

ANALISIS RISIKO KESTABILAN LATERAL PIPA BAWAH LAUT AKIBAT KEACAKAN KECEPATAN ARUS

Risk Assessment of Subsea Pipeline Lateral Stability due to Random Current Effect

Muhammad Reza Fauzi, Dr. Paramashanti, S.T, M.T.
Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan ITB,
Bandung email: fauzirezam@gmail.com

ABSTRACT

Risk assessment is a systematic process of identification, evaluation, and estimation of the potential risks involved in a project. Risk assessment must be done in subsea pipeline project to determine the possible amount of risk that can happened during operation. In this final project, risk assessment was done to obtain the probability of on-bottom stability failure. On-bottom stability failure occurs when designed weight of the pipeline is less than its required weight. The required weight itself is affected by current velocity. Method of on bottom stability analysis used in this project is simplified stability analysis as referred to DNV RP-E305. Probability of failure (PoF) of on-bottom stability analysis can be obtained by comparing number of failure occurrences and number of total occurrences. In this project, the value of PoF is analyzed using reliability analysis of Monte Carlo Simulation Method. Consequence of failure (CoF) comes as a result of failure. List of CoF observed in this project are safety (social fatality), cost of company asset, cost of environmental asset, gas loss, and business interruption. After obtaining both PoF and CoF value, PoF and CoF will be ranked using DNV RP-F107 and company specification, respectively. Ultimately, a risk matrix can be made based on PoF and CoF Ranking.

Key Words/Phrase: on bottom stability, probability of failure, consequence of failure, risk, reliability analysis

ABSTRAK PANJANG

PENDAHULUAN

Pipa bawah laut adalah salah satu teknologi transportasi minyak dan gas. Proses perancangan pipa bawah laut harus memperhatikan kondisi lingkungan dan kapasitas pipa itu sendiri. Salah satu analisis yang harus dilakukan pada proses perancangannya adalah analisis on bottom stability. Analisis ini menguji apakah pipa bawah laut stabil secara lateral dan vertikal ketika berada didasar laut. Pada saat beroperasi, pipa bawah laut memiliki risiko kegagalan yang diakibatkan beban lingkungan. Kegagalan kestabilan lateral pipa bawah laut adalah salah satu risiko kegagalan yang dapat terjadi akibat berat pipa yang tidak memenuhi syarat kestabilan lateral. Penyebab adanya risiko kegagalan kestabilan lateral adalah variabel acak yang mempengaruhi besarnya beban lingkungan.

Kecepatan arus merupakan salah satu variabel acak yang mempengaruhi kestabilan lateral pipa bawah laut. Risiko kegagalan kestabilan lateral dapat dipengaruhi oleh sifat keacakan dari kecepatan arus. Metode yang digunakan untuk menentukan risiko pada tugas akhir ini adalah metode matriks risiko. Terdapat dua unsur penting pada matriks risiko, yaitu probabilitas kehandalan dan konsekuensi kegagalan.. Keacakan kecepatan arus akan dianalisis pengaruhnya terhadap risiko kegagalan kestabilan lateral. Berat pipa yang dibutuhkan akan bervariasi sesuai dengan setiap nilai kecepatan arus dari hasil simulasi.

Pada tugas akhir ini dilakukan analisis pemeriksaan kestabilan pipa bawah laut dan analisis risiko kestabilan lateral pipa bawah laut. Hasil analisis studi ini akan menunjukkan risiko kegagalan kestabilan lateral pipa bawah laut akibat kecepatan arus.

TEORI DAN METODOLOGI

Analisis kestabilan lateral pipa bawah metode kestabilan statik sederhana pada DNV RP E-305 mengharuskan dipenuhinya dua kriteria kestabilan, yaitu kestabilan vertikal dan lateral. Syarat kestabilan vertikal ditunjukkan pada **Persamaan 1**

$$\frac{W_{stcc} + B_{tcc}}{B_{tcc}} \leq 1.1 \quad (1)$$

dimana,

W_{stcc} = Berat pipa yang terendam

B_{tcc} = gaya apung

Syarat kestabilan lateral ditunjukkan pada **Persamaan 2**

$$\frac{W_{stcc}}{W_{req}} \geq 1 \quad (2)$$

dimana,

W_{req} : berat minimum pipa yang dibutuhkan

W_{stcc} : berat pipa yang terendam

Pada analisis kestabilan lateral, beban lingkungan seperti gaya hidrodinamika sangat mempengaruhi besarnya berat minimum pipa yang dibutuhkan. Gaya hidrodinamika sangat erat kaitannya dengan kecepatan arus. Pada umumnya, kecepatan arus bersifat acak. Hal ini menyebabkan timbulnya risiko kegagalan, meskipun kriteria kestabilan lateral telah dipenuhi. Probabilitas munculnya kecepatan arus yang melebihi nilai desain tetap akan ada.

