

OFFSHORE PIPELINE RISK ASSESSMENT DUE TO DROPPED ANCHOR

Teguh Rahman Saputra¹, Ahmad Taufik², Dani Rusirawan³

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Itenas Bandung
Email : teguhrahmansaputra@gmail.com

Received DD MM YYYY | *Revised* DD MM YYYY | *Accepted* DD MM YYYY

ABSTRAK

Minyak dan gas merupakan salah satu sumber daya alam yang cukup melimpah di Indonesia. Sebagian besar dari usaha minyak dan gas didukung dengan pipeline sebagai media distribusi dan transportasinya. Aktivitas pendistribusian minyak dan gas bumi pipa bawah laut biasanya disebut dengan istilah offshore pipeline. Kegagalan pada sistem transportasi offshore pipeline disebabkan beberapa faktor, antara lain saluran pipa penyok (dent), terjadi kebocoran (leaking), pipa pecah/putus (rupture), dan kegagalan lainnya. Berdasarkan standar DNV-RP-F107 "Risk Assessment Of Pipeline Protection", identifikasi bahaya (hazard identification) yang mungkin terjadi pada pipa gas bawah laut adalah bahaya – bahaya yang disebabkan karena kejatuhan jangkar (dropped anchor), terseret jangkar (dragged anchor), tertimpa kapal (sinking vessel), serta terseret jaring (trawling activities). Dengan standar tersebut, tingkat resiko ditentukan dalam risk matrix yang dikelompokkan menjadi tiga daerah yaitu, daerah dapat diterima, daerah ALARP (As Low As Reasonably Practicable) dan daerah tidak dapat diterima.

Kata Kunci: Defleksi, Kebocoran, Putus, Identifikasi Bahaya, Matrix Risiko.

ABSTRACT

Oil and gas is one of the most abundant natural resources in Indonesia. Most of its oil and gas businesses are supported by pipelines as a medium of distribution and transportation. The distribution of oil and gas undersea pipelines is usually referred to as an offshore pipeline. Failures in the offshore pipeline transportation system are caused by several factors, including dent pipelines, leaking, rupture, and other failures. Based on the DNV-RP-F107 standard "Risk Assessment Of Pipeline Protection", hazard identification that may occur in underwater gas pipelines is a danger - danger caused by anchor fall (dropped anchor), dragged anchor, hit by a ship (sinking vessel), and dragged net (trawling activities). With this standard, the level of risk is determined in the risk matrix which is grouped into three regions, namely, acceptable areas, ALARP (As Low As Reasonably Practicable) areas and unacceptable areas.

Keywords: Dent, Leaking, Rupture, Hazard Identification, Risk Matrix.

