



TUGAS AKHIR - ME184834

PENILAIAN RISIKO PIPA BAWAH LAUT MENGUNAKAN STANDAR DNVGL-RP-F107

**RAKADITYA PANDU WASKITO
NRP. 0421164000095**

**Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST., M.Sc
Dr. Emmy Pratiwi, ST.**

**Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**PENILAIAN RISIKO PIPA GAS BAWAH LAUT MENGGUNAKAN
RECOMMENDED PRACTICE DNVGL-RP-F107.**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Reliability, Availability, Management and Safety (RAMS)* Program Studi
S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Rakaditya Pandu Waskito

NRP. 04211640000095

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc.

Dr. Emmy Pratiwi, ST



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

PENILAIAN RISIKO PIPA GAS BAWAH MENGGUNAKAN RECOMMENDED PRACTICE DNVGL-RP 107

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi *Reliability, Availability, Management and Safety* (RAMS)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Penulis:

Rakaditya Pandu Waskito

NRP. 0421164000095



Disetujui Oleh,

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan

[Signature]
Denny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 197903192008011008

SURABAYA

AGUSTUS, 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

RISK ASSESSMENT OF UNDERWINE PIPELINR USING DNVGL STANDARD - RP - F107

Student : Rakaditya Pandu Waskito
NRP : 04211640000095
Supervisor : 1. Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc.
2. Dr. Emmy Pratiwi, ST

ABSTRACT

To avoid fuel scarcity, exploitation activities must be carried out to meet the needs of oil in Indonesia. In the process of oil exploitation, facilities are needed to carry out a fluid transfer system from one place to another. One way to carry out the process of fluid transfer at an offshore location is the use of an underwater piping system. However, in the transfer of fluid from one place to another there is a danger that can cause failures in the pipeline system. For example, if an underwater gas pipeline is in the shipping lanes, international and national vessels, there is a possibility of danger that could occur due to a third party. In making this thesis the risk assessment is assessed using the DNVGL-RP-F107 standard. Based on the DNVGL-RP-F107 standard, hazards that may occur in underwater gas pipelines are hazards caused by falling or dropped anchors, anchored dragged pipes and destroyed ship (ship sinking). In risk assessment using the DNVGL-RP-F107 standard, the consequence analysis conducted refers to the damage to the subsea pipeline based on the DNVGL-RP-F107 standard. After getting the analysis results from the index values that have been made, proceed with making a risk representation using the Risk Matrix. Pipelines that have been evaluated and representations in the risk matrix are in the ALARP zone (as low as reasonably practical) and an acceptable zone.

Keywords: DNVGL-RP-F107, Underwater Pipeline, Risk Assessment

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PENILAIAN RISIKO PIPA BAWAH LAUT MENGGUNAKAN STANDAR DNVGL - RP - F107

Nama mahasiswa : Rakaditya Pandu Waskito
NRP : 04211640000095
Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc.
2. Dr. Emmy Pratiwi, ST

ABSTRAK

Untuk menghindari kelangkaan bahan bakar, kegiatan eksploitasi harus dilakukan untuk memenuhi kebutuhan minyak di Indonesia. Dalam proses eksploitasi minyak, diperlukan fasilitas untuk melaksanakan sistem transfer fluida dari satu tempat ke tempat lain. Salah satu cara untuk melakukan proses transfer fluida di lokasi lepas pantai adalah penggunaan sistem perpipaan bawah laut. Namun, dalam transfer fluida dari satu tempat ke tempat lain ada bahaya yang dapat menyebabkan kegagalan dalam sistem pipa. Misalnya, jika pipa gas bawah laut berada di jalur pelayaran, kapal internasional dan nasional, ada kemungkinan bahaya yang dapat terjadi karena pihak ketiga. Dalam membuat tugas akhir ini penilaian risiko dinilai dengan menggunakan standar DNVGL-RP-F107. Berdasarkan standar DNVGL-RP-F107, bahaya yang mungkin terjadi pada pipa gas bawah laut adalah bahaya yang disebabkan oleh jangkar yang jatuh, pipa yang terseret jangkar, kapal yang hancur, dan jaring yang terseret. Dalam penilaian risiko menggunakan standar DNVGL-RP-F107, analisis konsekuensi yang dilakukan mengacu pada kerusakan pipa bawah laut berdasarkan pada standar DNVGL-RP-F107. Setelah mendapatkan hasil analisis dari nilai indeks yang telah dibuat, dilanjutkan dengan membuat representasi risiko menggunakan Matriks Risiko. Jaringan pipa yang telah dievaluasi dan representasi dalam matriks risiko berada di zona ALARP (serendah yang cukup praktis) dan zona yang dapat diterima.

Keywords: DNVGL-RP-F107, Pipa Bawah Laut, *Risk Assessment*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayahnya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul Penilaian risiko pipa gas bawah laut menggunakan *Recommended Practice* DNVGL-RP-F107 dengan baik dan tepat waktu. Penelitian ini diajukan sebagai salah satu persyaratan kelulusan program studi sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini dapat diselesaikan berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Peneliti berterima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi dalam penyelesaian skripsi ini dan secara khusus pada kesempatan ini peneliti menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Allah SWT Atas kesehatan, kesempatan, dan nikmat lainnya yang tak akan pernah bisa kami hitung. Dengan karunia-Nya, laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan.
2. Kedua orang tua saya, Bapak Isberbudi Bowo Leksono dan Ibu Premi Wirastuti serta kakak saya Nindio Mahendra Wicaksono Juga seluruh keluarga yang selalu mendukung saya.
3. Bapak Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing 1 tugas akhir, yang telah memberikan nasihat serta kritik dan saran yang membangun dalam pengerjaan tugas akhir ini.
4. Ibu Dr. Emmy Pratiwi, ST selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir, yang telah memberikan nasihat serta kritik dan saran yang membangun dalam pengerjaan tugas akhir ini.
5. Bapak Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D, selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan beserta seluruh staf dan jajaran manajemen Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
6. Bapak A.A. Bagus Dinariyana Dwi P., ST., MES., Ph.D , Bapak Dr. RO Saut Gurning, Bapak Dr. Dhimas Widhi, S.T, M.Sc, dan Bapak Dr. I Made Ariana selaku bapak – bapak Lab. RAMS yang telah memberikan dukungan dan pembelajaran kepada penulis.
7. Teman – teman VOYAGE' 2016 yang telah menemani dan menghibur saya selama pengerjaan Tugas akhir ini hingga selesai.
8. BARAKUDA' 2013, MERCUSUAR' 2014, SALVAGE' 2015, BADRIKARA' 2017 dan SISKAL 2018 yang telah menjadi kakak – kakak dan adik – adik yang telah menjadi teman yang baik selama masa perkuliahan.
9. Dan kepada seluruh pihak yang telah membantu pengerjaan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis juga memohon maaf apabila dalam laporan ini terdapat kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis. Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis, pembaca dan pihak lainnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

<i>LEMBAR PENGESAHAN</i>	<i>ii</i>
<i>LEMBAR PENGESAHAN</i>	<i>iv</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>vi</i>
<i>ABSTRAK</i>	<i>viii</i>
<i>KATA PENGANTAR</i>	<i>x</i>
<i>DAFTAR ISI</i>	<i>xii</i>
<i>DAFTAR GAMBAR</i>	<i>xiv</i>
<i>DAFTAR TABEL</i>	<i>xvi</i>
<i>1 BAB I</i>	<i>1</i>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
<i>2 BAB II</i>	<i>3</i>
2.1 Minyak Bumi.....	3
2.2 Gas Alam.....	3
2.3 PetroChina International Jabung Ltd. (Jabung Block, Jambi).....	4
2.4 Pipeline.....	4
2.5 Hazard Identification.....	5
2.6 Frequency Assessment.....	7
2.7 Consequence Assessment.....	8
2.7.1 Rangkings Konsekuensi DNVGL-RP-F107.....	9
2.8 Risk Matrix.....	10
2.9 Mitigation.....	11
<i>3 BAB III</i>	<i>12</i>
3.1 Perumusan Masalah.....	13
3.2 Kajian Pustaka.....	13
3.3 Pengambilan Data.....	13
3.4 Hazard Identification.....	13
3.5 Frequency Assessment.....	13
3.6 Consequence Assessment.....	14
3.7 Risk Assessment.....	14
3.8 Mitigasi.....	14
3.9 Kesimpulan dan Saran.....	14
<i>4 BAB IV</i>	<i>15</i>
4.1 Pengumpulan Data.....	15
4.2 Identifikasi Bahaya.....	17
4.3 Penilaian Risiko.....	18
4.4 Matriks Risiko.....	70
4.5 Mitigasi Risiko.....	76

5	<i>BAB V</i>	82
5.1	Kesimpulan	82
5.2	Saran	83
6	<i>DAFTAR PUSTAKA</i>	84
7	<i>LAMPIRAN</i>	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Cadangan Minyak Bumi	1
Gambar 2.1 Letak Pipa bawah laut Blok Jabung, Jambi	4
Gambar 2.2 Contoh Event Tree Analysis	7
Gambar 2.3. Risk Matrix Standard DNVGL-RP-F107.....	10
Gambar 2.4 Risk Level Standard DNVGL-RP-F107, 2017	10
Gambar 3.1 Metodologi Penelitian	12
Gambar 4.1. Peta lokasi 3 Pipa milik PetroChina International Jabung Ltd	16
Gambar 4.2. Trafik kapal melintas dan lokasi FPSO milik PetroChina International Jabung Ltd.....	17
Gambar 4.3. ETA bahaya akibat dropped anchor (Tanker A dan Pipa NPS6).....	22
Gambar 4.4 Grafik Penetration Depth	27
Gambar 4.6. ETA bahaya akibat dropped anchor (Tanker A dan Pipa NPS6).....	33
Gambar 4.7. ETA bahaya akibat dropped anchor (Tanker A dan Pipa NPS6).....	38
Gambar 4.9. ETA bahaya akibat ship sinking (Tanker A dan Pipa NPS6)	45
Gambar 4.10. Ilustrasi Dropped Anchor	49
Gambar 4.11. Ilustrasi Point Load	49
Gambar 4.12 Hydrodynamics added mass.....	55
Gambar 4.13. Ilustrasi Ship Sinking.....	64
Gambar 4.14. Ilustrasi Point Load	65
Gambar 4.15 Risk Matrix Dropped Anchor Tanker A dan Pipa NPS 10 Existing Condition.....	70
Gambar 4.16 Risk Matrix Dragged Anchor Tanker A dan Pipa NPS 10 Existing Condition.....	71
Gambar 4.17 Risk Matrix Ship Sinking Tanker A dan Pipa NPS 10 Existing Condition	71
Gambar 4.18 Risk Matrix Dropped Anchor Tanker A dan Pipa NPS 10 Future Condition.....	72
Gambar 4.19 Risk Matrix Dragged Anchor Tanker A dan Pipa NPS 10 Future Condition.....	72
Gambar 4.20 Risk Matrix Ship Sinking Tanker A dan Pipa NPS 10 Future Condition	73
Gambar 4.21 Increase Wall/ Concrete Thickness.....	77
Gambar 4.22 Concrete Armor Cover.....	77
Gambar 4.23 Post Trenching	78
Gambar 4.24 Engineering Backfill	78
Gambar 4.25 Anchoring for Stability	79

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Cadangan Minyak Bumi	1
Tabel 2.1 Komposisi Minyak Bumi (Sumber : Kandungan Minyak Bumi)	3
Tabel 2.2 Kandungan Gas Alam [11].	3
Tabel 2.3 Hazard Standard DNVGL-RP-F107	6
Tabel 2.4 Frequency Rank DNVGL-RP-F107	8
Tabel 2.5 Consequence Rank DNVGL-RP-F107	9
Tabel 4.1 Data Pipa Condensate 10” Inch	15
Tabel 4.2 Data Pipa Propane 8” Inch	15
Tabel 4.3. Data Pipa Butane 6” Inch	16
Tabel 4.4. Data Kapal di Sekitar Selat Berhala <i>Existing Condition</i>	17
Tabel 4.5. Persentase Kenaikan Jumlah Kapal Setiap Tahun	18
Tabel 4.6. Data Kapal di Sekitar Selat Berhala <i>Future Condition</i>	18
Tabel 4.7. Frequency bahaya akibat dropped anchor (Tanker A dan Pipa NPS6)	21
Tabel 4.8. Rangkuman Frequency Dropped Anchor Pada Pipa Condensate 6”	23
Tabel 4.9. Rangkuman Frequency Dropped Anchor Pada Pipa Condensate 8”	24
Tabel 4.10. Rangkuman Frequency Dropped Anchor Pada Pipa Condensate 10”	25
Tabel 4.11 Tanker A - Anchor Penetration Depth	27
Tabel 4.12. Rangkuman Frequency Dragged Anchor Pada 3 Jenis Pipa	28
Tabel 4.13. Rangkuman Frequency Dragged Anchor Pada 3 Jenis Pipa	29
Tabel 4.14 Ship Speed	30
Tabel 4.15. Frequency bahaya akibat <i>Ship Sinking</i> (Tanker A dan Pipa NPS6)	32
Tabel 4.16. Rangkuman Frequency Ship Sinking Pada Pipa Butane 6”	34
Tabel 4.17 Rangkuman Frequency Ship Sinking Pada Pipa Propane 8”	35
Tabel 4.18. Rangkuman Frequency Ship Sinking Pada Pipa Condensate 10”	36
Tabel 4.19. Frequency bahaya akibat Dropped anchor (Tanker A dan Pipa NPS6)	37
Tabel 4.20. Rangkuman Frequency Dropped Anchor Pada Pipa Condensate 6”	39
Tabel 4.21. Rangkuman Frequency Dropped Anchor Pada Pipa Condensate 8”	40
Tabel 4.22. Rangkuman Frequency Dropped Anchor Pada Pipa Condensate 10”	41
Tabel 4.23 Frequency bahaya akibat dragged anchor (Future Tanker A)	42
Tabel 4.24. Rangkuman Frequency Dragged Anchor Pada Pipa Condensate 6”	43
Tabel 4.25 <i>Frequency bahaya akibat ship sinking (Tanker A dan Pipa NPS6)</i>	44
Tabel 4.26 Rangkuman Frequency Ship Sinking Pada Pipa Condensate 6”	46
Tabel 4.27 Rangkuman Frequency Ship Sinking Pada Pipa Condensate 8”	47
Tabel 4.28. Rangkuman Frequency Ship Sinking Pada Pipa Condensate 10”	48
Tabel 4.29. Tunnel Structure (adapted from table 4-5; DNVGL-RP-F107)	50
Tabel 4.30. Tabel Damage Categories Dropped Anchor	52
Tabel 4.31. Perhitungan Dropped Anchor (Tanker A dan Pipa Condensate 10”)	53
Tabel 4.32 Rangkuman Konsekuensi Dropped Anchor Pada Pipa Condensate 10”	54
Tabel 4.33 Rangkuman Konsekuensi Dropped Anchor Pada Pipa Condensate 8”	54
Tabel 4.34 Rangkuman Konsekuensi Dropped Anchor Pada Pipa Condensate 6”	54
Tabel 4.35 Impact Calculation	55
Tabel 4.36 Pull Over Calculation	57
Tabel 4.37 Parameter Thrust Kapal	60
Tabel 4.38. Parameter Engine Power	61