Untuk menentukan nilai desain kecepatan arus, dilakukan dua langkah yaitu uji distribusi yang sesuai dengan distribusi kecepatan arus dan perhitungan nilai desain dengan menggunakan teori probabilitas. Uji distribusi yang dapat digunakan diantaranya adalah Uji Kolmogorov Smirnov dan Uji *Chi Square*. Nilai variabel acak desain dapat ditentukan dengan menentukan nilai variabel acak yang berpasangan dengan CDF nilai kecepatan arus desain.

Analisis risiko dilakukan untuk menentukan seberapa besar risiko kegagalan berdasarkan probabilitas kegagalan dan konsekuensi kegagalan. Untuk mengetahui probabilitas kegagalan, dilakukan analisis kehandalan simulasi Monte Carlo. Asumsi yang digunakan adalah seluruh parameter nilainya sama dengan hasil perhitungan kestabilan lateral dengan nilai desain, kecuali nilai kecepatan arus. Nilai kecepatan arus diperoleh dengan mengeluarkan 500,000 angka kecepatan arus acak yang memiliki Distribusi Weibull, dengan nilai parameter bentuk (k) 1.57 dan nilai parameter skala (λ) 0.227. Probabilitas kegagalan kestabilan lateral dihitung dengan membandingkan jumlah kejadian kestabilan yang gagal dengan seluruh kejadian hasil simulasi.

Analisis konsekuensi kegagalan dilakukan dengan menentukan *score* setiap kriteria konsekuensi kegagalan, dimana *score* tersebut akan digunakan untuk menentukan *ranking* konsekuensi kegagalan. Kriteria konsekuensi kegagalan yang digunakan adalah *safety (social fatality)*, *cost of company asset*, *cost of environment asset*, *gas loss*, dan *business interruption*. *Score* konsekuensi kegagalan untuk setiap kriteria ditunjukkan pada **Tabel 1**, **Tabel 2**, **Tabel 3**, **Tabel 4**, dan **Tabel 5**. Penilaian kriteria *safety (social fatality)* ini dilakukan dengan melihat banyaknya jumlah populasi manusia di daerah sekitar pipa. Penilaian kriteria *cost of company asset* dilakukan dengan melihat dampak kegagalan dari sudut pandang ekonomi, seberapa besar jumlah uang yang dikeluarkan untuk menanggulangi kegagalan. Penilaian kriteria *cost of environmental asset* dilakukan dengan melihat dampak kerusakan fasilitas disekitar pipa, yang diakibatkan terjadinya kegagalan. Penilaian kriteria *gas loss* dilakukan dengan melihat banyaknya gas yang terbuang akibat terjadinya kegagalan. Penilaian kriteria *business interruption* dilakukan dengan melihat kerugian bisnis yang terjadi akibat terjadinya kegagalan. Tingkatan kerugian bisnis dinilai dari besarnya nilai uang yang hilang akibat kebijakan perusahaan yang diberlakukan kepada operasional pipa bawah laut.

Tabel 1 - Parameter dalam Kriteria *Safety (Social Fatality)*

Parameter	Score
Empty No Activity Area	0
Sailing Traffic	3
Fishing Area	5
Port/Shore Approach	7
Production Platform	10

Tabel 2 - Parameter dalam Kriteria *Cost of Company Asset*

Parameter	Score
Rerate	3
Repair	6
Replace	10

Tabel 3 - Parameter dalam Kriteria *Cost of Environmental Asset*

Parameter	Score
Platform/Pipa	10
Kabel Optik	8
Kabel Power	6
Lainnya (ikan, bagan nelayan)	3

Tabel 4 - Parameter dalam Kriteria *Gas Loss*

Parameter	Score
< 10 mmsecf	3
10 – 50 mmsecf	6
> 50 mmsecf	10

Tabel 5 - Parameter dalam Kriteria *Business Interruption*

Parameter	Score
Tidak ada penurunan <i>flowrate</i>	3
Ada penurunan <i>flowrate</i>	6
Stop sama sekali	10

Bobot setiap kriteria konsekuensi kegagalan ditunjukkan pada **Tabel 6**

Tabel 6 - Bobot Kriteria COF

Kriteria	Bobot
Gas Loss	10%
Cost of Environmental Asset	15%
Cost of Company Asset	20%
Business Interruption	25%
Safety (social fatality)	30%

Ranking probabilitas kegagalan ditentukan berdasarkan DNV RP-F107 yang ditunjukkan pada **Tabel 7**. Semakin besar nilai PoF, maka *ranking* yang diperoleh juga semakin besar.