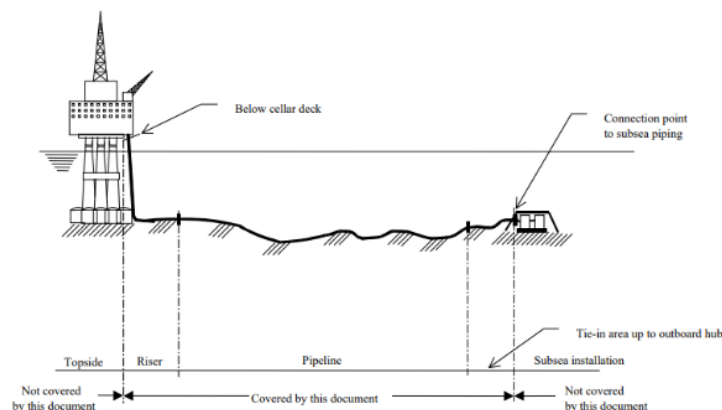
1. PENDAHULUAN

Minyak dan gas merupakan salah satu sumber daya alam yang cukup melimpah di Indonesia. Sebagian besar dari usaha minyak dan gas didukung dengan *pipeline*. *Pipeline* merupakan media yang digunakan sebagai media distribusi dan transportasi untuk mengalirkan fluida, selain itu, *pipeline* merupakan media yang dirancang agar dapat tahan terhadap bahaya dari internal maupun eksternal untuk menghindari risiko yang mungkin terjadi, seperti saluran pipa penyok, terjadi kebocoran, dan pipa putus. Obyek bahasan pada penelitian tugas akhir ini adalah saluran pipa bawah laut pada salah satu perusahaan di Indonesia yang bergerak di bidang minyak dan gas, dimana jaringan pipa bawah laut tersebut terletak pada daerah dengan aktivitas lalu – lintas kapal yang cukup tinggi, sehingga salah satu ancaman atau resiko yang mungkin terjadi pada pipa bisa disebabkan oleh kapal yang tidak sengaja menjatuhkan jangkarnya yang kemudian menghantam pipa. Pada penelitian tugas akhir ini bertujuan menganalisa risiko akibat *dropped anchor* terhadap pipa bawah laut menggunakan data – data yang sudah dikumpulkan dan berdasarkan standar DNV – RP – F107 "*Risk Assessment Of Pipeline Protection*". Dengan standar tersebut digunakan metode *risk assessment* untuk menilai tingkat risiko yang terjadi akibat *dropped anchor* berdasarkan hasil *ranking consequence of failure* dan *ranking frequency of Failure* yang sudah didapatkan untuk berbagai jenis kapal dan berat jangkar, kemudian selanjutnya hasil tersebut dimasukkan ke dalam *risk matrix*. *Risk matrix* dikelompokkan menjadi tiga daerah yaitu, daerah dapat diterima, daerah ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*) dan daerah tidak dapat diterima. Jika hasil *risk matrix* yang didapatkan berada di daerah tidak dapat diterima maka perlu dilakukan mitigasi. Proses mitigasi yaitu adalah suatu tindakan untuk mengurangi risiko (*risk reducing measure*) menggunakan beberapa metode seperti *concrete blankets*, *sand bags*, *gravel cover*, atau dengan cara memasang rambu – rambu, patroli.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. DNV – RP – F107 "*Risk Assessment Of Pipeline Protection*"

Standar DNV – RP – F107 "*Risk Assessment of Pipeline Protection*" adalah salah satu standar yang direkomendasikan untuk digunakan dalam melakukan penilaian risiko pada *offshore pipeline* terhadap beban eksternal yang tidak disengaja. Di standar ini juga, langkah – langkah proteksi yang perlu diberikan untuk perlindungan pipa juga disajikan. Skematik pengaplikasian dari standar DNV – RP – F107 "*Risk Assessment of Pipeline Protection*" ini diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Application of the recommended practice

Risk assessment adalah sebuah metode yang digunakan untuk menilai tingkat bahaya dan risiko yang mungkin terjadi dari suatu objek. Secara umum, *risk assessment* terdiri dari frekuensi kejadian yang diberi peringkat dari 1 (*low frequency*) hingga 5 (*high frequency*) yang diperlihatkan pada tabel 1 dan konsekuensi kejadian yang diberi peringkat dari A (*low consequence*) hingga E (*high consequence*) yang diperlihatkan pada tabel 2.

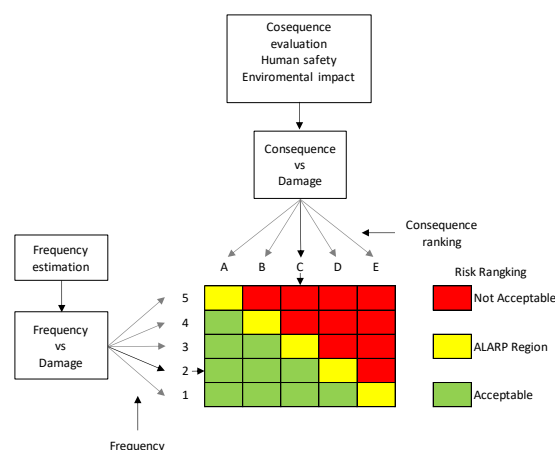
Tabel 1. Ranking Frequency

Ranking	Deskripsi	Frekuensi Tahunan
1	Very Low Frequency	$< 10^{-5}$
2	Low Frequency	$10^{-4} > 10^{-5}$
3	Medium Frequency	$10^{-3} > 10^{-4}$
4	High Frequency	$10^{-2} > 10^{-3}$
5	Very High Frequency	$> 10^{-2}$