Tabel 4.39. Parameter Anchor	62
Tabel 4.40. Rangkuman Konsekuensi Dragged Anchor Pada Pipa 6”	63
Tabel 4.41. Rangkuman Konsekuensi Dragged Anchor Pada Pipa 8”	63
Tabel 4.42 Rangkuman Konsekuensi Dragged Anchor Pada Pipa 10”	64
Tabel 4.43. Tunnel Structure (table 4-5; DNVGL-RP-F107)	65
Tabel 4.44 Tabel Damage Categories Ship Sinking	67
Tabel 4.45 Tabel Perhitungan Dropped Anchor (Tanker A dan Pipa Condensate 10”)	68
Tabel 4.46 Rangkuman Konsekuensi Ship Sinking Pada Pipa Condensate 10”	69
Tabel 4.47 Rangkuman Konsekuensi Ship Sinking Pada Pipa Condensate 8”	69
Tabel 4.48 Rangkuman Konsekuensi Ship Sinking Pada Pipa Condensate 6”	69
Tabel 4.49 Risk Matrix Summary Pipa Butane 6” Inch (Existing Condition)	73
Tabel 4.50 Risk Matrix Summary Pipa Propane 8” Inch (Existing Condition).....	74
Tabel 4.51 Risk Matrix Summary Pipa Condensate 10” Inch (Existing Condition).....	74
Tabel 4.52 Risk Matrix Summary Pipa Butane 6” Inch (Future Condition)	75
Tabel 4.53 Risk Matrix Summary Pipa Propane 8” Inch (Future Condition).....	75
Tabel 4.54 Risk Matrix Summary Pipa Condensate 10” Inch (Future Condition)	76
Tabel 4.55 Post Trenching Alternative Mitigation	80
Tabel 4.56 Data Pengadaan Barang /Km (Sumber: PT. Semen Gresik).....	81
Tabel 4.57 ICAF	81

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

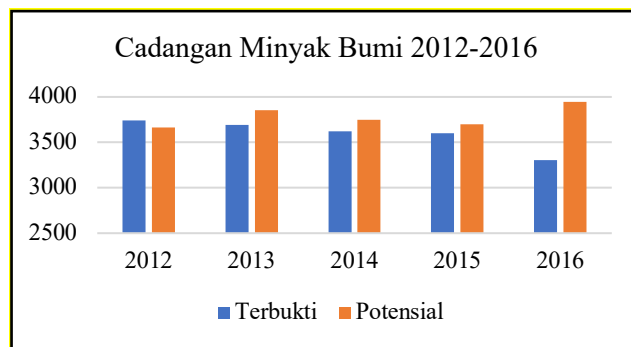
BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan Bakar Minyak (BBM) masih menjadi kebutuhan bahan bakar yang utama bagi manusia. Agar tidak terjadi kelangkaan Setiap hari dilakukan kegiatan eksplorasi untuk mencari sumber minyak baru karena *demand* di Indonesia selalu mengalami kenaikan. Akan tetapi *demand* yang akan terus naik tidak diiringi dengan kapasitas produksi dan ketersediaan sumber daya yang seharusnya bisa lebih tinggi dari kebutuhan.

Tabel 1.1 Cadangan Minyak Bumi

Tahun	2012	2013	2014	2015	2016
Terbukti	3741,3	3692,5	3624,5	3602,5	3306,9
Potensial	3666,9	3857,3	3750,3	3702,4	3944,2
Total	7408,2	7549,8	7374,8	7305	7251,1



Gambar 1.1 Cadangan Minyak Bumi

(Sumber: Statistik Minyak dan Gas Bumi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral 2016)

Berdasarkan data statistik yang didapat dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral dapat dilihat bahwa potensi cadangan minyak di Bumi di Indonesia masih sangat banyak. Hal itu terjadi karena kegiatan produksi yang tidak dapat terlaksana karena berbagai banyak faktor.

Untuk melakukan kegiatan produksi bahan bakar dibutuhkan sistem transfer fluida yang berguna untuk memindahkan *fluida* dari satu tempat ke tempat lain. Proses *transfer fluida* pada lokasi *offshore* membutuhkan sistem perpipaan bawah laut maupun *subsea hose* yang rentan akan terjadinya kerusakan pipa gas bawah laut.

Pipeline merupakan sebuah jalur pipa yang terdiri dari sambungan atau rangkaian segmen-segmen pipa, yang digunakan untuk memindahkan fluida seperti minyak, gas dan air. *Pipeline* didukung dengan peralatan seperti pompa dan katup atau *valve* dalam *system* pengoperasiannya [3].

Adapun beberapa hal yang dapat mengakibatkan terjadinya kebocoran maupun kerusakan pada pipa bawah laut tersebut yaitu akibat terjadinya korosi (*corrosion*), patah

(*fracture*) maupun retak (*crack*) akibat gempa atau tanah longsor, kerusakan pihak ketiga, komponen korosi, komponen desain pipa, komponen ke tidak tepatan operasional, serta karakteristik produk berbahaya dan faktor penyebarannya.

Dari kejadian-kejadian kegagalan pengoperasian pipa serta mengenai keuntungan dan kerugian dalam penggunaan pipa penyalur minyak dan gas, maka penilaian risiko harus dilakukan untuk mengetahui tingkat bahaya, dan tindakan rekomendasi mitigasi yang sesuai untuk pencegahan dari segala kerugian yang disebabkan.

1.2 Perumusan Masalah

Dari pemaparan latar belakang di atas, maka permasalahan dari pembuatan tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana melakukan identifikasi bahaya yang mungkin terjadi pada jalur pipa bawah laut milik PetroChina International Jabung Ltd. (Blok Jabung, Jambi)
2. Bagaimana cara menganalisis frekuensi dan konsekuensi serta merepresentasikan risiko dalam *risk matrix* sesuai dengan standar DNVGL-RP-F107.
3. Bagaimana upaya mitigasi dalam menanggulangi terjadinya kerusakan pipa bawah laut di Blok Jabung, Jambi milik PetroChina International Jabung Ltd.
4. Bagaimana memilih opsi mitigasi yang sesuai dengan kondisi operasional di Blok Jabung, Jambi milik PetroChina International Jabung Ltd.

1.3 Tujuan

Dari perumusan masalah di atas, maka tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah:

1. Melakukan identifikasi bahaya yang mungkin terjadi pada jalur pipa gas bawah laut milik PetroChina International Jabung Ltd. (Blok Jabung, Jambi).
2. Melakukan analisa frekuensi dan konsekuensi serta merepresentasikan risiko dalam *risk matrix* sesuai dengan standar DNVGL-RP-F107
3. Melakukan upaya mitigasi dalam menanggulangi terjadinya kerusakan pipa gas bawah laut di Blok Jabung, Jambi milik PetroChina International Jabung Ltd.
4. Dapat memilih opsi mitigasi yang sesuai dengan kondisi operasional di Blok Jabung, Jambi milik PetroChina International Jabung Ltd.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari pembuatan tugas akhir ini adalah:

1. Penilaian risiko pipa bawah laut menggunakan standar DNVGL-RP-F107

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari pembuatan tugas akhir penilaian risiko ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui upaya mitigasi yang dapat dilakukan apabila terjadi kerusakan maupun kebocoran pipa bawah laut kemungkinan yang telah diidentifikasi.
2. Dapat menjadi saran dalam pengambilan keputusan untuk menanggulangi terjadinya kerusakan maupun kebocoran pipa bawah laut dalam menanggapi risiko yang terjadi.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Minyak Bumi

Minyak bumi merupakan komoditas hasil tambang yang sangat penting peranannya dalam kehidupan manusia, terutama sebagai sumber energi. Bahan bakar mulai dari elpiji, bensin, solar, hingga kerosin; serta material seperti lilin parafin dan aspal. Minyak bumi adalah campuran kompleks yang sebagian besarnya (sekitar 90 hingga 97%) terdiri dari senyawa hidrokarbon. Hidrokarbon yang terkandung dalam minyak bumi terutama adalah alkana, sedangkan sisanya adalah sikloalkana, alkena, alkuna, dan senyawa aromatik. Secara umum, komponen minyak bumi terdiri atas lima unsur kimia, yaitu 83-87% karbon, 10-14% hidrogen, 0,05-6% belerang, 0,05-1,5% oksigen, 0,1-2% nitrogen, dan < 0,1% unsur-unsur logam.

Tabel 2.1 Komposisi Minyak Bumi (Sumber : Kandungan Minyak Bumi)

Elemen	Rentang Persentase
Karbon	83% - 87%
Hidrogen	10% - 14%
Nitrogen	0.1 % sampai 2%
Oksigen	0.05% sampai 6%
Sulfur	0,05 sampai 6%
Logam	0.1%

2.2 Gas Alam

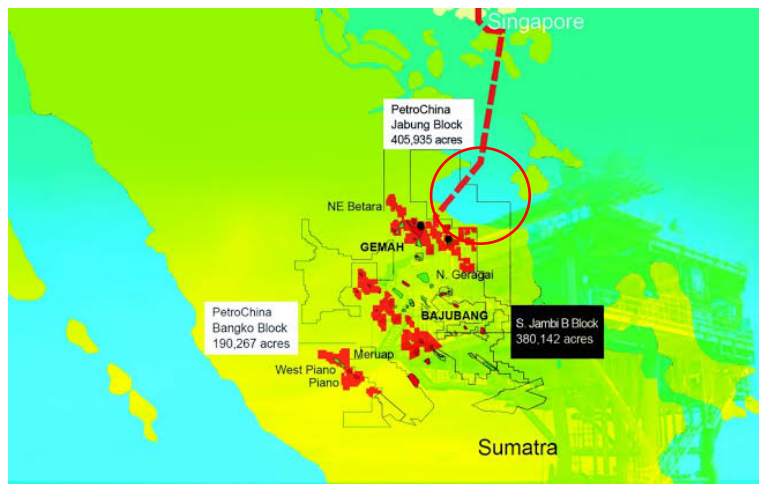
Gas alam merupakan gas yang terbentuk jauh di bawah tanah, terletak di sekitar batu bara dan minyak. Komponen utama dalam gas alam adalah metana (CH₄), yang merupakan molekul hidrokarbon rantai terpendek dan teringan. Sebelum gas alam disuplai kepada konsumen, senyawa Hidrokarbon C₃, C₄, dan C₅ dihilangkan terlebih dahulu. Sehingga gas alam yang di Supply kepada konsumen merupakan gas campuran senyawa etana dan metana [11].

Tabel 2.2 Kandungan Gas Alam [11].

<i>Component</i>	<i>Typical Analysis (Vol%)</i>	<i>Range (Vol%)</i>
<i>Methane</i>	94.9	87.0-96.0
<i>Ethane</i>	2.5	1.8-5.1
<i>Propane</i>	0.2	0.1-1.5
<i>Isobutane</i>	0.02	0.01-0.3
<i>n-Butane</i>	0.03	0.01-0.3
<i>Isopentane</i>	0.01	<i>Trace to 0.14</i>
<i>n-Pentane</i>	0.01	<i>Trace to 0.14</i>
<i>Hexane</i>	0.01	<i>Trace to 0.06</i>
<i>Nitrogen</i>	1.6	1.3-5.6
<i>Carbon dioxide</i>	0.7	0.1-1.0
<i>Oxygen</i>	0.02	0.01-0.1
<i>Hydrogen</i>	<i>Trace</i>	<i>Trace to 0.02</i>

2.3 PetroChina International Jabung Ltd. (Jabung Block, Jambi)

PetroChina merupakan operator Blok Jabung dan memiliki mitra Petronas Carigali (Jabung) Ltd., PP Oil & Gas (Indonesia-Jabung) Limited, PT GBI Jabung Indonesia dan PT Pertamina (Persero). Konsorsium ini adalah Kontraktor Kontrak Kerja Sama (KKS) di bawah pengawasan dan pengendalian SKK Migas yang aktif dalam kegiatan eksplorasi maupun produksi di Kabupaten Tanjung Jabung Barat, Tanjung Jabung Timur dan Muaro Jambi. PetroChina juga merupakan operator Blok Bangko di Jambi.



Gambar 2.1 Letak Pipa bawah llaut Blok Jabung, Jambi (PetroChina International Jabung Ltd.)

Tahun 2015, Petrochina berhasil melakukan eksplorasi di empat sumur, yaitu Panen-3, Panen Utara-2, NEB Base-2 dan Tiung Utara-2. Cadangan minyak dan gas dengan hasil uji kandungan sebesar 1,7 MMCFD dan minyak sebesar 1.849 BOPD ditemukan di Sumur Panen-3. Pengeboran sumur Panen Utara-2 menghasilkan temuan baru minyak dan memastikan temuan gas dan kondensat dari hasil uji kandungan minyak sebesar 1.045 BOPD, 136 BCPD, dan 6,7 MMCFD.

Tahun 2016, target produksi Blok Jabung adalah sebesar 52.938 BOEPD yang terdiri atas target produksi minyak sebesar 13.966 BOPD dan target produksi gas jual, termasuk LPG, sebesar 154 MMSCFD.

Pada tahun 2019, Blok Jabung merupakan salah satu dari 10 besar blok migas penyumbang produksi minyak nasional. Hingga akhir Agustus 2019, SKK Migas mencatat rata-rata produksi kondensat Blok Jabung mencapai 16 ribu bopd atau lebih tinggi dari 3 ribu bopd di atas target rencana kerja dan anggaran 2019. Realisasi produksi tersebut juga lebih tinggi dari target APBN sebesar 14 ribu bopd.

2.4 Pipeline

Pipeline adalah suatu fasilitas yang digunakan untuk mentransferkan fluida pada industri minyak dan gas alam. Mulai dari sumur tempat pengolahan atau antara bangunan anjungan lepas pantai (*offshore facility*) ataupun dari bangunan anjungan lepas pantai langsung ke darat (*onshore facility*).

Salah satu keunggulan *pipeline* dapat secara cepat menyalurkan hasil produksi daripada menggunakan bentuk unit-unit penyimpanan minyak dan gas yang bersifat sementara. *Pipeline* merupakan sebuah jalur pipa yang terdiri dari sambungan atau rangkaian segmen – segmen pipa, yang digunakan untuk memindahkan fluida seperti minyak, gas dan air. *Pipeline* didukung dengan peralatan seperti pompa dan katup atau *valve* dalam sistem pengoperasiannya [3].