Tabel 7 – Peringkat Probabilitas Kegagalan (PoF)

(Sumber : DNV RP F107 *Risk Assessment of Pipeline Protection*, 2010)

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

Ranking konsekuensi kegagalan ditentukan secara kualitatif, berdasarkan standar yang dimiliki oleh setiap perusahaan seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 8**. Semakin besar *score* CoF, maka *ranking* yang diperoleh juga semakin besar.

Tabel 8 – Peringkat Konsekuensi Kegagalan (CoF)

Ranking	CoF
1	< 2
2	2 – 4
3	4 – 6
4	6 – 8
5	> 8

HASIL DAN ANALISIS

Hasil perhitungan analisis *on-bottom stability* pada pipa dengan diameter 0.8 m, tebal lapisan beton, dan kecepatan arus desain 0.687 m/s ditunjukkan pada perhitungan berikut:

- Pemeriksaan kestabilan vertikal

$$\frac{W_{stcc} + B}{B} = 1.324$$

$$\frac{W_{stcc} + B}{B} \geq 1.1 \text{ (STABIL)}$$

- Pemeriksaan kestabilan lateral

$$\frac{W_s}{W_{req}} = 1.914$$

$$\frac{W_s}{W_{req}} \geq 1 \text{ (STABIL)}$$

Berdasarkan hasil perhitungan *on bottom stability*, pipa bawah laut dikategorikan stabil secara vertikal dan lateral.

Hasil perhitungan analisis kehandalan dengan metode simulasi Monte Carlo ditunjukkan pada **Tabel 9** dan **Tabel 10**.

Tabel 9 - Jumlah Kecepatan Arus yang Sesuai Kriteria Kestabilan Lateral

Kriteria	Jumlah
OK	305,178
TIDAK OK	194,822

Tabel 10 - Probabilitas Kegagalan dan Probabilitas Kehandalan pada Metode Simulasi

Jumlah data	500,000
Probabilitas Kegagalan	0.38964
Probabilitas Kehandalan	0.61036

Dari 500,000 data kecepatan arus yang di *generate* dengan perangkat lunak Matlab, terdapat 305,178 data yang memenuhi syarat kestabilan lateral dan 194,822 data yang tidak memenuhi syarat kestabilan lateral. Maka probabilitas kegagalan kestabilan lateral dengan metode simulasi adalah 39%. Dari **Tabel 7** dapat ditentukan bahwa kejadian kegagalan dengan PoF 0.39 termasuk dalam kriteria *ranking* 5 (*very high*).

Penentuan *score* pada setiap kriteria konsekuensi kegagalan dilakukan dengan mencari data aktivitas makhluk hidup disekitar pipa bawah laut yang akan terpengaruh apabila terjadi kegagalan, dan tindakan apa yang akan dilakukan oleh sebuah perusahaan apabila terjadi kegagalan. Pada tugas akhir ini, pipa bawah laut diasumsikan mengalami kejadian yang sama dengan pipa bawah laut pada Perusahaan X. Jadi, *score* konsekuensi kegagalan untuk setiap kriteria, ditentukan berdasarkan penyebab dan dampak yang terjadi pada Perusahaan X. *Score* konsekuensi untuk kriteria *safety* adalah 0 (*no activity area*) karena tidak ada kegiatan manusia disekitar pipa bawah laut. *Score* konsekuensi untuk kriteria *cost of company asset* adalah 6 (*repair*) karena perlu dilakukan perbaikan pada pipa bawah laut. *Score* konsekuensi untuk kriteria *cost of environmental asset* adalah 3 (lainnya) karena tidak ada fasilitas seperti *platform*/pipa, kabel optik, dan kabel *power*. *Score* konsekuensi untuk kriteria *cost of company asset* adalah 3 (< 10 mmscf), karena pipa bawah laut mengalami kebocoran sebesar kurang dari 10 mmscf. *Score* konsekuensi untuk kriteria *business interruption* adalah 6, karena terjadi penurunan *flowrate* pada operasional pipa bawah laut. Rangkuman *score* untuk setiap kriteria konsekuensi kegagalan ditunjukkan pada **Tabel 11**.

