

ANALISIS FATIGUE PADA PIPA BAWAH LAUT DENGAN METODE DETERMINISTIK

Fader Tamba

Program Studi Sarjana Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan

Institut Teknologi Bandung

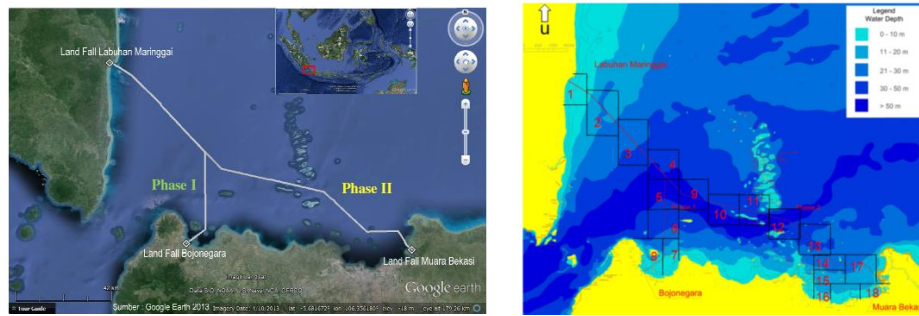
email : fader.tamba@gmail.com

Pendahuluan

ABSTRAK. Pipa bawah laut adalah salah satu fasilitas yang digunakan dalam kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi di laut. Selama proses tersebut, pipa bawah laut akan mengalami beban lingkungan berupa arus dan gelombang. Satu fenomena yang dapat terjadi adalah *fatigue*. *Fatigue* adalah kegagalan pipa bawah laut yang diakibatkan oleh beban yang bersifat siklik atau berulang. Salah satu penyebabnya adalah karena pipa mengalami bentang bebas (*free span*). Analisis *fatigue* diperlukan untuk menentukan umur *fatigue* pipa bawah laut. Tujuan dari tugas akhir ini adalah menghitung umur *fatigue* pada zona 12 jalur pipa *South Sumatera – West Java*. Analisis *fatigue* dilakukan dengan metode deterministik yaitu pembebanan arus VIV dan gelombang dalam domain waktu. Kesimpulan yang didapat pada tugas akhir ini adalah umur *fatigue* akibat pembebanan arus dan gelombang secara akumulatif pada arah *in-line* adalah 115.01 tahun dan pada arah *cross flow* adalah 17.33 tahun.

Energi fosil masih menjadi prioritas utama pemenuhan energi di dunia. Saat ini kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi sudah mencapai ke laut lepas. Diperlukan fasilitas pendukung yaitu pipa bawah laut. Pipa bawah laut dapat mengalami bentang bebas. Adanya bentang bebas dapat mengakibatkan pipa mengalami kegagalan *fatigue* karena pipa mengalami beban siklik berupa beban arus dan gelombang.