Dikarenakan jalur yang dilewati *pipeline* memiliki karakteristik yang berbeda, maka sangat dimungkinkan terjadinya kegagalan pada pipa yang diakibatkan kerusakan lingkungan. Dampak dari kegagalan jalur *pipeline* akan mengakibatkan kerusakan lingkungan di sekitar jalur *pipeline*. Selain itu juga menimbulkan kerugian material dan non materiil seperti hilangnya nyawa manusia, pencemaran lingkungan, dan lain-lain.

2.5 Hazard Identification

Pipa bawah laut atau yang biasa disebut *offshore pipeline* memiliki potensi kerusakan yang bisa jauh lebih besar daripada jalur pipa yang ada di darat, khususnya untuk lingkungan yang berada di bawah laut. Dengan tren yang sedang berkembang belakangan ini mengenai *Health, Safety and Environment*, menjadikan sebuah alasan mengapa perlunya perhatian lebih bagi jalur pipa yang berada di laut yang secara kasat mata akan sangat susah untuk dipantau keberadaannya. Oleh karena itu, perlunya melakukan tindakan semacam penilaian risiko dan *Hazard Identification* pada lingkungan laut secara berkala.

Dalam Operasinya pipa bawah laut bisa mengalami risiko kerusakan dikarenakan *Construction Damage* atau *Third Party Damage* (API 1160 ed. 2001). Pada masa konstruksi atau pada masa pemeliharaan bisa terjadi kerusakan pada pipa bawah laut. Kerusakan yang terjadi bervariasi jenisnya seperti penyok (*dent*), *gouge*, *undercut*, *lack of fusion*, *lack of penetration*, atau retak (*cracks*). *Third Party Damage* (TPD) atau kekuatan lain dari luar seperti pergerakan tanah, kapal yang melintas dan sebagainya yang dapat menyebabkan (*dent*), *gouge*, *scratch*, kehilangan support pipa, perubahan *pipeline alignment*, dan *loss of cover*.

Hazard Identification harus dilakukan secara sistematis dan harus dapat mencakup semua kemungkinan terjadinya bahaya yang mungkin terjadi pada pipa bawah laut. Ada banyak hal yang menjadi pertimbangan dalam melakukan klasifikasi dan identifikasi bahaya tersebut. Seperti yang telah dijelaskan diatas, ketiga kategori bahaya yang terjadi pada *offshore pipeline* menjadi salah satu dasar dalam melakukan *Hazard Identification*. Salah satunya sudah memiliki standart *Hazard Identification* untuk *hazard* yang mungkin dapat membahayakan jalur pipa bawah laut, yaitu DNVGL-RP-F107.

Pada DNV-RP-F107 telah disebutkan beberapa kemungkinan yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada pipa bawah laut, beberapa hal tersebut yaitu:

Tabel 2.3 Hazard Standard DNVGL-RP-F107
(Possible External Hazard, Adapted from DNVGL-RP-F107)

<i>Activity</i>	<i>Hazard</i>	<i>Possible consequence to</i>
<i>Installation of Pipeline</i>	<i>Dropped and dragged anchor/anchor chain from pipe lay vessel & Vessel collision during laying leading to dropped object, etc.</i>	<i>Impact damage</i>
<i>Installation of Pipeline</i>	<i>Loss of tension, drop of pipe end, etc.</i>	<i>Damage to pipe/umbilical being laid or other pipes/umbilical already installed</i>
	<i>Damage during trenching, gravel dumping, installation of protection cover, etc.</i>	<i>Impact damage</i>
	<i>Damage during crossing construction.</i>	<i>Impact damage</i>
<i>Installation of risers, modules, etc. (i.e. heavy)</i>	<i>Dropped objects</i>	<i>Impact damage</i>
	<i>Dragged anchor chain</i>	<i>Pull-over and abrasion</i>
<i>Anchor handling (rig and lay vessel operations)</i>	<i>Dropped anchor, breakage of anchor chain, etc.</i>	<i>Impact damage</i>
	<i>Dragged anchor</i>	<i>Hooking (and impact) damage</i>
	<i>Dragged anchor chain</i>	<i>Pull-over and abrasion</i>
<i>Activity</i>	<i>Hazard</i>	<i>Possible consequence to</i>
<i>Lifting activities (rig or platform operations)</i>	<i>Drop of objects into the sea</i>	<i>Impact damage</i>
<i>Subsea operations (simultaneous operations)</i>	<i>ROV impact</i>	<i>Impact damage</i>
	<i>Manoeuvring failure during equipment installation/removal</i>	<i>Impact damage</i> <i>Pull-over and abrasion damage</i>
<i>Trawling activities</i>	<i>Trawl board impact, pull-over or hooking</i>	<i>Impact and pull-over damage</i>
<i>Tanker, supply vessel and commercial ship traffic</i>	<i>Collision (either powered or drifting)</i>	<i>Impact damage</i>
	<i>Emergency anchoring</i>	<i>Impact and/or hooking damage</i>
	<i>Sunken ship (e.g. after collision with platform or other ships)</i>	<i>Impact damage</i>

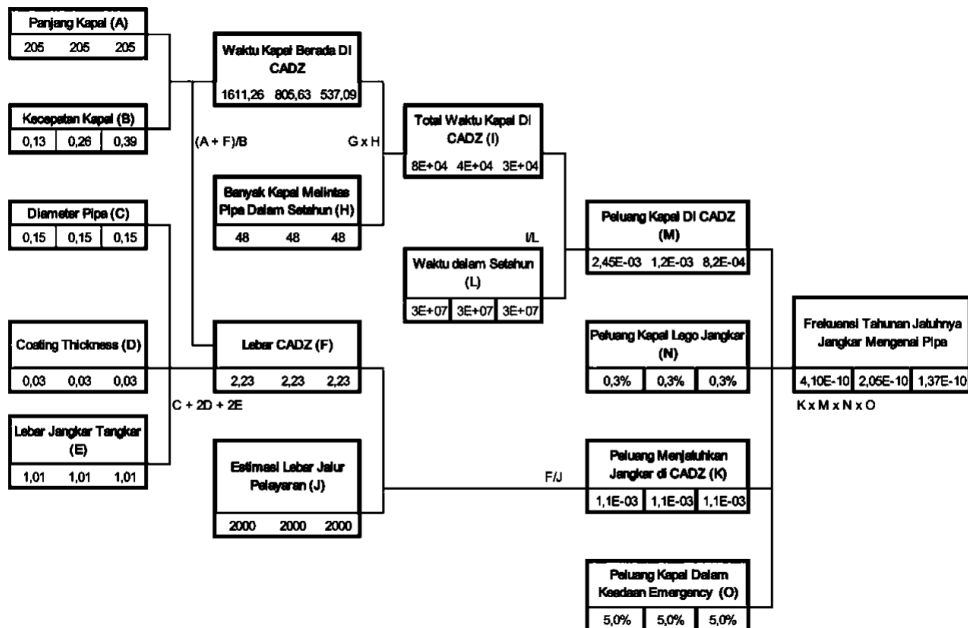
DNVGL-RP-F107 menghadirkan pendekatan berbasis risiko untuk menilai perlindungan pipa terhadap eksternal yang tidak disengaja. Rekomendasi diberikan untuk kapasitas kerusakan pipa dan langkah-langkah perlindungan alternatif dan untuk penilaian frekuensi kerusakan dan konsekuensinya. Langkah-langkah perlindungan pipa alternatif juga disajikan. Skenario kecelakaan dengan kegiatan lain yang relevan seperti penanganan jangkar, operasi bawah laut dan pukat juga dibahas. Di mana ada informasi yang berlaku, spesifik nilai atau prosedur perhitungan direkomendasikan. Jika informasi tersebut tidak tersedia, maka pendekatan kualitatif adalah diberikan di dalam Standard [1].

2.6 Frequency Assessment

Risiko dapat terjadi jika terjadi kombinasi pertemuan antara rangking Frekuensi dan Ranking Konsekuensi. Hal yang pertama akan kita bahas ini ada rangking Frekuensi atau dapat dikatakan probabilitas (kemungkinan) terjadinya kegagalan pada *offshore pipeline*. Dalam studi kasus ini batasan permasalahan yang diberikan adalah risiko yang terjadi pada *offshore pipeline* karena aktivitas eksternal atau pihak ketiga.

2.6.1 Event Tree Analysis (ETA)

Dalam melakukan analisa frekuensi untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi tahapan kejadian dalam skenario kecelakaan yang dianggap potensial dapat digunakan *event tree analysis* (ETA). *Event trees* itu sendiri merupakan sebuah diagram yang menunjukkan semua kejadian yang dapat menyebabkan kegagalan yang mungkin terjadi pada suatu sistem. Dalam pembuatan diagram *Event Trees*, nilai yang dicari merupakan peluang kejadian yang menyebabkan sistem gagal ataupun sukses. Maka dari itu ETA dapat digunakan untuk melakukan prediksi terjadinya kecelakaan pada suatu sistem.



Gambar 2.2 Contoh Event Tree Analysis

2.6.2 Rangking Frekuensi DNVGL-RP-F107

DNVGL-RP-F107 dapat digunakan sebagai acuan dalam perhitungan Rangking Frekuensi. Dimana standar yang digunakan adalah “*Risk Assessment of Pipeline Protection*”. Rangking frekuensi digunakan untuk memperkirakan frekuensi terjadinya kecelakaan pada pipa bawah laut. Pada standar digunakan rangking frekuensi yang dapat dilihat pada tabel 2.4 seperti berikut:

Tabel 2.4 *Frequency Rank DNVGL-RP-F107*
(Annual failure frequency ranking for one pipeline/umbilical, Adapted from DNVGL-RP-F107)

<i>Ranking</i>	<i>Description</i>	<i>Annual Frequency</i>
1	<i>Likelihood of event considered negligible.</i>	$< 10^{-5}$
2	<i>Event rarely expected to occur.</i>	$10^{-4} > 10^{-5}$
3	<i>Unlikely for a single pipeline, but may happen once a year given a large number of pipelines.</i>	$10^{-3} > 10^{-4}$
4	<i>Event individually may be expected to occur during the lifetime of the pipeline. (Typically, a 100year storm)</i>	$10^{-2} > 10^{-3}$
5	<i>Event Individually may be expected to occur more than once during lifetime</i>	$> 10^{-2}$

DNVGL-RP-F107 menyatakan, dalam menentukan frekuensi kejadian dapat dilakukan dengan dua macam cara yaitu:

1. Melakukan perhitungan jika informasi data yang diperlukan tersedia.
2. Melakukan estimasi berdasarkan *engineering judgment* serta pengalaman operator yang berada di lapangan.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, dalam menentukan frekuensi yang terjadi karena adanya aktivitas kapal yang melewati jalur *offshore pipeline*, maka perlu diketahui beberapa hal aktivitas kapal yang akan menjadi bahan pertimbangan dari analisa frekuensi yang dilakukan disini.

2.7 *Consequence Assessment*

Setelah melakukan analisa frekuensi untuk mendapatkan besarnya *Rank Frequency* untuk diplotkan pada matriks risiko, hal yang perlu dilakukan selanjutnya adalah menentukan konsekuensi apa saja yang mungkin terjadi untuk mendapatkan besarnya *Coefficient Rank*. DNVGL-RP-F107 memiliki klasifikasi potensial konsekuensi yang terjadi pada *offshore pipeline* yaitu klasifikasi berdasarkan *Safety, Economic Loss, dan Environment Impacts*.

2.7.1 Rangkaing Konsekuensi DNVGL-RP-F107

Rangkaing konsekuensi digunakan untuk memperkirakan konsekuensi terjadinya kecelakaan pada pipa bawah laut. Pada standar DNVGL-RP-F107 digunakan rangkaing konsekuensi yang dapat dilihat pada Tabel 2.4 seperti berikut:

Tabel 2.5 *Consequence Rank DNVGL-RP-F107*
(Impact capacity and damage classification of steel pipelines and risers, Adapted from DNVGL-RP-F107)

Dent / Diameter (%)	Damage description	Conditional Probability					
		D1	D2	D3	R0	R1	R2
< 5	Minor damage	1.0	0	0	1.0	0	0
5-10	Major damage Leakage anticipated	0.1	0.8	0.1	0.9	0.1	0
10-15	Major damage. Leakage and rupture anticipate.	0	0.75	0.25	0.75	0.2	0.05
15-20	Major damage. Leakage and rupture anticipated.	0	0.25	0.75	0.25	0.5	0.25
> 20	Rupture.	0	0.1	0.9	0.1	0.2	0.7

Dimana pada tabel rangkaing konsekuensi Tabel 2.3 dijelaskan beberapa klasifikasi kerusakan material yang dikategorikan sebagai berikut:

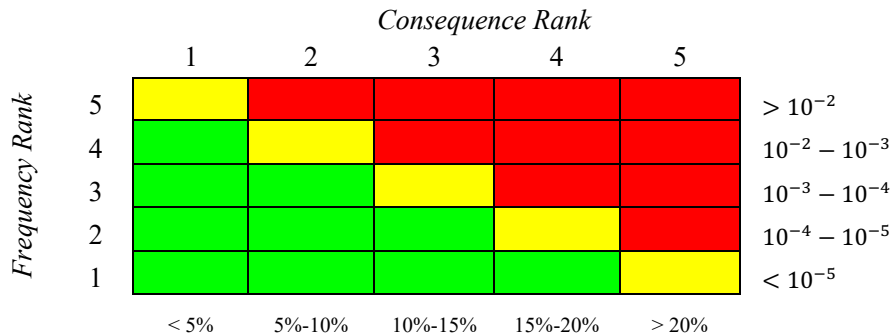
- *Minor Damage (D1)*:
Pada *minor damage* ini kerusakan tidak membutuhkan perbaikan dan juga tidak menyebabkan terlepasnya hidrokarbon. Terdapat penyok kecil pada dinding pipa baja wah laut kurang lebih hingga 5% dari diameter pipa baja bawah laut tersebut. Pada kerusakan *minor damage* ini biasanya tidak terlalu berpengaruh langsung terhadap pengoperasian sistem perpipaan bawah laut. Namun perlu dilakukan inspeksi dan evaluasi teknis apabila terjadi kerusakan untuk mengkonfirmasi integritas struktur pipa
- *Moderate Damage (D2)*:
Pada *moderate damage* ini kerusakan membutuhkan perbaikan namun tidak menyebabkan terlepasnya hidrokarbon. Terdapat penyok pada dinding pipa baja bawah laut yang ukurannya lebih dari 5% diameter pipa baja bawah laut tersebut. Akibat penyok tersebut.
- *Major Damage (D3)*:
Pada *major damage* ini kerusakan membutuhkan perbaikan dan menyebabkan terlepasnya hidrokarbon. Apabila struktur pipa terkena dampak *major damage* ini operasional pipa harus segera dihentikan untuk sementara dan harus segera dilakukan perbaikan. Bagian pipa bawah laut yang mengalami kerusakan harus segera dilepas dan diganti.

