

ANALISIS *FATIGUE* PADA *STEEL CATENARY RISER* DI LAUT JAWA

Anjar Darundriya Eka Sasmita¹, Rildova²

¹Program Studi Teknik Kelautan, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganeca 10 Bandung
email: anjar.darundriya@gmail.com

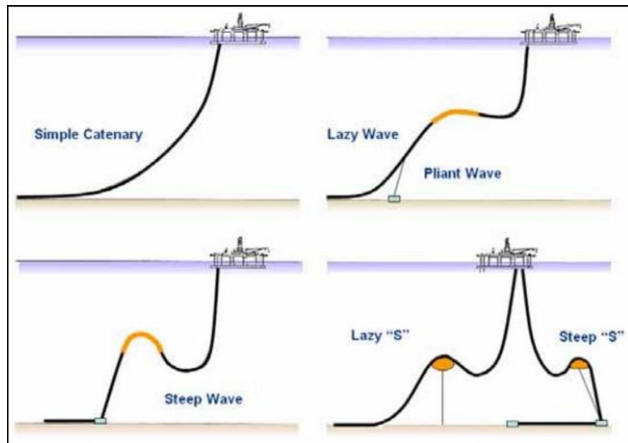
²Program Studi Teknik Kelautan, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganeca 10 Bandung
email: rildova@ocean.itb.ac.id

Abstrak: Konstruksi bangunan laut, misalnya *riser*, akan menerima gaya-gaya akibat beban dari luar maupun dari dalam. Beban dari luar, gelombang dan arus, akan terjadi secara berulang (*cyclic*) yang nantinya akan mengakibatkan *fatigue*. *Fatigue* berakibat terhadap runtuhnya suatu struktur bangunan laut sehingga diperlukan suatu analisis yang memprediksi umur layan suatu *riser*. Analisis *fatigue* dilakukan dengan membandingkan siklus akibat tegangan yang terjadi dengan siklus kegagalan. Analisis *fatigue* meninjau suatu range tegangan yang terjadi di sambungan pengelasan *riser*. Sambungan pengelasan merupakan tempat dimana kemungkinan terjadinya retak akibat beban berulang. Struktur *riser* mempunyai bentang bebas yang dapat memungkinkan *riser* mengalami defleksi akibat berat sendiri. Properti suatu *riser* seperti ketebalan dinding dan jenis material *riser* juga mempengaruhi beban pada *riser*. Kekuatan *riser* yang diwakili oleh ketebalan dinding *riser* juga harus dapat memenuhi kriteria tertentu diantaranya kriteria terhadap tekanan yang diakibatkan konten dan dari gaya luar dan kriteria terhadap tekuk. Dari perhitungan ketebalan dinding *riser*, dipilih ketebalan dinding *riser* sebesar 9,4 mm yang didapat dari kriteria *combined loading*. Dari data-data lingkungan, properti, dan geometri *riser* tersebut akan digunakan sebagai input pemodelan menggunakan Orcaflex. Program Orcaflex akan menghitung respon statik dan dinamik pada *riser* dengan kondisi yang telah ditentukan. Output dari Orcaflex tersebut nantinya akan menghasilkan nilai range tegangan aksial dan momen lentur yang digunakan dalam perhitungan *fatigue* pada *riser*. Setelah range tegangan didapatkan dari hasil keluaran Orcaflex kemudian digunakan untuk menghitung jumlah siklus tegangan dan siklus kegagalan yang nantinya akan dibandingkan dan mendapatkan nilai akumulasi kerusakan akibat *fatigue*. Jumlah akumulasi kerusakan akibat *fatigue* adalah sebesar 0,0034. Dengan akumulasi kerusakan tersebut didapatkan nilai masa layan struktur *riser* dengan cara membagi desain masa layan dengan akumulasi kerusakan tersebut yaitu selama 292,1 tahun yang berarti dapat memenuhi masa layan yang diharapkan.