Tabel 2. Ranking Consequence

Dent (δ) / Diameter (D) (%)	Damage Description	Ranking Consequence of Failure
< 5	Minor Damage	A
5 – 10	Major Damage, Leakage anticipated	B
10 – 15	Major Damage, Rupture anticipated	C
15 – 20	Major Damage, Rupture anticipated	D
> 20	Rupture	E

Risiko tersebut kemudian dievaluasi dengan risk matrix sehingga diketahui letak kondisi dari objeknya, apakah di daerah *acceptable*, ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*) atau *not acceptable*. Jika berada di daerah *not acceptable* maka harus dilakukan mitigasi untuk mengurangi dampak resiko dan memberikan proteksi lebih. Skematik dari proses *risk assessment* diperlihatkan pada gambar 2.

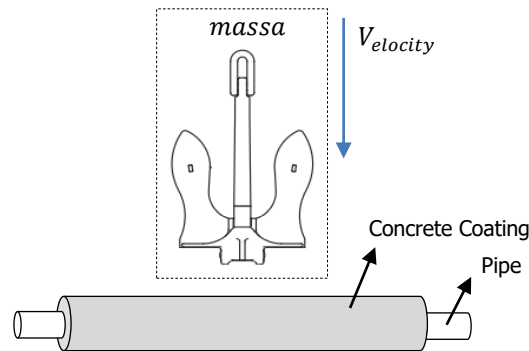


Gambar 2. Process Description of a Risk Assessment

2.3. Hazard Identification

Hazard identifications dilakukan untuk mengidentifikasi kemungkinan bahaya yang dapat menyebabkan kerusakan pada *offshore pipeline*. Bahaya umum yang dapat menyebabkan kerusakan pada saluran pipa contohnya adalah *dropped anchor*. *Dropped anchor* adalah kejadian dimana jangkar yang dijatuhkan oleh kapal di daerah *pipeline* karena keteledoran atau keadaan darurat sehingga jangkar tersebut bisa saja mengenai atau

menghantam pipa yang dapat menimbulkan *impact energy* terhadap pipa sehingga bisa saja menyebabkan terjadinya kerusakan pada pipa. Skematik dari *dropped anchor* diperlihatkan pada gambar 3.

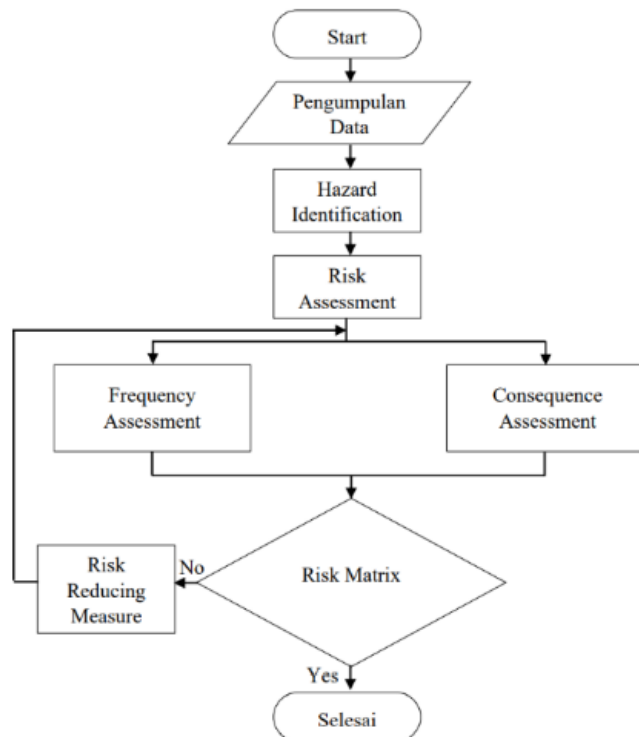


Gambar 3. Dropped Anchor

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Langkah yang dilakukan dalam penelitian tugas akhir ini diperlihatkan pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir

Berikut adalah penjelasan dari *flowchart* gambar 4.

1. Pengumpulan Data

Pada langkah ini adalah mengumpulkan data-data yang dibutuhkan untuk melakukan *risk assessment*. Data-data yang digunakan yaitu data *pipeline*, data *anchor*, dan data *vessel*.

2. *Hazard Identification*
Potensi bahaya yang akan dianalisis adalah akibat *dropped anchor* di jalur *offshore pipeline*.
3. *Frequency Assessment*
Penilaian frekuensi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar peluang atau kemungkinan terjadinya bahaya per satuan waktu (tahun) akibat *dropped anchor*.
4. *Consequence Assessment*
Penilaian konsekuensi dilakukan berdasarkan standar DNV-RP-F107 "*Risk Assessment of Pipeline Protection*" untuk mengetahui seberapa besar konsekuensi yang diterima oleh pipa akibat *dropped anchor*.
5. *Risk Matrix*
Berdasarkan hasil penilaian konsekuensi dan penilaian frekuensi yang sudah dilakukan, maka selanjutnya hasil tersebut dapat diplotkan ke dalam *risk matrix* dan dapat ditentukan apakah risiko tersebut dapat diterima atau tidak.
6. *Risk Reducing Measure (Mitigation)*
Proses mitigasi yaitu adalah suatu tindakan untuk mengurangi risiko (*risk reducing measure*) akibat *dropped anchor* yang terdapat di daerah yang tidak dapat diterima menjadi masuk ke dalam daerah yang diterima atau setidaknya daerah ALARP.

4. ANALISIS DAN HASIL PENILAIAN RISIKO

4.1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada tugas akhir ini adalah data pipeline, data dimensi jangkar dan data jenis kapal.

1. Data Pipeline
Data *pipeline* yang digunakan diperlihatkan pada tabel 3.

Tabel 3. Data Pipeline

Pipeline Dimensions	Values	Units
Outer Diameter	508	mm
Wall Thickness, t_{nom}	12,7	mm
Corrosion allowance, t_{cor}	3	mm
Thickness, $t = t_{nom} - t_{cor}$	9,7	mm
Pipeline Length	14	km
Steel Material	Values	Units
Steel Grade	API-5L-X65	
SMYS	450	N/mm ²
SMTS	535	N/mm ²
Temperature Derating Factor, f_t	0	
Design Yield Strength, $f_y = (SMYS - f_y) \times a_u$, $a_u = 0,96$	432	N/mm ²
Concrete Coating	Values	Units
Type		
Thickness	60	mm
Specific Weight	1900	Kg/m ³
Pipeline Diameter with Concrete	628	mm
Concrete Cube Strength, Y (Varies from 35 to 45 Mpa)	35	Mpa
Sea Water	Values	Units
Max Water Depth	16	m
Water Density	1025	Kg/m ³

2. Data Dimensi Jangkar
Data dimensi jangkar yang digunakan diperlihatkan pada tabel 4.

Tabel 4. Data Dimensi Jangkar

No	Vessel Type	Anchor Specifications				
		Weight (Kg)	Volume (m ³)	Length, B (m)	Breadth, C (m)	Project Area (m ²)
1	Tanki Kimia/Chemical Tanker	480	0,06	1	0,46	0,46
2	Tongkang Geladak/Deck Barge	1.290	0,17	1,38	0,63	0,87
3	Trailing Suction Hopper Dredger	1.500	0,19	1,45	0,66	0,96
4	LNG Tanker (Gas Carrier) – 20.000 m ³	3.000	0,38	1,82	0,84	1,53
5	LNG Tanker (Gas Carrier) – 150.000 m ³	9.072	1,28	2,62	1,21	3,17

3. Data Kapal

Data kapal yang digunakan diperlihatkan pada tabel 5.