Pada kasus kebocoran pipa bawah laut yang menyebabkan pelepasan hidrokarbon dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

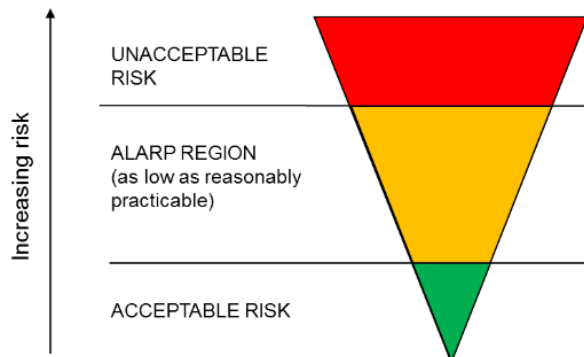
- *No release (R0)*:
Tidak ada pelepasan hidrokarbon.
- *Small release (R1)*:
Terjadi pelepasan hidrokarbon dari lubang kecil hingga menengah pada dinding pipa bawah laut (Diameter ≤ 80 mm). Pipa yang melepaskan hidrokarbon ini dapat terdeteksi dengan melihat penurunan tekanan secara visual.
- *Major release (R2)*:
Terjadi pelepasan hidrokarbon dari lubang pipa bawah laut. Dikarenakan lubang yang cukup besar maka dapat menyebabkan pelepasan hidrokarbon secara keseluruhan dan akan membuat saluran pipa bawah laut tersebut perlu diisolasi.

2.8 Risk Matrix

Berdasarkan rangking frekuensi dan rangking konsekuensi yang telah dibuat sebelumnya maka dapat rangking tersebut dapat di representasikan di dalam *risk matrix*. Pada standar DNVGL-RP-F107 ini *risk matrix* yang digunakan berukuran 5 x 5. Dimana pada risk matriks ini terdapat daerah yang dinamakan ALARP (*As low as Reasonably practicable*). *Risk matrix* DNVGL-RP-F107 ini dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 2.3. Risk Matrix Standard DNVGL-RP-F107
(Figure 13 Risk Matrix, Adapted from DNVGL-RP-F107)



Gambar 2.4 Risk Level Standard DNVGL-RP-F107, 2017
(ALARP Region, Adapted from DNVGL-RP-F107)

Risk Level:

- *Unacceptable Risk: Risk must be reduced (except in extraordinary circumstances)*
- *ALARP (As low as Reasonably practicable): Risk Should be reduced where reasonably practicable, taking account of the costs and benefit of risk reduction*
- *Acceptable Risk: Risk does not need to be reduced.*

Konsep ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*) digunakan untuk menggambarkan sampai sejauh mana sebuah risiko pekerjaan harus diturunkan dengan menerapkan berbagai penanggulangan (mitigasi) yang diperlukan. Perusahaan oil & gas di seluruh dunia pada umumnya menerapkan ALARP sebagai acuan. Adapun yang dimaksud dengan *reasonable* dan *practicable* terkadang masih relatif karena tergantung pada kebijakan masing-masing perusahaan.

Reasonable dapat diartikan sebagai masuk akal atau bisa dipertanggung-jawabkan. Lawannya dari *reasonable* adalah *unreasonable* yaitu tidak masuk akal atau mengada-ada. Sedangkan *practicable* sering diartikan sebagai hal yang praktis atau lebih tepatnya bisa diterapkan dengan relatif mudah. Biasanya acuannya adalah ketersediaan teknologi saat ini dan sumber daya yang tersedia.

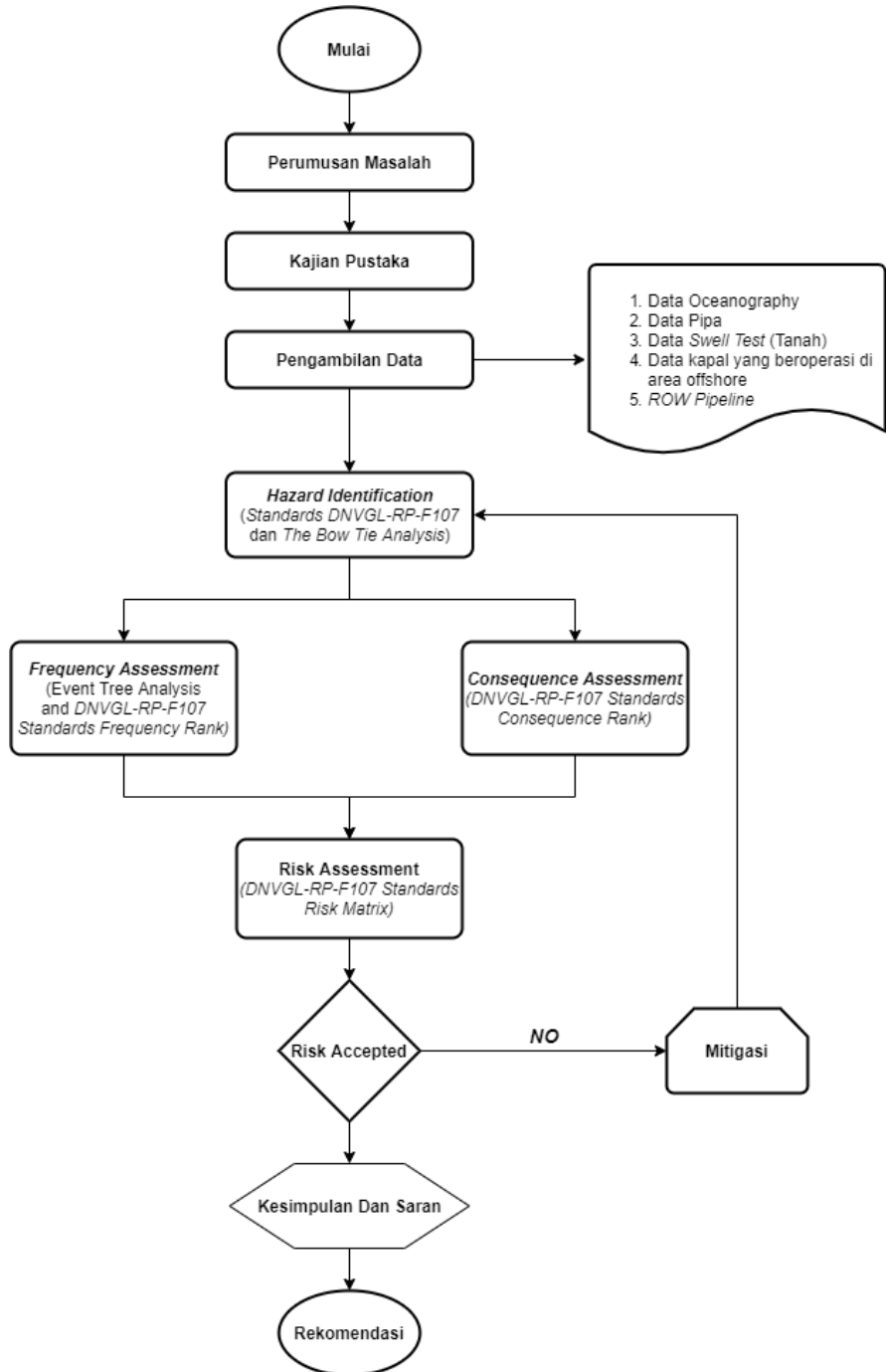
Apabila upaya menurunkan risiko suatu pekerjaan ternyata sulit karena teknologi yang tersedia belum memadai atau memerlukan upaya dan dana yang terlalu besar maka saat itu perlu berpikir ulang dengan mencari upaya lain yang lebih memadai. Jika tingkat risiko sudah dianggap masih dalam kendali maka rencana penanggulangan yang diusulkan bisa dianggap sudah memadai.

2.9 Mitigation

Berbagai penilaian risiko yang telah dilakukan untuk pembangunan dan operasi pipa bawah laut perlu dilakukan kegiatan mitigasi. Mitigasi merupakan serangkaian upaya untuk mengurangi adanya risiko berpeluang terjadi. Kegiatan mitigasi harus dilakukan untuk memastikan risiko kepada pihak ketiga dan lingkungan tetap di estimasi tingkat yang dapat ditoleransi dalam penilaian (*ALARP or acceptable zone*).

Setelah melakukan analisis risiko dan risiko di dalam risk matriks berada di zona *ALARP*, perlu dilakukan pengurangan risiko dengan melakukan evaluasi *Cost-benefit*. Hal ini diperlukan agar dapat dilakukan perbandingan rekomendasi mitigasi dengan perbandingan *cost* dan *benefit*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.1 Metodologi Penelitian

3.1 Perumusan Masalah

Dalam pembuatan tugas akhir ini, diawali dengan melakukan perumusan masalah. Dalam melakukan perumusan masalah ini dilakukan kajian terhadap masalah-masalah yang dapat terjadi pada suatu objek. Setelah menentukan masalah yang terjadi maka dapat dilakukan perumusan masalah terhadap objek yang akan diteliti.

3.2 Kajian Pustaka

Untuk mengetahui lebih banyak informasi terhadap risiko pipa gas bawah laut maka dilakukan kajian pustaka. Dimana kajian pustaka mengenai risiko pipa gas bawah laut ini bisa didapatkan pada literatur berupa jurnal, artikel, buku maupun *rules* yang ada. Berikut merupakan beberapa kajian pustaka yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini, yaitu:

- *Risk Assesment of Pipeline Production*
- Artikel dan jurnal mengenai risiko pipa gas bawah laut.

3.3 Pengambilan Data

Pada tahap pengumpulan data ini dilakukan pengumpulan data yang berhubungan dan dapat membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini. Dimana data-data yang diperlukan dalam penunjang pengerjaan tugas akhir ini yaitu:

- Data *Oceanography* (lingkungan pada tempat pipa terpasang)
 - Data arus laut
 - Data kedalaman Air
 - Data gelombang laut
 - Data kecepatan dan arah angin
 - Data lingkungan lainnya
- Data pipa gas bawah laut serta jenis fluida yang dibawa.
- Data kapal yang melakukan aktivitas di atas instalasi pipa gas bawah laut.
- Data desain jalur pipa.
- Data *Swell Test*
- *ROW Pipeline*

3.4 Hazard Identification

Hazard Identification harus dilakukan secara sistematis dan harus dapat memenuhi semua kemungkinan terjadinya bahaya yang mungkin terjadi pada pipa bawah laut. Ada banyak hal yang menjadi pertimbangan dalam melakukan klasifikasi bahaya tersebut. Salah satunya sudah memiliki standar *Hazard Identification* untuk *hazard* yang mungkin dapat membahayakan jalur pipa bawah laut, yaitu Standard DNV RP-F107.

3.5 Frequency Assessment

Frequency assessment dilakukan untuk mengetahui frekuensi terjadinya bahaya pada pipa gas bawah laut dalam 1 tahun. Pada *Frequency assessment* ini juga digunakan beberapa variabel yang digunakan untuk memetakan bahaya secara menyeluruh.

Dalam melakukan penilaian frekuensi untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi tahapan kejadian dalam skenario kecelakaan yang dianggap potensial dapat digunakan *event tree analysis* (ETA). *Event trees* itu sendiri merupakan sebuah diagram yang menunjukkan semua kejadian yang dapat menyebabkan kegagalan yang mungkin terjadi pada suatu sistem. Standar Det Norske Veritas (DNV) dapat digunakan sebagai acuan dalam perhitungan Rangkaian Frekuensi. Dimana standar yang digunakan

adalah DNVGL-RP-F107 “*Risk Assessment of Pipeline Protection*”. Rangkaing frekuensi digunakan untuk memperkirakan frekuensi terjadinya kecelakaan pada pipa bawah laut

3.6 Consequence Assessment

Pada *Consequence Assessment* ini bertujuan untuk mengetahui kejadian atau bahaya yang dapat terjadi yang disebabkan oleh *hazard* atau potensi bahaya yang ada. Pada pengerjaan tugas akhir ini *Consequence assessment* ini dilakukan dengan menghitung nilai *Consequence assessment* berdasarkan standar DNVGL-RP-F107. DNVGL-RP-F107 terdapat kelompok potensial konsekuensi yang terjadi pada *offshore pipeline* yaitu klasifikasi berdasarkan *Safety, Economic Loss, dan Environment Impacts (Energy Balance)*.

3.7 Risk Assessment

Berdasarkan rangkaing frekuensi dan rangkaing konsekuensi yang telah dibuat sebelumnya maka dapat dibuat *risk matrix* dari penilaian risiko pipa bawah laut ini. Pada standar DNVGL-RP-F107 ini *risk matrix* yang digunakan berukuran 5 x 5. Dimana pada *risk matrix* ini terdapat daerah yang dinamakan ALARP (*As low as Reasonably practicable*)

3.8 Mitigasi

Pada proses mitigasi ini dilakukan sebuah tindakan yang digunakan untuk menanggulangi risiko terjadinya kecelakaan pada pipa gas bawah laut. Proses mitigasi ini dimaksudkan untuk membuat bagian yang berada pada zona yang tidak dapat diterima berubah atau masuk ke zona yang dapat diterima atau setidaknya berada pada zona ALARP. Evaluasi *Cost-benefit* diperlukan agar dapat dilakukan perbandingan rekomendasi mitigasi tambahan dengan perbandingan *cost* dan *benefit*.

3.9 Kesimpulan dan Saran

Tahap terakhir dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah membuat kesimpulan dan saran. Kesimpulan berisikan tentang keseluruhan proses yang telah dilakukan selama pengerjaan tugas akhir ini. Setelah membuat kesimpulan maka dibuat saran berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan yang berguna untuk penelitian selanjutnya.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

Dalam pengerjaan tugas akhir ini menggunakan data pipa gas bawah laut milik PetroChina International Jabung Ltd. (Jabung Block, Jambi), data kapal yang berada di sekitar selat Berhala dan data di sekitar pipa bawah laut yang akan digelar. Pengumpulan data tersebut dilakukan dengan cara observasi dan dengan melakukan studi literatur.