Kata kunci : akumulasi kerusakan, bentang bebas, *catenary*, *fatigue*, *riser*

PENDAHULUAN

Riser adalah salah satu bagian jaringan pipa yang di definisikan sebagai segmen vertikal atau mendekati vertikal yang menghubungkan jaringan pipa bawah laut dengan fasilitas pengolahan di permukaan air yang dapat berupa platform atau kapal. Tantangan terbesar dari *riser* khususnya untuk *riser* yang terhubung dengan struktur terapung adalah dinamika pergerakan struktur terapung tersebut. Kemampuan *riser* dalam mengatasi pergerakan struktur terapung berbeda-beda tergantung dengan konfigurasi *riser*. Salah satu jenis *riser* adalah *steel catenary riser* (SCR) dengan konfigurasi *riser* yang menggantung bebas dari permukaan menuju dasar laut (*free hanging*) memberikan fleksibilitas untuk mengatasi gerakan struktur terapung. *Riser* jenis ini menggunakan material baja sehingga biaya produksi murah daripada dari material komposit dan dapat menahan



Gambar 1 Konfigurasi Free Hanging Riser

(Sumber : Jaeyoung Lee, 2007)

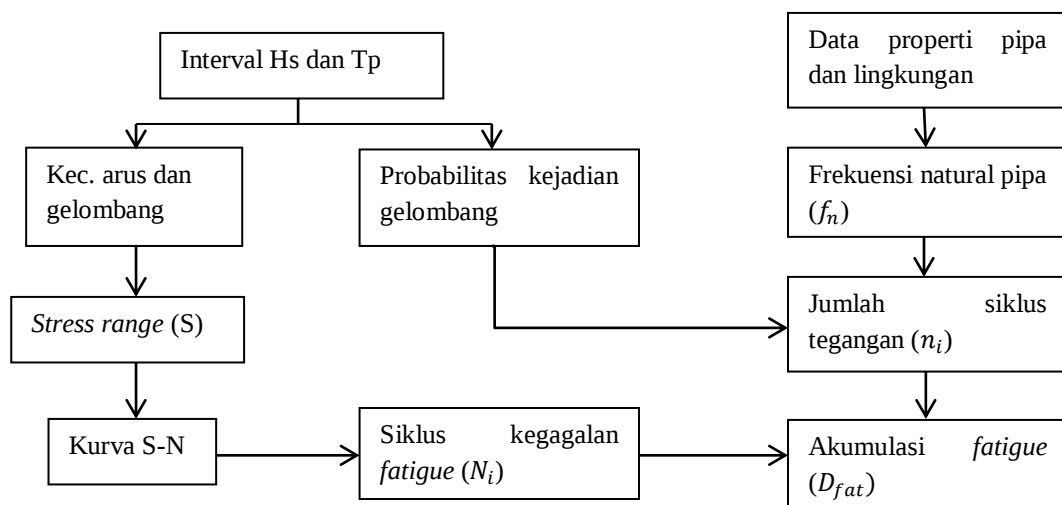
tekanan dan temperatur tinggi. Jenis-jenis konfigurasi *free hanging riser* terdapat dalam **Gambar 1**. Dalam analisis ini menggunakan konfigurasi *simple catenary*.

Riser yang terinstal akan mempunyai bentang bebas yang cukup panjang. Bentang bebas pada *riser* akan menimbulkan tegangan pada *riser* akibat terdefleksinya *riser*. Bentang bebas ini dapat menyebabkan terjadinya vibrasi atau biasa dikenal dengan fenomena *Vortex Induced Vibration*. Vibrasi yang terjadi pada *riser* dapat menyebabkan kelelahan struktur (*fatigue*) yang berujung pada kegagalan struktur. Dari perhitungan properti *riser* dan *fatigue* yang terjadi dapat diketahui akumulasi kerusakan yang terjadi akibat pembebanan dan dapat diestimasi masa layan

dari struktur.

TEORI DAN METODOLOGI

Secara umum metodologi analisis *fatigue* tersaji dalam bagan alir pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Bagan Alir Perhitungan Akumulasi Fatigue

Sistem *riser* harus kuat dalam berbagai macam pembebanan yang terjadi dan dengan kondisi yang telah ditentukan dalam pendesainan sistem *riser*. Penentuan ketebalan dinding *riser* berdasarkan standar DNV OS F201 *Dynamic Riser*. Ketebalan dinding *riser* harus kuat menahan tekanan yang diakibatkan oleh tekanan internal dan eksternal. Tekanan internal dapat menyebabkan *bursting*, ketebalan dinding *riser* harus memenuhi kriteria dalam **Persamaan (1)**.

