUSTAKA

- API Publishing Service. 2005. API RP 2P RP. Washington DC: USA
- API Publishing Service. 2005. API RP 2SK. Washington DC: USA