4.1.1 Data Pipa

PetroChina International Jabung Ltd memiliki 3 pipa bawah laut yang memiliki fungsi transfer fluida berbeda-beda. Pipa tersebut antara lain sebagai berikut :

1. *Condensate Pipe* (NPS 10 X 8.74mm WT(API 5L-X52))
2. *Propane Pipe* (NPS 8 X 8.18mm WT(API 5L-X52))
3. *Butane Pipe* (NPS 6 X 7.11mm WT(API 5L-X52))

Pipa gas bawah laut yang memiliki fungsi transfer *Condensate Fluid* memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Pipa Condensate 10” Inch		
CONDENSATE PIPE DATA		
Pipe Description:	NPS 10	
Pipe Type:	5L-X52	
Pipe Outside Diameter:	10	Inch
Pipe Inside Diameter:	245.26	mm
Wall Thickness:	8.74	mm
SYMS:	358520000	N/m ²
Pipe Concreate Coating:	Fusion Bonded Epoxy	
Concreate Coating Thickness:	25	mm

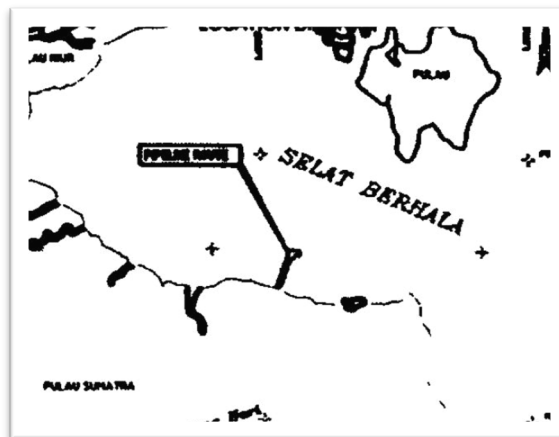
Data selanjutnya, pipa gas bawah laut yang memiliki fungsi transfer *Propane Gas Fluid* memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 4.2 Data Pipa Propane 8” Inch		
PROPANE PIPE DATA		
Pipe Description:	NPS 8	
Pipe Type:	5L-X52	
Pipe Outside Diameter:	8	Inch
Pipe Inside Diameter:	195.02	mm
Wall Thickness:	8.18	mm
SYMS:	358520000	N/m ²
Pipe Concreate Coating:	Fusion Bonded Epoxy	
Concreate Coating Thickness:	25	mm

Data selanjutnya, pipa gas bawah laut yang memiliki fungsi transfer *Butane Gas Fluid* memiliki spesifikasi sebagai berikut:

BUTANE PIPE DATA		
Pipe Description:	NPS 6	
Pipe Type:	5L-X52	
Pipe Outside Diameter:	6	Inch
Pipe Inside Diameter:	145.29	mm
Wall Thickness:	7.11	mm
SYMS:	358520000	N/m ²
Pipe Concrete Coating:	Fusion Bonded Epoxy	
Concrete Coating Thickness:	25	mm

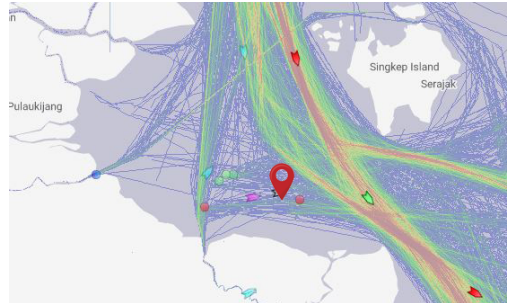
Pipa-pipa tersebut sudah terpasang dan terletak di selat berhala yang berhubungan langsung dengan pipa onshore dari Blok Jabung milik PetroChina International Jabung Ltd.



Gambar 4.1. Peta lokasi 3 Pipa milik PetroChina International Jabung Ltd

4.1.2 Data Kapal

Berdasarkan lokasi pipa yang membentang dari Jambi menuju FPSO milik PetroChina International Jabung Ltd maka bisa didapatkan data aktivitas kapal yang melintas di sekitar area pipa gas bawah laut untuk melakukan perhitungan frekuensi dan konsekuensi pada DNVGL-RP-F107. Berikut ini adalah gambar kepadatan aktivitas kapal yang melintas di sekitar area pipa gas milik PetroChina International Jabung Ltd.



Gambar 4.2. Trafik kapal melintas dan lokasi FPSO milik PetroChina International Jabung Ltd.

Data jumlah kapal yang melintas di sekitar pipa bawah laut dibutuhkan untuk melakukan perhitungan terhadap frekuensi dan konsekuensi yang dijelaskan pada DNV-RP-F107. Data kapal yang akan digunakan adalah jumlah kapal yang melewati pipa, kecepatan kapal, panjang kapal, lebar kapal, dan berat jangkar. Data tersebut didapatkan dengan cara observasi dan melakukan studi literatur yang berhubungan.

Tabel 4.4. Data Kapal di Sekitar Selat Berhala *Existing Condition*

No	Tipe Kapal	Deskripsi Kapal	Frequency /Year	Range DWT	Length (m)	Beam (m)	Berat Jangkar (Ton)	Draft (m)
1	TANKER A (For Lifting Oil)	Size Medium Range (MR)	48	50000	205	29	8.7	16
2	TANKER B (For Lifting Oil)	Size Aframax (LR)	48	80000	245	34	12.9	20
3	TANKER (For Lifting LPG)	Size VLGC	24	55000	226	37	8.7	12
4	TUGBOAT	Tanker Tug	360	1000	56	14	1	6
5	BULK CARRIER (For Lifting Coal)	Size Ultramax	48	62000	200	32	4.6	6.6
6	PASSANGER SHIP	Ferries	60	15000	146	24	2.5	5.6
7	CONTAINER	600 TEus	36	8250	115	21	1.9	5.3
8	FISHING VESSEL	-	480	< 50	25	6	0.48	3

4.2 Identifikasi Bahaya

Pada tahap ini dilakukan identifikasi terhadap bahaya yang berpotensi terjadi sehingga dapat menyebabkan risiko pada pipa bawah laut milik PetroChina International Jabung Ltd. Dikarenakan pipa bawah laut tersebut terletak di alur pelayaran di selat berhala dan banyak kapal yang akan bersandar untuk melakukan *lifting gas* atau minyak

condensate, maka dalam skripsi ini akan menganalisis beberapa potensi bahaya yang mungkin terjadi, seperti :

- Jatuhnya Jangkar (Dropped Anchor)
- Terseret Jangkar (Dragged Anchor)
- Kapal tenggelam (Sinking vessels)

4.3 Penilaian Risiko

Penilaian risiko yang dilakukan meliputi perhitungan frekuensi dan konsekuensi dari bahaya yang mungkin terjadi. Untuk setiap potensi bahaya yang di analisa, dampak potensial terhadap jalur pipa dievaluasi dengan menggunakan analisis kuantitatif yang merujuk ke dalam standar DNVGL-RP-F107.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menggunakan dua skenario. Skenario pertama yang digunakan adalah skenario dimana jumlah dan data kapal yang ada menggunakan data saat ini (existing). Sedangkan skenario kedua adalah skenario dimana penulis melakukan prediksi di masa yang akan datang. Penulis memprediksi data kapal yang melewati selat berhala akan bertambah hingga 15 tahun ke depan. Dengan data kenaikan kapal yang didapat dari buku statistik perhubungan milik kementerian perhubungan, diperoleh data kenaikan jumlah kapal di Indonesia. Dari hasil analisa data milik Menteri perhubungan dalam buku statistik dapat diperkirakan kapal mengalami kenaikan sebanyak 8% setiap tahunnya (dengan mengambil data kenaikan yang paling rendah).

Tabel 4.5. Persentase Kenaikan Jumlah Kapal Setiap Tahun

No.	Deskripsi	Satuan	2014	2015	2016	2017	2018
1	Kapal	Unit	935	1151	1271	1372	1482
Persentase Kenaikan Setiap Tahun				23.10%	10.43%	7.95%	8.02%

Tabel 4.6. Data Kapal di Sekitar Selat Berhala *Future Condition*

No	Tipe Kapal	Deskripsi Kapal	Frequency /Year	Range DWT	Length (m)	Beam (m)	Berat Jangkar (Ton)	Draft (m)
1	TANKER A (For Lifting Oil)	Size Medium Range (MR)	152	50000	205	29	8.7	16
2	TANKER B (For Lifting Oil)	Size Aframax (LR)	152	80000	245	34	12.9	20
3	TANKER (For Lifting LPG)	Size VLGC	76	55000	226	37	8.7	12
4	TUGBOAT	Tanker Tug	1142	1000	56	14	1	6
5	BULK CARRIER (For Lifting Coal)	Size Ultramax	152	62000	200	32	4.6	6.6
6	PASSANGER SHIP	Ferries	190	15000	146	24	2.5	5.6
7	CONTAINER	600 TEus	114	8250	115	21	1.9	5.3
8	FISHING VESSEL	-	1523	< 50	25	6	0.48	3

4.3.1 Penilaian Frekuensi

Frekuensi digunakan untuk menggambarkan kemungkinan per satuan waktu dari peristiwa yang terjadi. Penilaian frekuensi bertujuan untuk mendapatkan kemungkinan kapal akan melakukan *Hazardous event* pada waktu tertentu.

Sebelum dilakukan perhitungan frekuensi tersebut harus dilakukan perancangan skenario terjadinya suatu risiko. Kecepatan kapal, peluang kapal berada di area kritis, waktu yang dibutuhkan kapal untuk melewati daerah kritis dan peluang kapal menjatuhkan jangkar atau peluang kapal tenggelam di atas pipa digunakan sebagai acuan dalam menghitung frekuensi di tiap Hazard yang berpotensi muncul. Kemudian hasil perhitungan frekuensi tersebut dikelompokkan berdasarkan ranking frekuensi dari DNV-RP-F107 yang digunakan sebagai acuan.

Untuk melakukan penilaian frekuensi terhadap aktivitas Dropped Anchor, Dragged Anchor dan peluang terjadinya *ship sinking* di daerah pipa digunakan data kapal yang telah dikelompokkan berdasarkan jenis kapal yang melalui jalur pipa bawah laut PetroChina International Jabung Ltd.

4.3.1.1 Penilaian Frekuensi akibat Dropped Anchor (*Existing Scenario*)

Perhitungan frekuensi ini didapatkan dari kemungkinan kapal melewati sekitar pipa bawah laut, dan melakukan lego jangkar di sekitar *Critical Anchor Damage Zone (CADZ)*, sehingga menyebabkan kerusakan pada pipa tersebut dalam waktu setahun.

CADZ merupakan jarak area yang dibentuk oleh penjumlahan diameter pipa ditambah dengan ketebalan *coating* dari pipa dan ditambahkan dua kali lebar jangkar kapal. Dari data kapal yang dimiliki dapat dilihat dimana kapal nelayan merupakan kapal yang mempunyai peluang paling besar untuk melewati pipa.

Dengan keterbatasan data yang dimiliki, diambil beberapa asumsi untuk memberikan batasan terhadap penilaian frekuensi tersebut. Asumsi utama untuk mendapatkan frekuensi untuk menghitung frekuensi *dropped anchor* dapat dituliskan seperti di bawah ini:

1. Kecepatan kapal 6 knot, 8 knot, 10 knot.

No	Tipe Kapal	Average Speed
1	TANKER A (Ship 115)	9,2
2	TANKER B (Proteleum 115)	9,6
3	TANKER C (Pertamina Gas)	14
4	TUGBOAT (Amber)	5,9
5	BULK CARRIER (Melati Laut)	12,2
6	PASSANGER SHIP (KM Kelud)	14
7	CONTAINER (MV Kanal Mas)	9,2
8	FISHING VESSEL	8

Kecepatan 6 knot, 8 knot, dan 10 knot diasumsikan pada penilaian frekuensi ini didapatkan dari rata-rata 8 kelompok kapal yang di analisa. Nilai rata-rata dari 8 kapal tersebut yaitu 10 Knot, sehingga penulis membuat variasi kecepatan 6 Knot dan 8

Knot dari masing-masing 60% dan 80% dari kecepatan rata-rata (dikarenakan pada saat kapal menjatuhkan jangkar tidak berada pada kecepatan servis).

2. *Critical Anchor Damage Zone (CADZ)* = 2 x lebar jangkar terbesar + diameter pipa + ketebalan lapisan beton.
3. Peluang kapal untuk menjatuhkan jangkar sebesar 3% (Nilai Asumsi)

Secara umum, dalam melakukan penilaian frekuensi dilakukan perhitungan *annual frequency*. Dimana perhitungan *annual frequency* dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$F_{DA} = P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4 \dots\dots\dots (4.1)$$

Dimana:

- F_{DA} = Frekuensi tahunan jatuhnya jangkar dan mengenai pipa
- P_1 = Peluang kapal berada didaerah CADZ
- P_2 = Peluang Kapal dalam keadaan *emergency*
- P_3 = Peluang kapal Lego jangkar
- P_4 = Peluang menjatuhkan jangkar di CADZ

Penjelasan pada setiap peluang terjadinya jatuhnya jangkar (*Dropped Anchor*) dapat dilihat sebagai berikut:

- Peluang kapal berada didaerah CADZ (P1)
Nilai P1 adalah peluang kapal berada pada daerah CADZ, dimana pada nilai P1 ini nilai peluang tersebut didapatkan dengan melakukan perhitungan total banyaknya kapal yang melintas pipa dalam setahun.
- Peluang Kapal dalam keadaan *emergency* (P2)
Nilai P2 adalah peluang kapal dalam keadaan *emergency*, yang dimaksud dalam keadaan *emergency* adalah keadaan terjadinya kerusakan mesin pada kapal. Nilai P2 disini menggunakan nilai asumsi yaitu 5%
- Peluang Kapal Lego Jangkar (P3)
Nilai P3 adalah peluang kapal melakukan lego jangkar pada area sekitar pipa. Dimana nilai asumsi P3 yang digunakan sebesar 3%.
- Peluang menjatuhkan jangkar di CADZ (P4)
Nilai P4 adalah peluang menjatuhkan jangkar di area CADZ. Dimana nilai P4 ini didapatkan dengan melakukan perhitungan lebar CADZ. Yang mana nilai CADZ didapatkan dari rumus sebagai berikut:

$$CADZ = D + (2 \times T) + (2 \times W) \dots\dots\dots (4.2)$$

Dimana:

- CADZ = *Critical Anchor Damage Zone*
- D = Diameter Pipa
- T = Tebal Lapisan Pipa (*Concrete Thickness*)
- W = Lebar Jangkar Terbesar

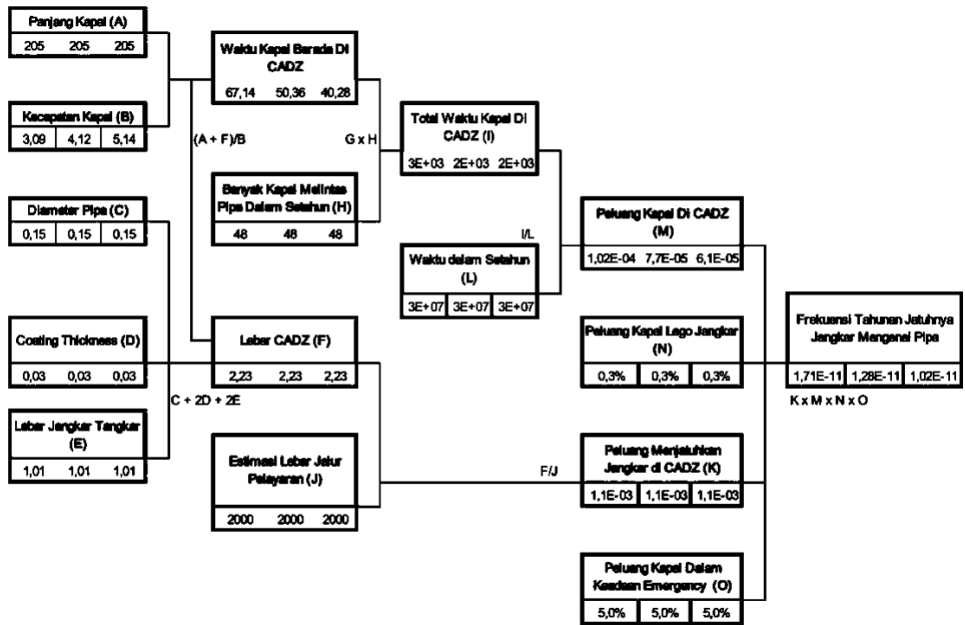
Pada penilaian frekuensi jatuhnya jangkar (*Dropped Anchor*) ini juga dilakukan analisa pada 8 kelompok kapal yang berbeda dan 3 pipa yang berbeda. Pada tabel berikut ini adalah contoh penilaian frekuensi jatuhnya jangkar (*Dropped Anchor*) pada salah satu tipe kapal yaitu kapal Tanker A terhadap pipa *condensate* (NPS10).

