

# PENGARUH ARUS DAN PANJANG *FREE SPAN* PADA RESIKO *FATIGUE* PIPA BAWAH LAUT

---

Fajrin Falahi<sup>1</sup> dan Dr. Paramashanti, S.T, M.T.<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Kelautan  
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,  
Jl Ganesha 10 Bandung 40132  
<sup>1</sup>[fajrinfalahi@gmail.com](mailto:fajrinfalahi@gmail.com) dan <sup>2</sup>[parama@ocean.itb.ac.id](mailto:parama@ocean.itb.ac.id)

## ABSTRAK

Adanya bentang bebas atau *free span* pada jaringan pipa bawah laut sangat berpotensi menyebabkan *fatigue* yang diakibatkan oleh adanya beban berulang akibat arus atau gelombang baik pada arah *in line* dan *cross flow*. Untuk mengetahui apakah suatu bentang pipa di dasar laut berpotensi mengalami *fatigue* atau tidak selama masa layannya, maka dapat dilakukan proses *screening fatigue*. Hanya saja, terdapat variabel acak dalam proses *screening fatigue* sehingga perlu dilakukan analisis resiko untuk mempertimbangkan sifat keacakan variabel tersebut. Dengan menggunakan variabel acak kecepatan arus, penilaian resiko dalam studi ini dilakukan berdasarkan dengan fungsi performansi *screening fatigue*. Penentuan nilai ranking resiko ini bergantung pada rangking dua komponen pembentuknya, yaitu probabilitas kegagalan dan konsekuensi kegagalan. Ranking probabilitas kegagalan ditentukan dari seberapa besar frekuensi kejadian yang mengacu pada kode DNV RP-107 *Risk Assessment of Pipeline Protection* sedangkan ranking konsekuensi kegagalan yang ditinjau ditentukan dari perbandingan antara tegangan yang terjadi pada pipa dengan tegangan leleh pipa. Dari hasil penghitungan yang dilakukan maka diketahui bahwa tegangan yang terjadi pada pipa masih jauh di bawah tegangan leleh sehingga dapat dikategorikan tidak berbahaya yang ditandai dengan ranking konsekuensi bernilai 1. Diketahui juga bahwa semakin panjang pipa dan semakin besar kecepatan arus rata-rata di sekitar pipa maka probabilitas kegagalan pipa terhadap bahaya *fatigue* akan semakin besar sehingga ranking resikonya pun akan bertambah besar. Selain itu, dapat disimpulkan juga bahwa pipa pada arah *cross flow* lebih aman terhadap bahaya *fatigue* dibandingkan dengan pipa pada arah *in line*.

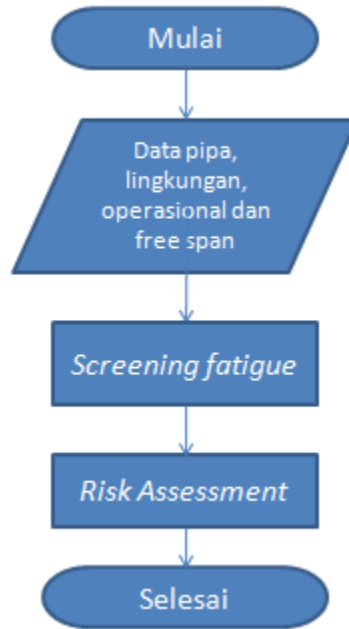
**Kata kunci:** *free span*, probabilitas kegagalan, *screening fatigue*, *risk assessment*.