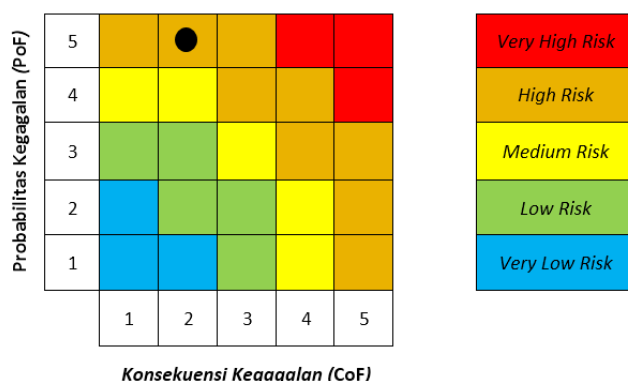
Tabel 11 - Score Kriteria Konsekuensi Kegagalan

Kriteria	Bobot	Score
<i>Gas Loss</i>	10%	3
<i>Cost of Environmental Asset</i>	15%	3
<i>Cost of Company Asset</i>	20%	6
<i>Business Interruption</i>	25%	6
<i>Safety (social fatality)</i>	30%	3

Perhitungan score gabungan dari seluruh kriteria konsekuensi kegagalan ditunjukkan sebagai berikut.

$$CoF = 0.1 \times 3 + 0.15 \times 3 + 0.2 \times 6 + 0.25 \times 6 + 0.3 \times 3 = 4.35$$

Dari hasil perhitungan diatas, *ranking* konsekuensi kegagalan adalah 4.35. dengan score CoF 4.35 maka *ranking* konsekuensi kegagalannya adalah *ranking* 2. Setelah menentukan *ranking* probabilitas kegagalan dan *ranking* konsekuensi kegagalan, maka langkah selanjutnya adalah membuat matriks risiko. Matriks risiko untuk kestabilan lateral pipa bawah laut akibat keacakan kecepatan arus dibuat dengan *ranking* PoF 5 dan *ranking* CoF 2. Matriks konsekuensi kegagalan kestabilan lateral pipa bawah laut akibat keacakan kecepatana arus diberikan pada **Gambar 1**



Gambar 1 - Matriks Risiko Kegagalan Kestabilan Lateral Pipa Bawah Laut akibat Keacakan Kecepatan Arus

Pada **Gambar 1** dapat dilihat bahwa risiko kegagalan berada pada kriteria *high risk*. Apabila termasuk dalam kategori *high risk*, dibutuhkan mitigasi secepatnya untuk mengurangi risiko yang mungkin terjadi. Mitigasi dapat dilakukan dengan mengurangi probabilitas kegagalan kestabilan lateral dengan menggunakan metode perlindungan dengan *concrete mattress* atau metode *burial*. Kedua metode dapat mengurangi beban yang diakibatkan kecepatan arus.

KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil perhitungan analisis *on-bottom stability* dengan metode kestabilan statik sederhana, pipa bawah laut dengan kecepatan arus desain termasuk dalam kriteria stabil secara

vertikal dan lateral menurut DNV RP-E305.

2. Berdasarkan hasil perhitungan analisis kehandalan dengan metode simulasi Monte Carlo, PoF kestabilan lateral pipa bawah laut akibat keacakan kecepatan arus adalah 39%. Ranking probabilitas kegagalan dengan PoF 0.39 adalah ranking 5 (*very high*).
3. Berdasarkan analisis konsekuensi kegagalan, ranking CoF pipa bawah laut adalah ranking 2 (*low*).
4. Berdasarkan matriks risiko, risiko kestabilan lateral pipa bawah laut akibat keacakan kecepatan arus termasuk dalam kategori *high risk*.
5. Mitigasi yang dapat dilakukan untuk mengurangi risiko kegagalan kestabilan lateral pipa bawah laut adalah dengan Metode Perlindungan dengan *Concrete Mattress* dan Metode *Burial*.

SARAN

1. Analisis kehandalan pipa bawah laut dapat dilakukan dengan metode analitik, misalnya metode FORM I dan FORM II, selain menggunakan metode Simulasi Monte Carlo. Hasil kedua analisis dapat dibandingkan untuk menentukan metode yang paling cocok dan tepat untuk setiap kasus permasalahan.
2. Analisis simulasi Monte Carlo dapat dilakukan dengan mengubah parameter – parameter yang berpengaruh pada probabilitas kehandalan kestabilan pipa bawah laut, misalnya parameter geoteknik *seabed*.

DAFTAR PUSTAKA

- Det Norske Veritas. 2010. *DNV RP F107 Risk Assessment of Pipeline Protection*. Norwegia: Det Norske Veritas.
- Det Norske Veritas. 1988. *DNV RP E305 On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines*. Norwegia: Det Norske Veritas.
- Haldar, Achintya dan Sankaran Mahadevan. 2000. *Probability, Reliability and Statistical Methods in Engineering Design*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Mohamad, Y.R. 2013. *Analisis Risiko Pipa Bawah Laut PGN SSWJ*. Bandung: ITB.
- Tawakal, R. L. 2012. *Bangunan Lepas Patai II: Desain Pipa Bawah Laut*. Bandung: ITB.