Tabel 4.7. Frequency bahaya akibat dropped anchor (Tanker A dan Pipa NPS6)

No	Perhitungan	Persamaan	Keterangan	Satuan	Kecepatan Kapal		
					6 knot	8 knot	10 knot
1	A	-	Panjang Kapal	m	205	205	205
2	B	-	Kecepatan Kapal	m/s	3,086419753	4,115226337	5,144032922
3	C	-	Diameter Pipa	m	0,1524	0,1524	0,1524
4	D	-	Tebal Lapisan Pipa (Concrete Thickness)	m	0,025	0,025	0,025
5	E	-	Lebar Jangkar Tangkar	m	1,012	1,012	1,012
6	F	$C + 2D + 2E$	Lebar CADZ (Critical Anchor Damage Zone)	m	2,2264	2,2264	2,2264
7	G	$(A + F) / B$	Waktu Kapal berada di CADZ	s	67,1413536	50,3560152	40,28481216
8	H	-	Banyak Kapal melintas pipa dalam setahun	-	48	48	48
9	I	$G \times H$	Total Waktu Kapal di CADZ	s	3222,784973	2417,08873	1933,670984
10	J	-	Estimasi Lebar Jalur Pelayaran	m	2000	2000	2000
11	K	F / J	Peluang menjatuhkan jangkar di CADZ	-	0,0011132	0,0011132	0,0011132
12	L	-	Waktu Dalam Setahun	s	31536000	31536000	31536000
13	M	I / L	Peluang Kapal di CADZ	-	0,000102194	7,66454E-05	6,13163E-05
14	N		Peluang kapal Lego jangkar	-	0,003	0,003	0,003
15	O		Peluang kapal dalam keadaan emergency	-	5%	5%	5%
16	P	$K \times M \times N \times O$	Frekuensi tahunan jatuhnya jangkar mengenai pipa	-	1,70643E-11	1,27982E-11	1,02386E-11
17			RANK	-	1	1	1

Seperti bisa dilihat pada tabel di atas penilaian frekuensi jatuhnya jangkar (*Dropped Anchor*) pada pipa *Condensate* (NPS6) frekuensi per tahun bahaya jatuhnya jangkar (*Dropped Anchor*) pada fasilitas pipa bawah laut masih berada di bawah nilai 10-5 untuk seluruh skenario kecepatan yang ada (6 knot, 8 knot, dan 10 knot). Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel ini, frekuensi jatuhnya jangkar (*Dropped Anchor*) kapal Tanker A pada pipa *condensate* NPS10 dapat disimpulkan berada pada rangking 1 yang mengacu pada rangking frekuensi milik DNVGL-RP-F107.

Dalam tugas akhir ini hasil perhitungan frekuensi akan di presentasikan menggunakan *event tree analysis* (ETA). *Event tree analysis* dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 4.3. ETA bahaya akibat *dropped anchor* (Tanker A dan Pipa NPS6)

Dengan menggunakan cara penilaian frekuensi jatuhnya jangkar (*Dropped Anchor*) yang sama, maka penilaian frekuensi jatuhnya jangkar dapat dilakukan pada 7 tipe kapal lainnya. Berikut dapat dilihat pada tabel di bawah ini rangkuman penilaian frekuensi jatuhnya jangkar (*Dropped Anchor*) pada 3 pipa yang berbeda dan 8 tipe kapal.

Tabel 4.8. Rangkuman Frequency Dropped Anchor Pada Pipa Condensate 6”

No	Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Kapal berada di CADZ dan Lego Jangkar	Rank
1	TANKER A	6	1,70643E-11	1
		8	1,27982E-11	1
		10	1,02386E-11	1
2	TANKER B	6	2,27225E-11	1
		8	1,70419E-11	1
		10	1,36335E-11	1
3	TANKER C	6	9,3968E-12	1
		8	7,0476E-12	1
		10	5,63808E-12	1
4	TUGBOAT	6	1,89498E-11	1
		8	1,42124E-11	1
		10	1,13699E-11	1
5	BULK CARRIER	6	1,38296E-11	1
		8	1,03722E-11	1
		10	8,29776E-12	1
6	PASSANGER VESSEL	6	1,05488E-11	1
		8	7,91157E-12	1
		10	6,32926E-12	1
7	CONTAINER	6	4,67869E-12	1
		8	3,50902E-12	1
		10	2,80721E-12	1
8	FISHING VESSEL	6	1,88666E-12	1
		8	1,41499E-12	1
		10	1,132E-12	1

Tabel 4.9. Rangkuman Frequency Dropped Anchor Pada Pipa Condensate 8''

No	Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Kapal berada di CADZ dan Lego Jangkar	Rank
1	TANKER A	6	1,7458E-11	1
		8	1,30935E-11	1
		10	1,04748E-11	1
2	TANKER B	6	2,31923E-11	1
		8	1,73942E-11	1
		10	1,39154E-11	1
3	TANKER C	6	9,61335E-12	1
		8	7,21001E-12	1
		10	5,76801E-12	1
4	TUGBOAT	6	1,97734E-11	1
		8	1,483E-11	1
		10	1,1864E-11	1
5	BULK CARRIER	6	1,42124E-11	1
		8	1,06593E-11	1
		10	8,52746E-12	1
6	PASSANGER VESSEL	6	1,0899E-11	1
		8	8,17428E-12	1
		10	6,53943E-12	1
7	CONTAINER	6	4,8449E-12	1
		8	3,63367E-12	1
		10	2,90694E-12	1
8	FISHING VESSEL	6	2,36494E-12	1
		8	1,77371E-12	1
		10	1,41897E-12	1

Tabel 4.10. Rangkuman Frequency Dropped Anchor Pada Pipa Condensate 10''

No	Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Kapal berada di CADZ dan Lego Jangkar	Rank
1	TANKER A	6	1,78518E-11	1
		8	1,33888E-11	1
		10	1,07111E-11	1
2	TANKER B	6	2,36622E-11	1
		8	1,77467E-11	1
		10	1,41973E-11	1
3	TANKER C	6	9,82999E-12	1
		8	7,37249E-12	1
		10	5,89799E-12	1
4	TUGBOAT	6	2,05983E-11	1
		8	1,54487E-11	1
		10	1,2359E-11	1
5	BULK CARRIER	6	1,45955E-11	1
		8	1,09466E-11	1
		10	8,75728E-12	1
6	PASSANGER VESSEL	6	1,12496E-11	1
		8	8,43717E-12	1
		10	6,74974E-12	1
7	CONTAINER	6	5,01125E-12	1
		8	3,75844E-12	1
		10	3,00675E-12	1
8	FISHING VESSEL	6	2,84514E-12	1
		8	2,13386E-12	1
		10	1,70708E-12	1

4.3.1.2 Penilaian Frekuensi akibat *Dragged Anchor (Existing Scenario)*

Pada perhitungan frekuensi untuk *Hazard* berupa *dragged anchor*, data jangkar diperlukan untuk mengetahui *Critical Anchor Drag Zone (CADRZ)*. Kemudian dengan data panjang dan kecepatan kapal maka dapat dihitung waktu yang dibutuhkan kapal untuk melewati *Channel*. Setelah diketahui waktu yang diperlukan kapal untuk melewati *Channel*, langkah selanjutnya dengan menghitung peluang kapal untuk berada di *CADRZ* dan peluang kapal untuk lego jangkar dan menyeret pipa, maka didapatkan nilai frekuensi akibat *dragged anchor*. Dalam melakukan perhitungan frekuensi tersebut asumsi utama yang digunakan untuk mendapatkan frekuensi akibat *dragged anchor* dapat dituliskan seperti di bawah ini:

1. Kecepatan kapal = 4 knot, 6 knot, 8 knot (Kecepatan 4 knot, 6 knot, dan 8 knot diasumsikan pada penilaian frekuensi ini dikarenakan pada saat kapal menjatuhkan jangkar tidak berada pada kecepatan servis).
2. Peluang kapal untuk menjatuhkan jangkar dan menyeretnya sebesar 3%
3. *Critical Anchor Dragged Zone (CADRZ)*

Secara umum, dalam melakukan penilaian frekuensi dilakukan perhitungan *annual frequency*. Dimana perhitungan *annual frequency* dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$F_{DRA} = P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4 \times P_5 \dots\dots\dots(4.3)$$

Dimana:

F_{DRA} = Frekuensi tahunan terseretnya jangkar dan mengenai pipa

P_1 = Peluang kapal berada didaerah CADRZ

P_2 = Peluang Kapal dalam keadaan *emergency*

P_3 = Peluang kapal Lego jangkar

P_4 = Peluang Jangkar Menyeret Pipa

P_5 = Peluang menjatuhkan jangkar di CADRZ

Penjelasan pada setiap peluang terjadinya jatuhnya jangkar dan menyeret (*Dragged Anchor*) dapat dilihat sebagai berikut:

- Peluang kapal berada didaerah CADRZ (P1)
Nilai P1 adalah peluang kapal berada pada daerah CADRZ, dimana pada nilai P1 ini nilai peluang tersebut didapatkan dengan melakukan perhitungan total banyaknya kapal yang melintas pipa dalam setahun.
- Peluang Kapal dalam keadaan *emergency* (P2)
Nilai P2 adalah peluang kapal dalam keadaan *emergency*, yang dimaksud dalam keadaan *emergency* adalah keadaan terjadinya kerusakan mesin pada kapal. Nilai P2 disini menggunakan nilai asumsi yaitu 5%
- Peluang Kapal Lego Jangkar (P3)
Nilai P3 adalah peluang kapal melakukan lego jangkar pada area sekitar pipa. Dimana nilai P3 yang digunakan sebesar 3%.
- Peluang Jangkar Menyeret Pipa (P4)
Nilai P4 adalah peluang jangkar menyeret pipa bawah laut pada area sekitar pipa. Dimana nilai P4 yang digunakan sebesar 0,8
- Peluang menjatuhkan jangkar di CADRZ (P5)
Nilai P5 adalah peluang menjatuhkan jangkar di area CADRZ. Dimana nilai P5 ini didapatkan dengan melakukan perhitungan lebar CADRZ. Yang mana nilai CADRZ didapatkan dari perkalian 5-10 kali dari *penetration depth sesuai dengan referensi pada DNV-RP-E301 "Design and Installation of Fluke Anchors"*.

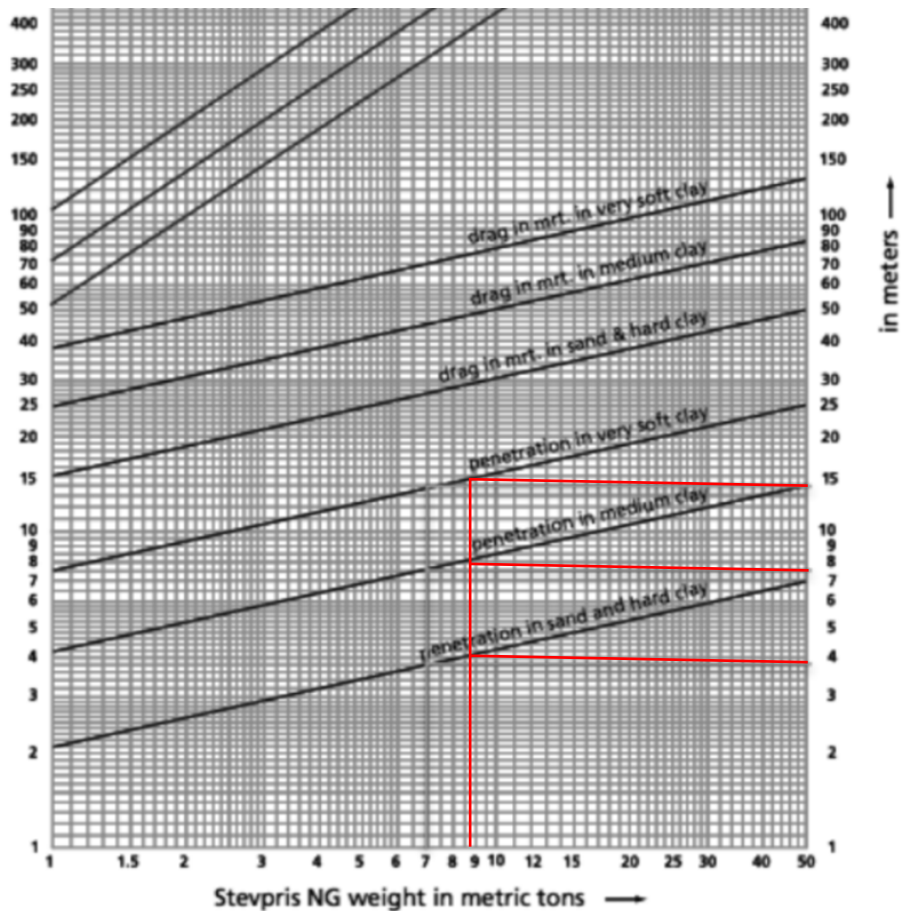
$$CADRZ = 10 \times G \dots\dots\dots(4.2)$$

Dimana:

CADRZ = *Critical Anchor Dragged Zone*

G = *Penetration Depth*

Nilai G (Penetration Depth) didapatkan dari grafik *penetration depth* yang digunakan sebagai acuan untuk mendapatkan nilai tersebut



Gambar 4.4 Grafik Penetration Depth

Pada penilaian frekuensi jatuhnya jangkar (*Dragged Anchor*) ini juga dilakukan analisa pada 8 kelompok kapal yang berbeda dan 3 pipa yang berbeda. Pada tabel berikut ini adalah contoh penilaian frekuensi terseretnya jangkar (*Dragged Anchor*) pada salah satu tipe kapal yaitu kapal Tanker A terhadap pipa *condensate* (NPS6).