## PENDAHULUAN

Untuk menjaga ketersediaan minyak dan gas bumi, diperlukan sistem distribusi yang baik agar pengiriman tidak tersendat. Maka dari itu, sistem distribusi minyak dan gas bumi menjadi sangat penting. Penggunaan pipa bawah laut merupakan salah satu pilihan yang tepat dan efisien untuk distribusi minyak dan gas bumi. Akan tetapi, pada jaringan pipa bawah laut seringkali terdapat bentang bebas yang rentan terhadap *fatigue* yang dipengaruhi oleh panjang bentang dan beban berulang seperti adanya arus laut. Variabel tersebut merupakan variabel acak sehingga perlu dilakukan penilaian resiko terhadap sifat keacakan kedua variabel tersebut. Penilaian resiko akibat panjang bentang bebas dan beban arus ini disusun berdasarkan kriteria *screening fatigue*. Pada tugas akhir ini, akan dilakukan penghitungan kriteria *screening fatigue* untuk beberapa panjang bentang, probabilitas dan konsekuensi kegagalan, juga penentuan ranking resiko yang dilakukan untuk beberapa parameter kecepatan arus yang berbeda pada beberapa panjang bentang pipa bawah laut.

## METODOLOGI

Metodologi dari tugas akhir ini bisa dilihat pada bagan alir yang dtunjukkan oleh **Gambar 1** berikut ini:



**Gambar 1.** Metodologi tugas akhir

Langkah pertama yang dilakukan adalah memasukkan data pipa dan data lingkungan untuk kemudian dicek terhadap kriteria *screening fatigue* untuk arah *in line* dan arah *cross flow* dengan menggunakan **Persamaan (1)** dan **Persamaan (2)** di bawah ini:

1. *Screening Check* arah *in line*

$$\frac{f_{n,IL}}{\gamma_{IL}} > \frac{U_{c,100year}}{V_{R,onset}^{IL} \cdot D} \cdot \left( 1 - \frac{L/D_{tot}}{250} \right) \cdot \frac{1}{\alpha} \quad (1)$$

Keterangan:

- $f_{n,IL}$  = frekuensi natural pipa arah *in line*
- $\gamma_{IL}$  = faktor *screening* arah *in-line*
- $\alpha$  = rasio kecepatan aliran
- $D$  = diameter terluar dari pipa
- $L$  = panjang free span pada pipa
- $U_{c,100year}$  = kecepatan arus dengan periode ulang 100 tahun
- $V_{R,onset}^{IL}$  = nilai *onset* untuk pengurangan kecepatan dalam arah *in- line*

2. *Screening Check* arah *cross flow*

$$\frac{f_{n,CF}}{\gamma_{CF}} > \frac{U_{c,100year} + U_{w,1year}}{V_{R,onset}^{CF} \cdot D} \quad (2)$$

Keterangan:

- $f_{n,CF}$  = frekuensi natural pipa arah *cross flow*
- $\gamma_{CF}$  = faktor *screening* arah *cross flow*
- $U_{c,100year}$  = kecepatan arus dengan periode ulang 100 tahun
- $U_{w,1year}$  = kecepatan aliran yang dipengaruhi gelombang dengan periode ulang 1 tahun
- $V_{R,onset}^{CF}$  = nilai *onset* untuk pengurangan kecepatan dalam arah *cross flow*

Setelah itu, pekerjaan dilanjutkan dengan penghitungan probabilitas kegagalan dimana fungsi performansi yang digunakan adalah fungsi performansi terhadap kriteria *screening fatigue* dengan variabel acak kecepatan arus yang diasumsikan mempunyai distribusi normal. Frekuensi natural pipa dimodelkan sebagai tahanan dan frekuensi getaran yang diakibatkan oleh *vortex induced vibration* dimodelkan sebagai beban. Fungsi performansi yang digunakan dalam tugas akhir ini dapat dilihat pada **Persamaan (3)** dan **Persamaan (4)** berikut ini:

1. Fungsi performansi arah *inline*

$$g(U_{c100}) = \frac{f_{n,IL}}{\gamma_{IL}} - \frac{(U_{c,100year} + U_{w1year})}{V_{R,onset}^{IL} \cdot D} \cdot \left(1 - \frac{L/D}{250}\right) \quad (3)$$

2. Fungsi performansi arah *crossflow*

$$g(U_{c100}) = \frac{f_{n,CF}}{\gamma_{CF}} - \frac{(U_{c,100year} + U_{w1year})}{V_{R,onset}^{CF} \cdot D} \quad (4)$$