Tabel 5. Data Kapal

No	Vessel Type	Vessel Name	Frequency (Ships per Year)	GWT	Dimensions			Speed
					LOA	B	Draft	
1	Tanki Kimia/Chemical Tanker	Dimas Putra 3	5	763	63,02	12	3,8	6-8
2	Tongkang Geladak/Deck Barge	Pulau Tiga 3101	8	4.336	90,72	27,45	6,1	3-4
3	Trailing Suction Hopper Dredger	RSA Marine 3	2	5.132	106	19	4,6	6-8
4	LNG Tanker – 20.000 m ³	Wartsila Ship Design	40	17.270	147,25	25,3	7,8	15-17
5	LNG Tanker – 150.000 m ³	Tangguh Batur	20	97.432	285,1	43,4	9,1	15-17

4.2. Consequence of Failure Due to Dropped Anchor

Penilaian konsekuensi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar dampak *impact energy* terhadap *pipeline* dari bahaya *dropped anchor* kemudian dianalisis dan diperhitungkan menggunakan data yang sudah dikumpulkan dan menggunakan persamaan-persamaan berdasarkan standar DNV – RP – F107.

1. *Absorbed Energy Steel Pipe Only*

Absorbed Energy Steel Pipe Only adalah besarnya *impact energy* yang dapat diserap oleh pipa akibat *dropped anchor*. Besarnya *Absorbed energy* dapat dihitung berdasarkan standar DNV – RP – F107 menggunakan persamaan 1.

$$E = 16 \cdot \left(\frac{2\pi}{9}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot m_p \cdot \left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot D \cdot \left(\frac{\delta}{D}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

Hasil perhitungan *absorbed energy steel pipe only* dengan menggunakan persamaan 1. untuk masing-masing *dent*/diameter diperlihatkan pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan *Absorbed Impact Energy Steel Pipe Only*

Dent (δ) / Diameter (D) (%)	Yield Stress (σ_y) ($\frac{N}{m^2}$)	Diameter (D) (m)	Thickness (t) (m)	Momen Plastic Capacity (mp) (N)	Absorbed Impact Energy Steel Pipe Only (E) (kJ)
5	450×10^6	0,508	0,0097	10585,1	5,81
10	450×10^6	0,508	0,0097	10585,1	16,45
15	450×10^6	0,508	0,0097	10585,1	30,21
20	450×10^6	0,508	0,0097	10585,1	46,52

2. *Absorbed Energy Included Concrete Coating*

Untuk menghitung besarnya *impact energy* yang mampu ditahan oleh pipa akibat *dropped anchor* setelah dilapisi dengan *concrete* dapat dihitung dengan persamaan 2 (DNV – RP – F107).

$$E_k = Y \cdot b \cdot \frac{4}{3} \sqrt{D \cdot X_o^3} \quad (2)$$

Untuk hasil perhitungan *absorbed impact energy* setelah dilapisi *concrete* diperlihatkan pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan *Absorbed Impact Energy Included Concrete Coating*

Crushing Strength (Y) $\left(\frac{N}{m^2}\right)$	Breadth of the Impacting Object (b) (m)	Depth (h) (m)	Concrete Thickness (Xo) (m)	Absorbed Impact Energy Included Coating (Ek) (kJ)
105×10^6	0,03	0,3	0,06	50

Kemudian ditambahkan pada masing-masing batas energi yang diterima saluran pipa untuk setiap persentase *dent*/diameter yang diperlihatkan pada 8.