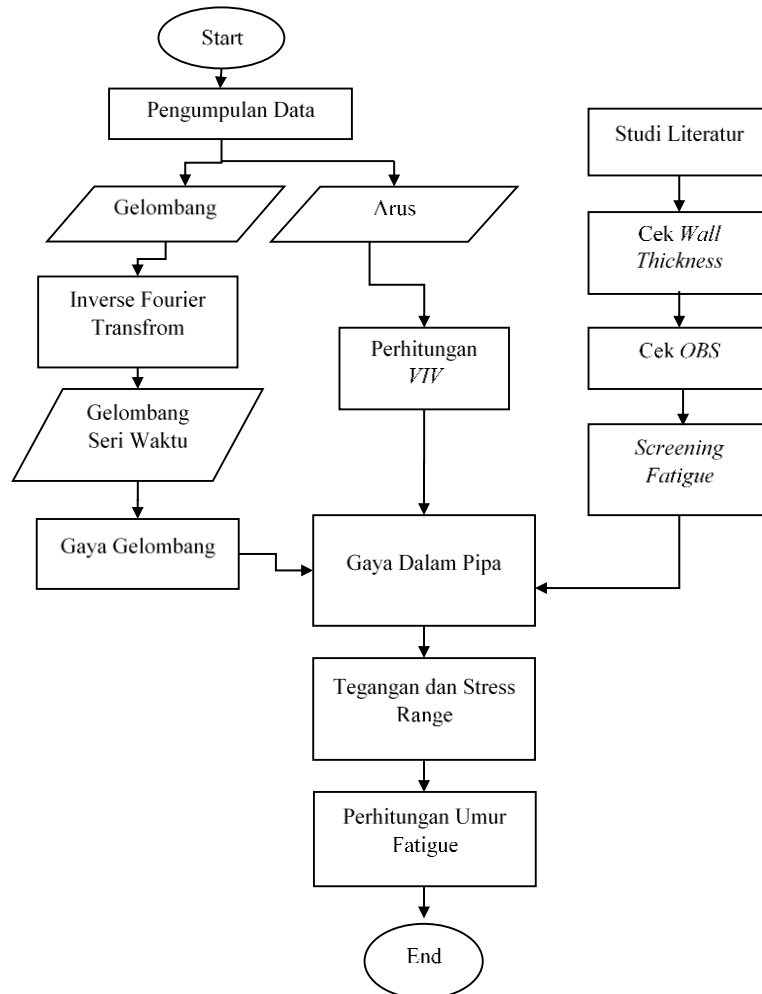
Analisis *fatigue* diperlukan untuk menghitung umur *fatigue*. Analisis *fatigue* dilakukan pada jalur pipa *South Sumatera – West Java*. Jalur pipa tersebut dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini. Analisis *fatigue* dilakukan dengan metode deterministik yaitu pembebanan oleh arus dan gelombang dihitung secara numerik dalam domain waktu. Analisis *fatigue* pipa bawah laut mengacu kepada standar yang dikeluarkan oleh DNV yaitu DNV RP-F-105 Free Spanning Pipelines.



Gambar 1. Jalur pipa South Sumatera – West Java

METODOLOGI

Metodologi yang digunakan pada studi ini dijelaskan dalam bentuk diagram alir gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Metodologi Studi

Pengumpulan data yaitu berupa data pipa, data arus, data gelombang, batimetri, dan data *free span* pipa. Penaksiran data gelombang dilakukan dari spectrum gelombang teoritis yang sebelumnya telah dikenal dalam dunia teknik kelautan. spektrum gelombang yang digunakan adalah spektrum gelombang *fully developed wind waves*.

Spektrum ini dapat ditulis dalam persamaan matematis sebagai berikut.

$$S(f) = 0.257 H_s^2 T_s^{-4} f^{-5} \exp[-1.03(T_s \cdot f)^{-4}] \quad (1)$$

Di mana, H_s adalah tinggi gelombang signifikan (meter).

T_s adalah periode gelombang signifikan (detik).

Kemudian dari spektrum teoritis dapat dijadikan data gelombang seri waktu dengan melakukan inverse fourier transform. Untuk menentukan besarnya tinggi dan periode gelombang individual diperlukan zero up crossing. Setelah itu dapat dibuat probabilitas kejadian gelombang berdasarkan tinggi dan periode gelombang, Setelah didapat data gelombang dari waktu ke waktu dapat dihitung gaya gelombang dengan persamaan Morison.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho A_p C_D |U|U \quad (2)$$

$$F_i = \rho C_m V U' \quad (3)$$

F_D = gaya seret, ρ = massa jenis fluida, C_D = koefisien drag, U = kecepatan partikel fluida, A_p = luas proyeksi struktur, F_i = gaya inersia, C_m = Koefisien inersia, V = volume benda tercelup, U' = percepatan partikel fluida.