Nilai probabilitas kegagalan didapat setelah dicari nilai indeks kehandalan dari masing-masing arah dan mencari nilai yang sesuai dari tabel distribusi normal standar kemudian rankingnya ditentukan dari kriteria yang terdapat pada DNV RP-107 *Risk Assessment of Pipeline Protection*. Indeks kehandalan bisa dicari dengan menggunakan **Persamaan (5)** dan ranking probabilitas bisa dilihat pada **Tabel 1** berikut ini:

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 - \sigma_S^2}} \quad (5)$$

Keterangan:

- $\beta$  = Indeks kehandalan
- $\mu_R$  = nilai rata-rata tahanan
- $\mu_S$  = nilai rata-rata beban
- $\sigma_R$  = standar deviasi tahanan
- $\sigma_S$  = standar deviasi beban

**Tabel 1** Ranking probabilitas kegagalan

Ranking	Penjelasan	Frekuensi
1 (low)	Frekuensi sangat rendah sehingga bisa diabaikan.	$<10^{-5}$
2	Kejadian sangat jarang terjadi.	$10^{-4} > 10^{-5}$
3 (medium)	Kejadian diperkirakan tidak akan terjadi tetapi mempunyai kemungkinan terjadi satu kali.	$10^{-3} > 10^{-4}$
4	Kejadian dapat terjadi selama masa layan.	$10^{-2} > 10^{-3}$
5 (high)	Kejadian dapat terjadi lebih dari satu kali selama masa layan.	$>10^{-2}$

Sedangkan nilai dari ranking konsekuensi ditentukan dari besarnya tegangan pada dinding pipa yang kemudian dibandingkan dengan SMYS dan SMTS pipa. Besar rankingnya ditentukan pada **Tabel 2** di bawah ini:

**Tabel 2** Ranking Konsekuensi kegagalan

Ranking	Tegangan	Deskripsi
1	< 0,9SMYS	No Damage
2	0,9SMYS – SMYS	Minor Damage
3	SMYS – SMTS	Minor Damage
4	SMTS – 1,1SMTS	Major Damage
5	>1,1SMTS	Rupture

Nilai dari ranking resiko adalah perkalian antara nilai probabilitas kegagalan dan konsekuensi kegagalan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari *screening fatigue* dapat dilihat ada **Tabel 3** untuk arah *in line* dan **Tabel 4** untuk arah *cross flow* di bawah ini:

**Tabel 3** Sceening check arah *in line*

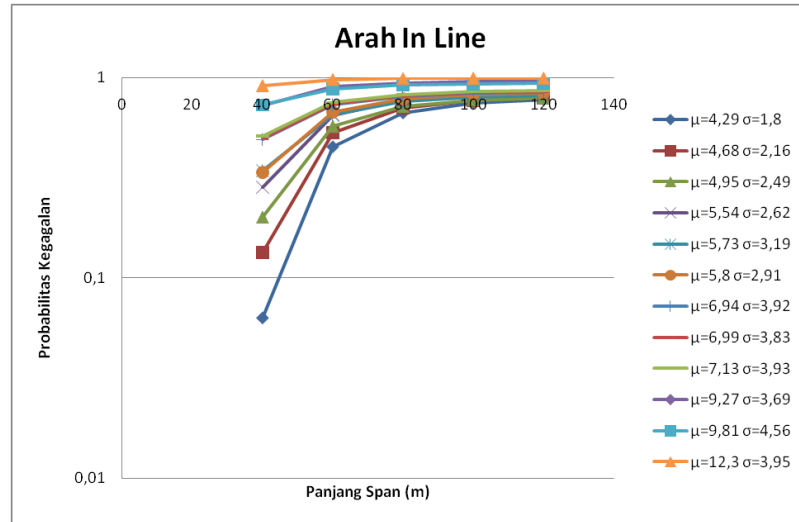
Panjang Span (m)	$\frac{F_{n\_IL}}{\gamma_{IL}}$	$\frac{U_{c100}}{V_{R,IL,max}} \left(1 - \frac{L}{D}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$	Screening Fatigue Check
40	0,722	0,417	OK
60	0,428	0,374	OK
80	0,303	0,331	Not OK
100	0,235	0,289	Not OK
120	0,191	0,246	Not OK