Tabel 8. *Absorbed Energy Total*

Dent (δ) / Diameter (D) (%)	Absorbed Energy Total	
	Steel Pipe Only (kJ)	Included Coating (kJ)
< 5	< 5,81	< 55,81
5 – 10	5,81 – 16,45	55,81 – 66,45
10 – 15	16,45 – 30,21	66,45 – 80,21
15 – 20	30,21 – 46,52	80,21 – 96,52
> 20	> 46,52	> 96,52

3. Perhitungan *Impact Energy* yang Bekerja Pada Jangkar

Berikut adalah langkah – langkah perhitungan untuk mendapatkan *impact energy* akibat *dropped anchor*:

a. *Terminal Energy*

Terminal Energy dihitung menggunakan persamaan 3 (DNV – RP – F107).

$$E_T = \frac{m \cdot g}{C_d \cdot A} \cdot \left(\frac{m}{\rho_{water}} - V \right) \quad (3)$$

b. *Terminal Velocity*

Terminal velocity dihitung menggunakan persamaan 4 (DNV – RP – F107).

$$E_T = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V_T^2 \quad (4)$$

c. *Added Mass*

Added mass dihitung menggunakan persamaan 5 (DNV – RP – F107).

$$m_a = \rho_{Air Laut} \cdot C_a \cdot V_{Anchor} \quad (5)$$

d. *Impact Energy*

Impact Energy dihitung menggunakan persamaan 6 (DNV – RP – F107).

$$E_E = \frac{1}{2} \cdot (m + m_a) \cdot V_T^2 \quad (6)$$

Setelah dilakukan perhitungan keseluruhan maka didapatkan besarnya *impact energy* yang diakibatkan oleh *dropped anchor* terhadap pipa untuk masing – masing berat jangkar yang diperlihatkan pada tabel 9.

Tabel 9. Hasil Perhitungan Impact Energy Untuk Masing – Masing Berat Jangkar

Berat Jangkar (m) (Kg)	Kecepatan Gravitasi (g) $\left(\frac{m}{s^2}\right)$	Coefficient Drag Anchor (C_d)	Proyeksi Luasan Jangkar (A) (m^2)	Density Air Laut (ρ) $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$	Anchor Volume (V) (m^3)	Terminal Energy (E_T) (J)	Terminal Velocity (V_T) $\left(\frac{m}{s}\right)$	Added Mass (m_a) (Kg)	Impact Energy (E_E) (kJ)	Ranking CoF Steel Pipe Only	Ranking CoF Included Concrete Coating
480	10	0,7	0,46	1025	0,06	6063,42	5,03	63,08	6,86	B	A
1290	10	0,7	0,87	1025	0,17	23171,42	5,99	169,52	26,22	C	A
1500	10	0,7	0,96	1025	0,19	28461,87	6,16	197,12	32,20	D	A
3000	10	0,7	1,53	1025	0,38	71266,37	6,89	394,23	80,63	E	D
9960	10	0,7	3,17	1025	1,28	378812,94	8,72	1308,85	428,59	E	E

4.3. Frequency of Failure Due to Dropped Anchor

Frequency assessment digunakan untuk menggambarkan kemungkinan per satuan waktu dari suatu peristiwa yang terjadi. Perhitungan frekuensi kejadian dilakukan berdasarkan prinsip *joint probability* (peluang gabungan). Frekuensi kejadian dirumuskan dengan persamaan 7.

$$P_{total} = N \cdot P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \quad (7)$$

Dimana digunakan beberapa asumsi yaitu peluang kapal menyimpang dari alur pelayaran atau memasuki daerah pipeline sebesar 100%, dan peluang kapal untuk menjatuhkan jangkar sebesar 10%. Beberapa asumsi tersebut diambil berdasarkan skenario terburuk.

Hasil *ranking frequency of failure* untuk masing – masing jenis kapal diperlihatkan pada tabel 10.