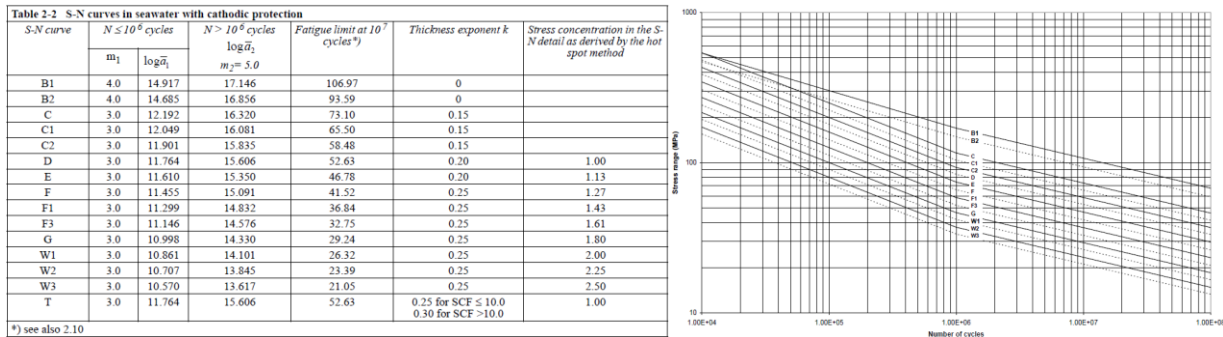
Perhitungan gaya akibat arus dilakukan dengan memperhatikan Vortex Induced Vibration (VIV). Vortex Induced Vibration adalah peristiwa bergetarnya sebuah struktur (silinder) akibat osilasi gaya dari pelepasan vortex secara bergantian pada kedua sisi silinder. Getaran yang terjadi pada silinder dipengaruhi oleh besarnya frekuensi vortex shedding. Frekuensi vortex-shedding dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$fs = \frac{SV}{D} \quad (4)$$

fs = frekuensi vortex shedding, S = bilangan Strouhal, V = kecepatan aliran fluida, D = diameter pipa

Pipa yang mengalami free span dimodelkan sebagai balok di atas 2 tumpuan dengan dengan jenis tumpuan pin-pin. Setelah mengetahui gaya hidrodinamika, dilakukan analisis struktur untuk menentukan gaya dalam dan besarnya tegangan pada pipa. Setelah itu dihitung besarnya stress range yaitu tegangan maksimum pipa dikali 2 dikali dengan *dynamic amplification factor*.

Setelah didapat besarnya stress range, dilakukan perhitungan umur fatigue. Tahapan pertama adalah menentukan besarnya siklus kegagalan pada stress range tertentu berdasarkan kurva S-N.



Gambar 3. Kurva S-N untuk struktur dalam air laut dengan perlindungan katodik

Setelah didapatkan jumlah siklus kegagalan pada stress range tertentu, dapat dilanjutkan dengan menghitung fatigue damage dan umur fatigue.

$$D = \sum \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots \quad (5)$$

Di mana D adalah fatigue damage, n_i adalah jumlah siklus pada stress range tertentu ke-i, dan N_i adalah jumlah siklus yang dibutuhkan sampai terjadi kegagalan.

Umur fatigue dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$T_{life} = \frac{T_{exposure}}{Damage} \quad (6)$$

HASIL PERHITUNGAN

Analisis fatigue dilakukan pada jalur pipa di zona 12 dengan pembebanan arus dan gelombang pada kedalaman 20 m. Beban yang digunakan adalah beban gelombang dan arus dengan periode ulang 10 tahun. Perhitungan umur fatigue dilakukan dengan langkah-langkah seperti di atas. Perlu ditekankan bahwa perhitungan umur fatigue dilakukan dengan menggunakan metode simplified deterministic dan general deterministic. Simplified deterministic yaitu dengan mengasumsikan beban yang diterima adalah seragam sepanjang masa layan, sedangkan general deterministic menggunakan pembebanan dengan memperhatikan probabilitas kejadian arus dan gelombang.

Hasil perhitungan umur fatigue dengan metode simplified deterministic dan general deterministic dapat dilihat dari tabel di bawah ini.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Umur Fatigue Akibat Gelombang

No.	Metode	Damage		Fatigue Life	
		In Line	Cross Flow	In Line	Cross Flow
1	Simplified	0.0860	0	116.3	-
2	General	0.0039	0.022	2594.3	449.6

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Umur Fatigue Akibat Arus

No.	Metode	Damage		Fatigue Life	
		In Line	Cross Flow	In Line	Cross Flow
1	Simplified	9.44×10^{-4}	0.577	10590	17.33
2	General	1.12×10^{-4}	0.128	89603	78.07

Beban damage fatigue akibat arus dan gelombang dapat dijumlahkan karena bersifat akumulatif. Ringkasan hasil perhitungan umur fatigue akibat penjumlahan beban arus dan gelombang dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.8 Perhitungan Umur Fatigue Akibat Penjumlahan Damage Arus dan Gelombang