$$P_{li} - P_e \leq \frac{P_b(t)}{\gamma_m \gamma_{sc}} \quad (1)$$

Dimana P_{li} = tekanan lokal insidental, P_e = tekanan eksternal pada riser, $P_b(t)$ = tekanan *bursting* pada dinding riser, γ_m = faktor daya tahan material, dan γ_{sc} = faktor keamanan riser. Sedangkan tekanan eksternal dapat mengakibatkan *collapse* dan *propagation buckling*. Kriteria yang harus dipenuhi untuk kegagalan tekuk (*system collapse*) terdapat pada **Persamaan (2)** dan untuk kegagalan *propagation buckling* terdapat pada **Persamaan (3)**.

$$P_e - P_{min} \leq \frac{P_c(t)}{\gamma_m \cdot \gamma_{sc}} \quad (2)$$

$$P_e - P_{min} \leq \frac{P_{pr}}{\gamma_m \cdot \gamma_{sc} \cdot \gamma_c} \quad (3)$$

Dimana :

- P_e = tekanan eksternal
- P_{min} = tekanan internal minimum
- $P_c(t)$ = tekanan *collapse*
- P_{pr} = tekanan *propagation buckling*
- γ_m = faktor daya tahan material
- γ_{sc} = faktor keamanan riser
- γ_c = faktor kondisi

Setelah sistem riser dirancang untuk menahan tekanan internal dan eksternal, kemudian riser akan diperiksa untuk beban kombinasi antara beban aksial, momen lentur, dan tekanan. Kombinasi antara momen lentur, tegangan efektif, tekanan eksternal, dan tekanan internal harus dirancang untuk memenuhi kriteria pada **Persamaan (4)** dan **Persamaan (5)**.

Internal Overpressure

$$\{\gamma_{sc}, \gamma_m\} \left\{ \left(\frac{|M_d|}{M_k} \sqrt{1 - \left(\frac{P_{ld} - P_e}{P_b(t_2)} \right)^2} \right) + \left(\frac{T_{ed}}{T_k} \right)^2 \right\} + \left(\frac{P_{ld} - P_e}{P_b(t_2)} \right)^2 \leq 1 \quad (4)$$

Eksternal Overpressure

$$\{\gamma_{sc}, \gamma_m\}^2 \left\{ \left(\frac{|M_d|}{M_k} \right) + \left(\frac{T_{ed}}{T_k} \right)^2 \right\}^2 + \{\gamma_{sc}, \gamma_m\}^2 \left(\frac{P_e - P_{min}}{P_c(t_2)} \right)^2 \leq 1 \quad (5)$$

Dimana :

- M_d = momen lentur desain
- T_{ed} = tekanan efektif desain
- M_k = *plastic bending moment*
- T_k = gaya aksial efektif
- P_e = tekanan eksternal
- P_{ld} : tekanan lokal internal desain

Analisis *fatigue* menggunakan Teori Palmgren-Miner yang bertujuan untuk menghitung umur layan suatu material dengan cara menghitung akumulasi kerusakan yang diakibatkan oleh kerusakan akibat *fatigue*. Menurut Teori Palmgren-Miner akumulasi kerusakan akibat *fatigue* dirumuskan dalam **Persamaan (6)**, **(7)**, dan **(8)**.

$$D_i = \frac{n(S_i)}{N(S_i)} \quad (6)$$

$$D_{fat} = \sum_{i=1}^x D_i \cdot P_i \quad (7)$$

$$L = \frac{1}{D_{fat}} \quad (8)$$

Dimana :

D_i = short term fatigue damage

$n(S_i)$ = jumlah siklus yang bekerja

$N(S_i)$ = jumlah siklus range tegangan yang menyebabkan kegagalan

D_{fat} = long term fatigue damage

P_i = probabilitas kejadian gelombang

x = jumlah pembagian grup range tegangan

L = fatigue life (umur layan struktur)

Nilai dari jumlah siklus yang bekerja merupakan fungsi dari frekuensi getaran *riser* dan umur yang di desain. Sedangkan jumlah siklus yang menyebabkan kegagalan merupakan fungsi dari konstanta empiris dari kurva S-N dan stress range dari *riser*. Untuk menentukan jumlah siklus tegangan yang bekerja menggunakan **persamaan (9)**.