Tabel 10. Hasil Ranking Frequency of Failure

No	Vessel Type	Vessel Name	Berat Jangkar (Kg)	Frequency of Failure #/Year	Ranking PoF
1	Tanki Kimia/Chemical Tanker	Dimas Putra 3	480	$1,1 \cdot 10^{-7}$	1
2	Tongkang Geladak/Deck Barge	Pulau Tiga 3101	1290	$4,5 \cdot 10^{-7}$	1
3	Trailing Suction Hopper Dredger	RSA Marine 3	1500	$5,8 \cdot 10^{-8}$	1
4	LNG Tanker (Gas Carrier) – 20.000 m ³	Wartsila Ship Design	3000	$5,7 \cdot 10^{-7}$	1
5	LNG Tanker (Gas Carrier) – 150.000 m ³	Tangguh Batur	9960	$4,1 \cdot 10^{-7}$	1

4.4. Risk Matrix

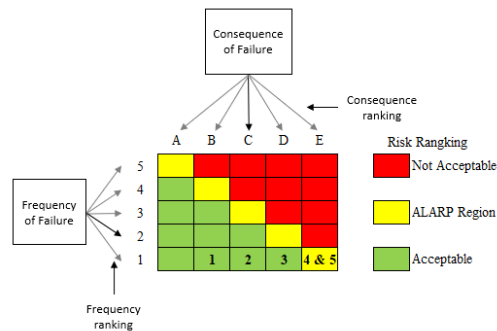
Berdasarkan hasil *ranking consequence of failure* dan *ranking frequency of Failure* yang sudah didapatkan, maka selanjutnya dibuat *risk matrix* sehingga dapat ditentukan apakah risiko tersebut dapat diterima atau tidak. Berikut adalah hasil *risk matrix steel pipe only* dan *risk matrix included concrete coating*:

1. *Risk Matrix Steel Pipe Only*

Hasil dari *risk matrix* untuk pipa yang tanpa dilapisi dengan *concrete* diperlihatkan pada gambar 5.

Tabel 11. Ranking CoF dan PoF *Steel Pipe Only*

No	Ranking CoF	Ranking PoF
1	B	1
2	C	1
3	D	1
4	E	1
5	E	1



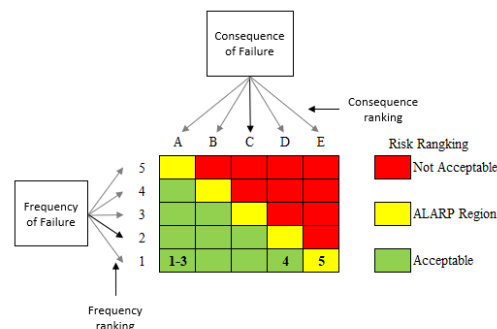
Gambar 5. Risk Matrix Steel Pipe Only

2. *Risk Matrix Included Concrete Coating*

Untuk hasil dari *risk matrix* untuk pipa yang dilapisi dengan *concrete* diperlihatkan pada gambar 6.

Tabel 12. Ranking CoF dan PoF *Included Concrete Coating*

No	Ranking CoF	Ranking PoF
1	A	1
2	A	1
3	A	1
4	D	1
5	E	1



Gambar 6. Risk Matrix Included Concrete Coating

4.5. Mitigations

Mitigasi adalah tindakan untuk mengurangi risiko yang terjadi akibat *dropped anchor* dengan cara mengurangi *consequence of failure*, mengurangi *frequency of failure*, dan/atau

kombinasi dari keduanya. Berikut adalah beberapa tindakan untuk mengurangi risiko akibat *dropped anchor* yang diperlihatkan gambar 7.