Dengan melihat grafik penetration depth pada Gambar 4.4 maka didapatkan nilai penetration depth untuk berat jangkar 8700 kg (Tanker A) pada masing-masing jenis tanah yaitu:

Tabel 4.11 Tanker A - Anchor Penetration Depth

Type Soil	Penetration Depth (m)
Sand and Hard Clay	4
Medium Clay	7,5
Very Soft Clay	15

Seperti bisa dilihat pada tabel diatas penilaian frekuensi terseretnya jangkar (*Dragged Anchor*) pada pipa *Butane* (NPS6) frekuensi per tahun bahaya jatuhnya jangkar (*Dragged Anchor*) pada fasilitas pipa bawah laut masih berada di bawah nilai 10^{-5} untuk seluruh skenario kecepatan yang ada (4 knot, 6 knot, dan 8 knot). Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel ini, frekuensi jatuhnya jangkar (*Dragged Anchor*) kapal Tanker A pada pipa NPS6 dapat disimpulkan berada pada rangking 1 yang mengacu pada rangking frekuensi milik DNVGL-RP-F107.

(*Dragged Anchor*) yang sama, maka penilaian frekuensi terseretnya jangkar dapat dilakukan pada 7 tipe kapal lainnya. Berikut dapat dilihat pada tabel dibawah ini rangkuman penilaian frekuensi terseretnya jangkar (*Dragged Anchor*) pada 3 pipa yang berbeda dan 8 tipe kapal.

Tabel 4.13. Rangkuman Frequency Dragged Anchor Pada 3 Jenis Pipa

No	Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Rank		
			4knot	6knot	8knot
1	TANKER A	Sand and Hard Clay	1	1	1
		Medium Clay	1	1	1
		Very Soft Clay	1	1	1
2	TANKER B	Sand and Hard Clay	1	1	1
		Medium Clay	1	1	1
		Very Soft Clay	1	1	1
3	TANKER C	Sand and Hard Clay	1	1	1
		Medium Clay	1	1	1
		Very Soft Clay	1	1	1
4	TUGBOAT	Sand and Hard Clay	1	1	1
		Medium Clay	1	1	1
		Very Soft Clay	1	1	1
5	BULK CARRIER	Sand and Hard Clay	1	1	1
		Medium Clay	1	1	1
		Very Soft Clay	1	1	1
6	PASSANGER VESSEL	Sand and Hard Clay	1	1	1
		Medium Clay	1	1	1
		Very Soft Clay	1	1	1
7	CONTAINER	Sand and Hard Clay	1	1	1
		Medium Clay	1	1	1
		Very Soft Clay	1	1	1
8	FISHING VESSEL	Sand and Hard Clay	#	#	#
		Medium Clay	#	#	#
		Very Soft Clay	#	#	#

4.3.1.3 Penilaian Frekuensi akibat Ship Sinking (Existing Scenario)

Perhitungan frekuensi ini didapatkan dari kemungkinan kapal melewati sekitar pipa bawah laut, dan mengalami *emergency condition* sampai tenggelam di sekitar *critical sinking zone* (CSZ). Dimana CZS merupakan jumlah dari dua kali panjang kapal dengan diameter kapal ditambah ketebalan coating dari pipa. Kemudian kapal mengalami kecelakaan (collision) sehingga menyebabkan *flooding* pada lambung kapal. Apabila kapal terbuat dari baja maka kapal tersebut akan tenggelam dan menimpa pipa yang berada dibawahnya. Namun apabila kapal terbuat dari kayu maka kapal akan mengambang di permukaan air laut sehingga tidak akan memberikan konsekuensi pada pipa.

Dengan keterbatasan data yang dimiliki, diambil beberapa asumsi untuk memberikan batasan terhadap penilaian frekuensi tersebut. Asumsi utama untuk mendapatkan frekuensi untuk menghitung frekuensi *ship sinking* dapat dituliskan seperti di bawah ini:

1. Kecepatan kapal 6 knot, 8 knot, 10 knot.

Tabel 4.14 Ship Speed

No	Tipe Kapal	Average Speed
1	TANKER A (Ship 115)	9,2
2	TANKER B (Proteleum 115)	9,6
3	TANKER C (Pertamina Gas)	14
4	TUGBOAT (Amber)	5,9
5	BULK CARRIER (Melati Laut)	12,2
6	PASSANGER SHIP (KM Kelud)	14
7	CONTAINER (MV Kanal Mas)	9,2
8	FISHING VESSEL	8

Kecepatan 6 knot, 8 knot, dan 10 knot diasumsikan pada penilaian frekuensi ini didapatkan dari rata-rata 8 kelompok kapal yang di analisa. Nilai rata-rata dari 8 kapal tersebut yaitu 10 Knot, sehingga penulis membuat variasi kecepatan 6 Knot dan 8 Knot dari masing-masing 60% dan 80% dari kecepatan rata-rata (dikarenakan pada saat kapal menjatuhkan jangkar tidak berada pada kecepatan servis).

2. CSZ merupakan jumlah dari dua kali panjang kapal dengan diameter kapal ditambah ketebalan coating dari pipa.

Secara umum, dalam melakukan penilaian frekuensi dilakukan perhitungan annual frequency. Dimana perhitungan annual frequency dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$F_{SS} = P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4 \times P_5 \times P_6 \dots\dots\dots(4.5)$$

Dimana:

F_{SS} = Frekuensi tahunan kapal tenggelam dan mengenai pipa.

P_1 = Peluang kapal berada didaerah CSZ.

P_2 = Peluang Kapal dalam keadaan emergency.

P_3 = Peluang kapal tubrukan saat kapal gagal engine.

P_4 = Peluang terjadinya kerusakan pada hull kapal saat tubrukan.

P_5 = Peluang kapal tenggelam setelah terjadi kerusakan pada hull.

P_6 = Peluang Kapal tenggelam didaerah CSZ.

Penjelasan pada setiap peluang terjadinya jatuhnya jangkar (*Ship Sinking*) dapat dilihat sebagai berikut:

- Peluang kapal berada didaerah CSZ (P1)
- Nilai P1 adalah peluang kapal berada pada daerah CSZ, dimana pada nilai P1 ini nilai peluang tersebut didapatkan dengan melakukan perhitungan total banyaknya kapal yang melintas pipa dalam setahun.
- Peluang Kapal dalam keadaan emergency (P2)
Nilai P2 adalah peluang kapal dalam keadaan emergency, yang dimaksud dalam keadaan emergency disini adalah keadaan terjadinya kerusakan mesin pada kapal. Nilai P2 disini menggunakan nilai 2.0×10^{-5} yang dikutip atau direkomendasikan dari DNVGL-RP-F107.
- Peluang kapal tubrukan saat kapal gagal engine (P3)
Nilai P3 adalah peluang kapal mengalami tubrukan pada saat kapal mengalami gagal engine. Pada skenario ini kapal akan mengalami tubrukan dengan kapal lainnya. Nilai peluang terjadinya tubrukan kapal dengan kapal ini diasumsikan sebesar 50%.
- Peluang terjadinya kerusakan pada hull kapal saat terjadinya tubrukan (P4)
Nilai P4 adalah peluang terjadinya kerusakan pada hull bagian kapal yang diakibatkan oleh terjadinya tubrukan kapal dengan kapal lainnya. Nilai peluang terjadinya kerusakan pada hull kapal akibat tubrukan ini diasumsikan sebesar 24%
- Peluang kapal tenggelam setelah terjadi kerusakan pada hull (P5)
Nilai P5 adalah peluang terjadinya kapal tenggelam setelah terjadinya kerusakan pada bagian hull kapal. Nilai peluang terjadinya kapal tenggelam setelah terjadi kerusakan pada hull diasumsikan sebesar 9%.
- Peluang Kapal tenggelam didaerah CSZ (P6)
Nilai P6 adalah peluang tenggelamnya kapal di area CSZ. Dimana nilai P6 ini didapatkan dengan melakukan perhitungan lebar CSZ. Yang mana nilai CSZ didapatkan dari rumus sebagai berikut:

$$CSZ = D + (2 \times T) + (2 \times W) \dots \dots \dots (4.6)$$

Dimana:

CSZ = Critical Sinking Zone

D = Diameter Pipa

T = Tebal Lapisan Pipa (Concrete Thickness)

W = Lebar Jangkar Terbesar

Pada penilaian frekuensi kapal tenggelam (*Ship Sinking*) ini juga dilakukan analisa pada 8 kelompok kapal yang berbeda dan 3 pipa yang berbeda. Pada tabel berikut

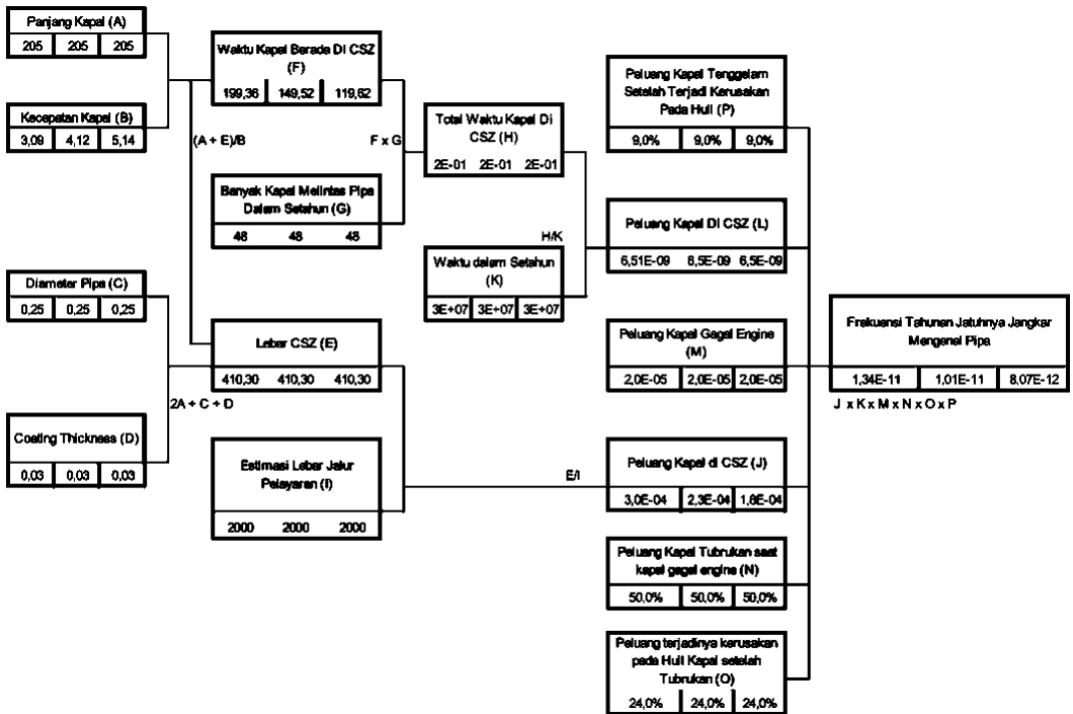
ini adalah contoh penilaian frekuensi kapal tenggelam (*Ship Sinking*) pada salah satu tipe kapal yaitu kapal Tanker A terhadap pipa *condensate* (NPS10).

Tabel 4.15. Frequency bahaya akibat *Ship Sinking* (Tanker A dan Pipa NPS6)

No	Perhitungan	Persamaan	Keterangan	Satuan	Kecepatan Kapal		
					6 knot	8 knot	10 knot
1	A	-	Panjang Kapal	m	205	205	205
2	B	-	Kecepatan Kapal	m/s	3,08642	4,115226	5,144033
3	C	-	Diameter Pipa	m	0,254	0,254	0,254
4	D	-	Tebal Lapisan Pipa (Concrete Thickness)	m	0,025	0,025	0,025
5	E	$2A + C + 2D$	Lebar CSZ (Critical Sinking Zone)	m	410,304	410,304	410,304
6	F	$(A + E) / B$	Waktu Kapal berada di CSZ	s	199,3585	149,5189	119,6151
7	G	-	Banyak Kapal melintas pipa dalam setahun	-	48	48	48
8	H	$F \times G$	Total Waktu Kapal di CADZ	s	9569,208	7176,906	5741,525
9	I	-	Estimasi Lebar Jalur Pelayaran	m	2000	2000	2000
10	J	E / I	Peluang menjatuhkan jangkar di CADZ	-	0,205152	0,205152	0,205152
11	K	-	Waktu Dalam Setahun	s	31536000	31536000	31536000
12	L	H / K	Peluang Kapal di CADZ	-	0,000303	0,000228	0,000182
13	M		Peluang Kapal Gagal Engine	-	0,00002	0,00002	0,00002
14	N		Peluang Kapal Tubrukan saat kapal gagal engine	-	50%	50%	50%
15	O		Peluang terjadinya kerusakan pada Hull Kapal setelah Tubrukan	-	24%	24%	24%
16	P		Peluang Kapal Tenggelam Setelah Terjadi Kerusakan Pada Hull	-	9%	9%	9%
17	Q	$J \times K \times M \times N \times O \times P$	Peluang Total Kapal akan tenggelam di CSZ	-	1,34E-11	1,01E-11	8,07E-12
18	-		RANK	-	1	1	1

Seperti bisa dilihat pada tabel diatas penilaian frekuensi jatuhnya jangkar (*Ship Sinking*) pada pipa Condensate (NPS6) frekuensi per tahun bahaya kapal tenggelam (*Ship Sinking*) pada fasilitas pipa bawah laut masih berada dibawah nilai 10^{-5} untuk seluruh skenario kecepatan yang ada (6 knot, 8 knot, dan 10 knot). Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel ini, frekuensi kapal tenggelam (*Ship Sinking*) kapal Tanker A pada pipa *condensate* NPS6 dapat disimpulkan berada pada rangking 1 yang mengacu pada rangking frekuensi milik DNVGL-RP-F107.

Dalam tugas akhir ini hasil perhitungan frekuensi akan di presentasikan menggunakan event tree analysis (ETA). Event tree analysis dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 4.5. ETA bahaya akibat dropped anchor (Tanker A dan Pipa NPS6)

Dengan menggunakan cara penilaian frekuensi bahaya kapal tenggelam (*Ship Sinking*) yang sama, maka penilaian frekuensi jatuhnya jangkar dapat dilakukan pada 7 tipe kapal lainnya. Berikut dapat dilihat pada tabel di bawah ini rangkuman penilaian frekuensi kapal tenggelam (*Ship Sinking*) pada 3 pipa yang berbeda dan 8 tipe kapal.