**Tabel 4** Sceening check arah *cross flow*

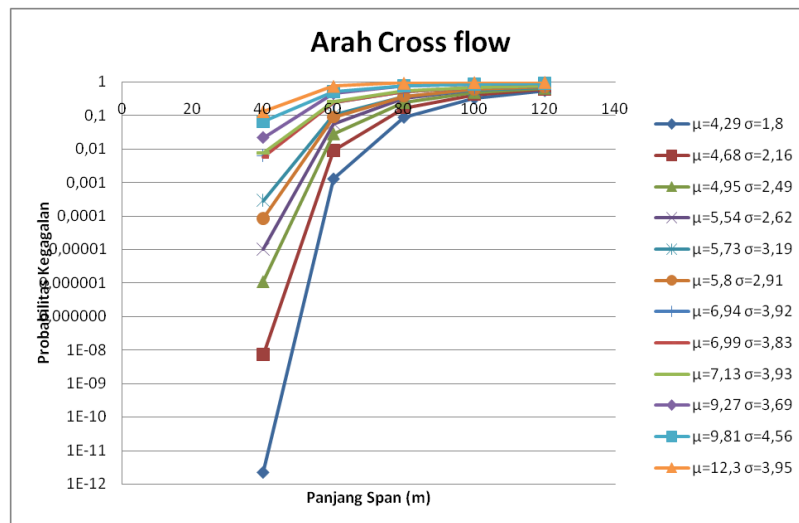
Panjang Span (m)	$\frac{f_{n\_CF}}{\gamma_{CF}}$	$\frac{U_{c100} + U_{w1}}{V_{R,CF}}$	Screening Fatigue Check
40	0,73	0,173	OK
60	0,431	0,173	OK
80	0,304	0,173	OK
100	0,235	0,173	OK
120	0,192	0,173	OK

Dari hasil penghitungan di atas dapat dilihat bahwa untuk arah *in line* hanya pipa 40 m dan 60 m yang lolos *screening fatigue* sedangkan pada arah *cross flow* semua pipa lolos. Dapat disimpulkan bahwa arah *cross flow* lebih aman terhadap *fatigue* dibandingkan dengan arah *in line*.

Hasil penghitungan probabilitas kegagalan untuk 12 parameter arus yang berbeda pada 5 panjang *span* ditunjukkan oleh **Gambar 2** untuk arah *in line* dan **Gambar 3** untuk arah *cross flow* di bawah ini:



**Gambar 2** Probabilitas kegagalan arah *in line* pada tiap parameter arus



**Gambar 3** Probabilitas kegagalan arah *cross flow* pada tiap parameter arus

Dari kedua grafik di atas dapat dilihat bahwa probabilitas pada arah *cross flow* lebih rendah dari pada probabilitas arah *in line* sehingga dapat disimpulkan bahwa arah *cross flow* lebih aman dari arah *in line* terhadap *fatigue*. Hal ini sejalan dengan hasil *screening fatigue* sebelumnya. Parameter kecepatan rata-rata arus juga berpengaruh terhadap besarnya probabilitas kegagalan pipa, dimana jika rata-rata arus bertambah besar maka probabilitas kegagalan juga akan semakin meningkat.

Selanjutnya penghitungan nilai ranking resiko dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 yang secara berurutan menunjukkan ranking resiko untuk arah *in line* dan arah *cross flow* dimana PoF menunjukkan ranking *Probability of Failure* dan CoF menunjukkan ranking *Consequences of Failure*.