$$n_i = v_i \cdot T_d \quad (9)$$

Dimana

v_i = frekuensi zero up-crossing

T_d = design life dalam detik

Dalam Tugas Akhir ini frekuensi zero up-crossing menggunakan jumlah kejadian gelombang yang terjadi dalam satu tahun. Sedangkan untuk mendapatkan jumlah siklus yang menyebabkan kegagalan menggunakan **persamaan (10)**.

$$N = \bar{a} \cdot S^{-m}$$

$$\text{atau} \quad (10)$$

$$\log N = \log(\bar{a}) - m \cdot \log(S)$$

Dimana

N = jumlah siklus kegagalan

$\bar{a}, m$ = konstanta empiris yang di dapat dari kurva S-N

S = stress range (MPa)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menentukan ketebalan dinding *riser* sesuai dengan kriteria dari DNV OS F201 *Dynamic Risers* dengan cara hasil ketebalan dari kriteria dibandingkan, kemudian diambil yang paling besar. **Tabel 1** menampilkan hasil perhitungan ketebalan *riser*.

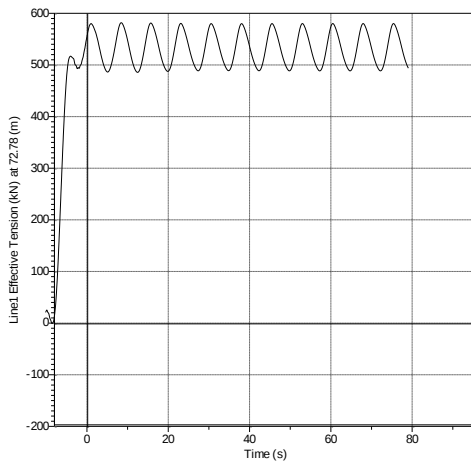
Tabel 1 Hasil Perhitungan Ketebalan Dinding Riser

No.	Kriteria	Ketebalan Dinding Riser		
		Hidrotes	Operasional	
1.	<i>Bursting</i>	5,43 mm	5,26 mm	
2.	<i>System Collapse</i>	4,9 mm	4,9 mm	
3.	<i>Propagation Buckling</i>	7,219 mm	7,289 mm	
4.	<i>Combined Loading</i>	Instalasi	Operasional	Hidrotes
		9,4 mm	9,4 mm	9,4 mm

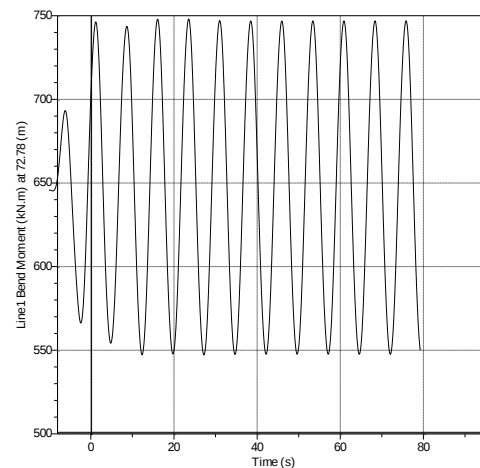
Dari perhitungan ketebalan dinding *riser* di atas, ketebalan dinding *riser* yang dipilih adalah 9,4 mm yaitu pada kriteria *Combined Loading*.

Setelah mendapatkan ketebalan dinding *riser* maka langkah selanjutnya menentukan teori gelombang yang digunakan sehingga nantinya akan digunakan untuk menghitung kecepatan dan percepatan partikel air. Kecepatan dan percepatan partikel air digunakan sebagai data untuk mendapatkan gaya hidrodinamika yang bekerja pada *riser* berdasarkan persamaan Morrison.

Untuk selanjutnya dilakukan pemodelan konfigurasi *riser* untuk mendapatkan nilai dari *stress range* yang merupakan hasil penjumlahan nilai momen lentur dan gaya aksial dari *riser*. Pemodelan dalam Tugas Akhir ini menggunakan Orcaflex. Pemodelan terdiri dari dua struktur yaitu struktur terapung dan *riser*. **Gambar 3** dan **Gambar 4** menampilkan contoh gaya aksial dan momen lentur hasil pemodelan yang dilakukan pada kondisi statik dan dinamik.