Metode	Damage				Fatigue Life	
	Arus		Gelombang			
	in line	cross flow	in line	cross flow	In line	cross flow
Simplified	9.438×10^{-4}	0.577	3.362×10^{-4}	0	115.02	17.33
General	1.120×10^{-4}	1.280×10^{-1}	3.855×10^{-3}	2.222×10^{-2}	2521.28	66.52

Dari hasil perhitungan umur fatigue dapat dianalisis bahwa:

1. Faktor yang paling besar mempengaruhi umur fatigue adalah akibat beban arus.
2. Kedekatan antara frekuensi beban lingkungan dengan frekuensi natural pipa sangat mempengaruhi umur fatigue.
3. Dari hasil perhitungan umur fatigue akibat beban gelombang, general deterministic fatigue analysis memberikan umur fatigue yang lebih panjang. Hal ini karena beban gelombang dikalikan dengan probabilitas terjadinya gelombang tersebut. Sehingga mengakibatkan damage yang lebih kecil.
4. Dari hasil perhitungan umur fatigue akibat beban arus, general deterministic fatigue analysis memberikan umur fatigue yang lebih panjang. Hal ini sama seperti di atas akibat pengaruh probabilitas arus.

5. Umur fatigue pada pipa sangat dipengaruhi oleh terjadinya VIV. Hal ini dikarenakan frekuensi natural pipa mendekati frekuensi arus. Sehingga mengakibatkan damage yang besar.
6. Dari hasil penjumlahan damage akibat beban arus dan gelombang terlihat bahwa metode yang solid pada kasus ini adalah general deterministic fatigue analysis. Damage terbesar terjadi dalam arah cross flow. Hal ini berarti pipa lebih mengalami osilasi dalam arah cross flow.
7. Penjumlahan damage arah cross flow dan in line tidak dapat dijumlahkan karena momen lentur pada pipa terjadi pada arah yang berbeda.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis fatigue pada pipa free span di zona 12 jalur pipa South Sumatra – West Java, maka diambil kesimpulan-kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada analisis *wall thickness*, nilai tebal dinding pipa memenuhi kriteria *wall thickness*.
2. Pada analisis *on bottom stability*, pipa memenuhi kestabilan vertikal dan lateral.
3. Umur fatigue pada pipa free span akibat pembebanan gelombang adalah 449 tahun pada arah cross flow dan 2594 tahun pada arah in line.
4. Umur fatigue pada pipa free span akibat pembebanan arus pada arah in line adalah 10590 tahun sedangkan pada arah cross flow adalah 17.33 tahun.
5. Umur fatigue akibat pembebanan arus dan gelombang secara akumulatif pada arah in line adalah 17.33 tahun dan arah cross flow adalah 115.02 tahun.
6. Pada kedalaman 20m, beban arus lebih signifikan berpengaruh pada pipa, dibandingkan dengan beban gelombang. Hal ini terjadi karena arus mengakibatkan VIV yang memiliki frekuensi yang mendekati frekuensi natural pipa. Damage terbesar terjadi pada arah crossflow.

SARAN

1. Sebaiknya dilakukan analisis fatigue pada pipa free span dengan memperhitungkan parameter *concrete coating* dan fluida yang mengalir di dalam pipa. Hal ini akan mengubah massa pipa sehingga perhitungan umur fatigue dapat memberikan hasil yang lebih akurat.
2. Sebaiknya dilakukan studi lebih lanjut mengenai hubungan interaksi pipa dengan tanah dan keterkaitannya dengan perhitungan umur fatigue pipa.

DAFTAR PUSTAKA

Bai, Yong. 2001. *Pipeline and Risers*, Elsevier Ocean Engineering Book Series

Chakrabarti, S.K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*. London: Mid-County Press

Det Norske Veritas. 2010. *Recommended Practice RP-C203 Fatigue Design of Offshore Steel Structures*

Det Norske Veritas. 2006. *Recommended Practice RP-F105 Free Spanning Pipelinesl Structures*

Det Norske Veritas. 1981. *Rules for Submarine Pipeline System*

US Army, Corps of Engineers. 1984. *Shore Protection Manual*. Washington, DC

Salim, Hang Tuah. *Mekanika Gelombang*. Diktat Kuliah ITB