**Tabel 5** Tabel perbandingan hasil *screening fatigue* dan ranking resiko arah *in line*

Panjang Span (m)	Screening Check	$f_{\text{pipa}}-f_{\text{getaran}}$	PoF	Rank PoF	CoF (%SMYS)	Rank CoF	Ranking Resiko	Ketogori resiko
40	OK	0,2670	0,06320	5	12,39	1	5	ALARP
60	OK	0,0198	0,44964	5	18,71	1	5	ALARP
80	NOT OK	-0,0583	0,66297	5	23,65	1	5	ALARP
100	NOT OK	-0,0766	0,74497	5	26,15	1	5	ALARP
120	NOT OK	-0,0768	0,77240	5	27,04	1	5	ALARP

**Tabel 6** Tabel perbandingan hasil *screening fatigue* dan ranking resiko arah *cross flow*

Panjang Span (m)	Screening Check	$f_{\text{pipa}}-f_{\text{getaran}}$	PoF	Rank PoF	CoF (%SMYS)	Rank CoF	Ranking Resiko	Ketogori resiko
40	OK	0,5304	2,2E-12	1	12,39	1	1	Acceptable
60	OK	0,2314	0,0012	4	18,71	1	4	Acceptable
80	OK	0,1044	0,0863	5	23,65	1	5	ALARP
100	OK	0,0354	0,3216	5	26,15	1	5	ALARP
120	OK	-0,007	0,5391	5	27,04	1	5	ALARP

Dari kedua tabel di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai perbedaan frekuensi pipa dan frekuensi getaran yang terjadi semakin besar pula probabilitas kegagalan sehingga kemudian akan menyebabkan ranking resiko bertambah besar.

## KESIMPULAN

Dari pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Pada arah *in line* pipa berada pada daerah resiko ALARP untuk semua parameter kecepatan arus, sedangkan pada arah *cross flow* panjang *span* 40 m dan 60 m pada kondisi arus dengan rata-rata sebesar 0,4289 m/s dan standar deviasi sebesar 0,1797 m/s juga pada rata-rata sebesar 0,4670 m/s dan standar deviasi sebesar 0,2125 m/s.
2. Probabilitas kegagalan arah *in line* lebih besar daripada probabilitas kegagalan arah *cross flow* dan hasilnya sejalan dengan hasil *screening fatigue* dimana arah *cross flow* lebih aman terhadap bahaya *fatigue* bila dibandingkan dengan arah *in line*.
3. Semakin panjang *span* pipa semakin tinggi pula probabilitas kegagalan pipa sehingga tingkat resiko pipa terhadap bahaya *fatigue* bertambah besar.
4. Semakin besar kecepatan rata-rata arus maka probabilitas kegagalan terhadap bahaya *fatigue* akan lebih besar.
5. Tegangan yang terjadi pada pipa masih dikategorikan aman bila dibandingkan nilai tegangan leleh.
6. Jika pipa berada pada daerah ALARP penanggulangan yang dapat dilakukan ketika desain dapat berupa pemindahan jalur instalasi pipa, memperpendek panjang bentang, atau dengan menambah kekuatan pipa, sedangkan pada pipa eksisting dapat dilakukan dengan melakukan monitoring secara berkala.

Saran yang dapat diberikan terkait permasalahan tugas akhir ini adalah dengan menambahkan variabel acak terkait *fatigue* seperti gelombang, material pipa, material selimut beton, dan juga properti pipa.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

Det Norsk Veritas (DNV), *Rules for Submarine Pipeline Systems*, Oslo, 1981

Det Norsk Veritas (DNV) Offshore Standard (OS) F101, *Submarine Pipeline Systems*, Oslo, October 2010

Det Norsk Veritas (DNV) Recommended Practice (RP) F105, *Free Spanning Pipelines*, Oslo,

Det Norsk Veritas (DNV) Recommended Practice (RP) F107, *Risk Assessment Pipeline Protection*, Oslo, October 2010

Mahadevan, S & Haldar, A. *Probability, Reliability and Statistical Methods in Engineering Design*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2000