Gambar 3 Gaya Aksial Pada Riser



Gambar 4 Momen Lentur Pada Riser

Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, *short-term fatigue damage* merupakan hasil penjumlahan perbandingan antara siklus tegangan dan siklus kegagalan di tiap interval tinggi gelombang. Nilai dari jumlah siklus yang bekerja merupakan fungsi dari frekuensi getaran *riser* dan umur yang di desain. **Tabel 2** menunjukkan hasil perhitungan *fatigue damage* dan umur layan pipa.

Tabel 2 Perhitungan Akumulasi Kerusakan dan Masa Layan Riser

Hmean (m)	Frekuensi Relatif	Siklus Kegagalan (N)	Siklus Tegangan (n)	Di	Dfat
0.1	0.1271	18598873437.60	4640	2.49E-07	3.17E-08
0.3	0.1849	96076870.84	6750	7.03E-05	1.30E-05
0.5	0.1933	8174883.41	7056	8.63E-04	1.67E-04
0.7	0.1888	1608151.50	6892	4.29E-03	8.09E-04
0.9	0.1473	640231.28	5377	8.40E-03	1.24E-03
1.1	0.0878	355537.40	3205	9.01E-03	7.91E-04
1.3	0.0422	217847.88	1541	7.07E-03	2.99E-04
1.5	0.0187	143207.49	683	4.77E-03	8.92E-05
1.7	0.0063	99273.31	230	2.32E-03	1.46E-05
1.9	0.0023	71720.54	84	1.17E-03	2.70E-06
2.1	0.0011	53531.90	40	7.47E-04	8.19E-07
2.3	0.0002	41060.95	7	1.70E-04	3.27E-08
				$\Sigma dfat$	0.003423457
				Tlife(thn)	292.10

Dari hasil perhitungan di atas diketahui masa layan dari riser tersebut adalah 292,1 tahun. Dari hasil perhitungan akumulasi kerusakan akibat fatigue juga memenuhi kriteria analisis fatigue menurut DNV RP F204 *Riser Fatigue* yaitu masa layan dari riser tersebut lebih besar daripada desain masa layan setelah dikalikan dengan DFF (*design fatigue factor*).

KESIMPULAN

Dari berbagai hasil analisis dari studi kasus yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini, dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain :

- Dari persamaan catenary di dapatkan konfigurasi geometri riser yaitu dengan panjang riser 111.96 meter, jarak titik riser menyentuh tanah dengan kapal yaitu 106,52 meter. Kondisi tersebut dicapai dengan sudut kemiringan riser dari permukaan air sebesar 30 derajat.
- Tebal dinding riser yang dapat digunakan dalam studi kasus ini menurut DNV OS F201 *Dynamic Riser* adalah 9,4 mm baik pada kondisi hidrotas, instalasi, dan operasional.
- Stress range terbesar terjadi pada lengkungan riser yaitu di segmen 7.
- Hasil dari pemodelan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *Orcaflex* menunjukkan akumulasi kerusakan akibat fatigue yang terjadi memenuhi kriteria perhitungan fatigue menurut DNV RP F204 *Riser Fatigue*.

- e. Masa layan *riser* adalah 292,1 tahun, hal itu menunjukkan bahwa *riser* dapat digunakan dengan masa layan yang telah ditentukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agusta, A. (2012). *Analisis Ketebalan dan Konfigurasi Steel Catenary Riser di Laut Dalam*. Bandung: Program Studi Teknik Kelautan Institut Teknologi Bandung .
- Bai, Y. (2001). *Pipelines and Risers*. Amsterdam: Elsevier Science.
- Bridge, C. (2011). Closed Form Seabed Interaction Models for Steel Catenary Risers.
- Jaeyoung Lee, P. (2007). *Introduction to Offshore Pipelines and Risers*. Houston: Technip USA.
- Ruswandi, M. I. (2009). *Improvisation of Deepwater Weight Distributed Steel Catenary Riser* . Oslo: Faculty of Science and Technology University of Stavanger.
- Veritas Offshore Technology and Services A/S. (2010). *DNV OS F201 Dynamic Risers*. Norway: DNV Publisher.
- Wibowo, H. (2009). *Analisis Fatigue Pada Rigid Riser*. Tugas Akhir Tidak Diterbitkan. Bandung: Program Studi Teknik Kelautan Institut Teknologi Bandung