Gamabar 7. Mitigations

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Salah satu ancaman atau resiko operasi pipa bawah laut adalah akibat *anchor dropped* yang disebabkan oleh kapal yang tidak sengaja menjatuhkan jangkarnya di wilayah terlarang, dimana resiko ini ditentukan oleh berat jangkar, dan kecepatan kapal yang melintas.
2. Dengan meningkatnya massa dan *velocity* jangkar maka *impact energy* semakin meningkat, dan sebaliknya jika massa dan *velocity* jangkar menurun maka *impact energy* semakin menurun.
3. Dengan meningkatnya massa jangkar maka *frequency* kegagalan pipa akibat *dropped anchor* meningkat, dan sebaliknya jika menurunnya massa jangkar maka *frequency* kegagalan pipa akibat *dropped anchor* menurun. Dengan meningkatnya kecepatan kapal yang melintas maka *frequency* kegagalan pipa akibat *dropped anchor* menurun, dan sebaliknya jika menurunnya kecepatan kapal yang melintas maka *frequency* kegagalan pipa akibat *dropped anchor* meningkat.
4. Berdasarkan hasil perhitungan *consequence of failure* dan *frequency of failure* yang sudah didapatkan, maka *risk matrix* nya adalah:
 - a. Pada pipa tanpa lapisan *concrete*, untuk jangkar dengan kategori 1, 2, 3 berada pada daerah yang dapat diterima dan kelompok kapal 4, 5 berada pada daerah ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*).
 - b. Pada pipa dengan lapisan *concrete*, untuk jangkar dengan kategori 1, 2, 3, 4 berada pada daerah yang dapat diterima dan kelompok kapal 5 berada pada daerah ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*).
5. Risiko dapat diturunkan lebih lanjut dengan cara mitigation, yaitu dengan menggunakan *concrete blankets*, *sand bags*, *gravel cover*, atau dengan cara memasang rambu – rambu, patroli, dll.

5.2. Saran

Saran dari penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan mitigasi lanjut untuk menurunkan *consequence* atau *frequency* akibat *dropped anchor* yang berada pada daerah ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*).

2. Perlu dilakukan simulasi analisis dari skenario *dropped anchor* terhadap pipa menggunakan sebuah aplikasi atau *software*.

DAFTAR REFERENSI

- Aladara, D. R. (2020). *Risk Assessment of Subsea Pipeline due to Installation and Operation of Single Point Mooring (SPM)*.
- Artana, K. B. (2009). Penilaian Risiko Pipa Gas Bawah Laut Ujung Pangkah Gresik Dengan Standard DNV RP F107. *Jurnal Teknik Mesin*, 28-42.
- DNV RP F107. (2010). *Risk Assessment of Pipeline Protection*. Det Norske Veritas, Norway.
- Haryoyudhanto, E. (2017). ANALISIS KEKUATAN PIPA BAWAH LAUT TERHADAP TARIKAN PUKAT.
- Mouselli, A. (1981). *Offshore Pipeline Design, Analysis and Methods*. Oklahoma: PennWell Books.
- Muhlbauer, W. K. (2004). *Pipeline Risk Management Manual (Third Edition)*. United States of America: British Library Cataloguing.
- PENILAIAN RISIKO PIPA GAS BAWAH LAUT AKIBAT SURVEI SEISMIK (PERBANDINGAN METODE MATEMATIS DAN PERMODELAN GEOTEKNIK). (2016). MUHAMMAD ARIF PRADANA.
- Popang, O. (2011). Penilaian Resiko Unburied Subsea Pipeline Terhadap Trawl Gear Dengan Kondisi Hooking. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelautan-FTK.
- Prasetyo, M. R. (2013). Analisa Kekuatan Pipa Bawah Laut Terhadap Kemungkinan Kecelakaan Akibat Tarikan Jangkar Kapal. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelautan-FTK.
- Roy H. (1996). *An Introduction to Offshore Pipelines, 2nd edition*, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Taufik, A. (2021, Oktober 19). Kajian Risiko Pipa Gas Bawah Laut (Dropped Anchor, Dragged Anchor & Sink Vessel).