Tabel 4.16. Rangkuman Frequency Ship Sinking Pada Pipa Butane 6”

No	Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Kapal berada di CADZ dan Lego Jangkar	Rank
1	TANKER A	6	1,34406E-11	1
		8	1,00805E-11	1
		10	8,06438E-12	1
2	TANKER B	6	1,91949E-11	1
		8	1,43962E-11	1
		10	1,15169E-11	1
3	TANKER C	6	8,16706E-12	1
		8	6,12529E-12	1
		10	4,90023E-12	1
4	TUGBOAT	6	7,53874E-12	1
		8	5,65406E-12	1
		10	4,52325E-12	1
5	BULK CARRIER	6	1,27932E-11	1
		8	9,59494E-12	1
		10	7,67595E-12	1
6	PASSANGER VESSEL	6	8,52456E-12	1
		8	6,39342E-12	1
		10	5,11474E-12	1
7	CONTAINER	6	3,1743E-12	1
		8	2,38073E-12	1
		10	1,90458E-12	1
8	FISHING VESSEL	6	2,01076E-12	1
		8	1,50807E-12	1
		10	1,20645E-12	1

Tabel 4.17 Rangkuman Frequency Ship Sinking Pada Pipa Propane 8”

No	Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Kapal berada di CADZ dan Lego Jangkar	Rank
1	TANKER A	6	1,34434E-11	1
		8	1,00826E-11	1
		10	8,06604E-12	1
2	TANKER B	6	1,91982E-11	1
		8	1,43987E-11	1
		10	1,15189E-11	1
3	TANKER C	6	8,16859E-12	1
		8	6,12644E-12	1
		10	4,90115E-12	1
4	TUGBOAT	6	7,54443E-12	1
		8	5,65833E-12	1
		10	4,52666E-12	1
5	BULK CARRIER	6	1,2796E-11	1
		8	9,59697E-12	1
		10	7,67757E-12	1
6	PASSANGER VESSEL	6	8,52703E-12	1
		8	6,39527E-12	1
		10	5,11622E-12	1
7	CONTAINER	6	3,17547E-12	1
		8	2,3816E-12	1
		10	1,90528E-12	1
8	FISHING VESSEL	6	2,01415E-12	1
		8	1,51061E-12	1
		10	1,20849E-12	1

Tabel 4.18. Rangkuman Frequency Ship Sinking Pada Pipa Condensate 10”

No	Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Kapal berada di CADZ dan Lego Jangkar	Rank
1	TANKER A	6	1,34462E-11	1
		8	1,00846E-11	1
		10	8,06771E-12	1
2	TANKER B	6	1,92015E-11	1
		8	1,44011E-11	1
		10	1,15209E-11	1
3	TANKER C	6	8,17012E-12	1
		8	6,12759E-12	1
		10	4,90207E-12	1
4	TUGBOAT	6	7,55013E-12	1
		8	5,6626E-12	1
		10	4,53008E-12	1
5	BULK CARRIER	6	1,27987E-11	1
		8	9,599E-12	1
		10	7,6792E-12	1
6	PASSANGER VESSEL	6	8,5295E-12	1
		8	6,39713E-12	1
		10	5,1177E-12	1
7	CONTAINER	6	3,17664E-12	1
		8	2,38248E-12	1
		10	1,90598E-12	1
8	FISHING VESSEL	6	2,01755E-12	1
		8	1,51316E-12	1
		10	1,21053E-12	1

4.3.1.4 Penilaian Frekuensi akibat *Dropped Anchor (Future Scenario)*

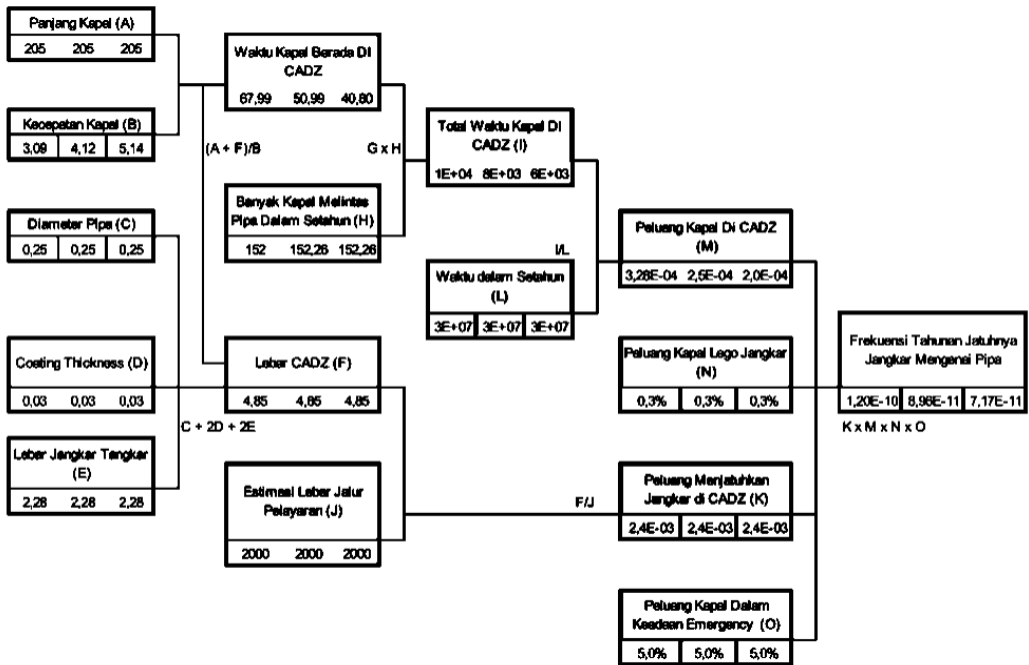
Hasil perhitungan frekuensi ini didapatkan dengan cara yang sama dengan perhitungan frekuensi skenario pertama (*Existing Scenario*). Akan tetapi data jumlah kapal yang digunakan adalah jumlah data kapal yang di perkiraan ada di 15 tahun yang akan datang. Pada tabel berikut ini adalah contoh penilaian frekuensi jatuhnya jangkar (*Dropped Anchor*) pada salah satu tipe kapal yaitu kapal Tanker A terhadap pipa *condensate* (NPS6).

Tabel 4.19. Frequency bahaya akibat Dropped anchor (Tanker A dan Pipa NPS6)

No	Perhitungan	Persamaan	Keterangan	Satuan	Kecepatan Kapal		
					6 knot	8 knot	10 knot
1	A	-	Panjang Kapal	m	205	205	205
2	B	-	Kecepatan Kapal	m/s	3,086419753	4,115226337	5,144032922
3	C	-	Diameter Pipa	m	0,254	0,254	0,254
4	D	-	Tebal Lapisan Pipa (Concrete Thickness)	m	0,025	0,025	0,025
5	E	-	Lebar Jangkar Tangkar	m	2,275	2,275	2,275
6	F	$C + 2D + 2E$	Lebar CADZ (Critical Anchor Damage Zone)	m	4,854	4,854	4,854
7	G	$(A + F) / B$	Waktu Kapal berada di CADZ	s	67,992696	50,99452201	40,7956176
8	H	-	Banyak Kapal melintas pipa dalam setahun	-	152	152	152
9	I	$G \times H$	Total Waktu Kapal di CADZ	s	10352,84785	7764,63589	6211,708711
10	J	-	Estimasi Lebar Jalur Pelayaran	m	2000	2000	2000
11	K	F / J	Peluang menjatuhkan jangkar di CADZ	-	0,002427	0,002427	0,002427
12	L	-	Waktu Dalam Setahun	s	31536000	31536000	31536000
13	M	I / L	Peluang Kapal di CADZ	-	0,000328287	0,000246215	0,000196972
14	N	-	Peluang kapal Lego jangkar	-	0,003	0,003	0,003
15	O	-	Peluang kapal dalam keadaan emergency	-	5%	5%	5%
16	P	$K \times M \times N \times O$	Frekuensi tahunan jatuhnya jangkar mengenai pipa	-	1,19513E-10	8,96346E-11	7,17077E-11
17			RANK	-	1	1	1

Seperti bisa dilihat pada tabel diatas penilaian frekuensi jatuhnya jangkar (*Dropped Anchor*) pada pipa *Condensate* (NPS6) frekuensi per tahun bahaya jatuhnya jangkar (*Dropped Anchor*) pada fasilitas pipa bawah laut masih berada dibawah nilai 10⁻⁵ untuk seluruh skenario kecepatan yang ada (6 knot, 8 knot, dan 10 knot). Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel ini, frekuensi jatuhnya jangkar (*Dropped Anchor*) kapal Tanker A pada pipa *condensate* NPS 6 dapat disimpulkan berada pada rangking 1 yang mengacu pada rangking frekuensi milik DNVGL-RP-F107.

Dalam tugas akhir ini hasil perhitungan frekuensi akan di presentasikan menggunakan *event tree analysis* (ETA). *Event tree analysis* dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 4.6. ETA bahaya akibat dropped anchor (Tanker A dan Pipa NPS6)

Dengan menggunakan cara penilaian frekuensi bahaya kapal tenggelam (*dropped Anchor*) yang sama, maka penilaian frekuensi jatuhnya jangkar dapat dilakukan pada 7 tipe kapal lainnya. Berikut dapat dilihat pada tabel di bawah ini rangkuman penilaian frekuensi kapal tenggelam (*Dropped Anchor*) pada 3 pipa yang berbeda dan 8 tipe kapal.

Tabel 4.20. Rangkuman Frequency Dropped Anchor Pada Pipa Condensate 6''

No	Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Kapal berada di CADZ dan Lego Jangkar	Rank
1	TANKER A	6	1,16955E-10	1
		8	8,77159E-11	1
		10	7,01727E-11	1
2	TANKER B	6	1,53918E-10	1
		8	1,15438E-10	1
		10	9,23506E-11	1
3	TANKER C	6	6,43319E-11	1
		8	4,82489E-11	1
		10	3,85991E-11	1
4	TUGBOAT	6	1,22393E-10	1
		8	9,17944E-11	1
		10	7,34356E-11	1
5	BULK CARRIER	6	9,38456E-11	1
		8	7,03842E-11	1
		10	5,63074E-11	1
6	PASSANGER VESSEL	6	7,09238E-11	1
		8	5,31929E-11	1
		10	4,25543E-11	1
7	CONTAINER	6	3,13249E-11	1
		8	2,34937E-11	1
		10	1,87949E-11	1
8	FISHING VESSEL	6	3,13249E-11	1
		8	2,34937E-11	1
		10	1,87949E-11	1

Tabel 4.21. Rangkuman Frequency Dropped Anchor Pada Pipa Condensate 8"

No	Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Kapal berada di CADZ dan Lego Jangkar	Rank
1	TANKER A	6	1,18233E-10	1
		8	8,8675E-11	1
		10	7,094E-11	1
2	TANKER B	6	1,55441E-10	1
		8	1,1658E-10	1
		10	9,32644E-11	1
3	TANKER C	6	6,50339E-11	1
		8	4,87754E-11	1
		10	3,90203E-11	1
4	TUGBOAT	6	1,25111E-10	1
		8	9,38334E-11	1
		10	7,50667E-11	1
5	BULK CARRIER	6	9,50847E-11	1
		8	7,13135E-11	1
		10	5,70508E-11	1
6	PASSANGER VESSEL	6	7,20602E-11	1
		8	5,40452E-11	1
		10	4,32361E-11	1
7	CONTAINER	6	3,18662E-11	1
		8	2,38996E-11	1
		10	1,91197E-11	1
8	FISHING VESSEL	6	3,13249E-11	1
		8	2,34937E-11	1
		10	1,87949E-11	1

Tabel 4.22. Rangkuman Frequency Dropped Anchor Pada Pipa Condensate 10''

No	Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Kapal berada di CADZ dan Lego Jangkar	Rank
1	TANKER A	6	1,19513E-10	1
		8	8,96346E-11	1
		10	7,17077E-11	1
2	TANKER B	6	1,56964E-10	1
		8	1,17723E-10	1
		10	9,41786E-11	1
3	TANKER C	6	6,57362E-11	1
		8	4,93021E-11	1
		10	3,94417E-11	1
4	TUGBOAT	6	1,27834E-10	1
		8	9,58757E-11	1
		10	7,67005E-11	1
5	BULK CARRIER	6	9,63244E-11	1
		8	7,22433E-11	1
		10	5,77947E-11	1
6	PASSANGER VESSEL	6	7,31974E-11	1
		8	5,48981E-11	1
		10	4,39184E-11	1
7	CONTAINER	6	3,24079E-11	1
		8	2,43059E-11	1
		10	1,94447E-11	1
8	FISHING VESSEL	6	3,13249E-11	1
		8	2,34937E-11	1
		10	1,87949E-11	1

4.3.1.5 Penilaian Frekuensi akibat *Dragged Anchor (Future Scenario)*

Hasil perhitungan frekuensi ini didapatkan dengan cara yang sama dengan perhitungan frekuensi skenario pertama (*Existing Scenario*). Akan tetapi data jumlah kapal yang digunakan adalah jumlah data kapal yang di perkiraan ada di 15 tahun yang akan datang. Pada tabel berikut ini adalah contoh penilaian frekuensi jatuhnya jangkar (*Dragged Anchor*) pada salah satu tipe kapal yaitu kapal Tanker A terhadap pipa *condensate* (NPS6).

Seperti bisa dilihat pada tabel diatas penilaian frekuensi jatuhnya jangkar (*Dragged Anchor*) pada pipa *Condensate* (NPS10) frekuensi per tahun bahaya jatuhnya jangkar (*Dragged Anchor*) pada fasilitas pipa bawah laut masih berada di bawah nilai 10-5 untuk seluruh skenario kecepatan yang ada (2 knot, 4 knot, dan 6 knot). Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel ini, frekuensi jatuhnya jangkar (*Dragged Anchor*) kapal Tanker A pada pipa *condensate* NPS6 dapat disimpulkan berada pada rangking 1 yang mengacu pada rangking frekuensi milik DNVGL-RP-F107.

Dengan menggunakan cara penilaian frekuensi bahaya kapal tenggelam (*Dragged Anchor*) yang sama, maka penilaian frekuensi jatuhnya jangkar dapat dilakukan pada 7 tipe kapal lainnya. Berikut dapat dilihat pada tabel di bawah ini rangkuman penilaian frekuensi kapal tenggelam (*Dragged Anchor*) pada 3 pipa yang berbeda dan 8 tipe kapal.

Tabel 4.24. Rangkuman Frequency Dragged Anchor Pada Pipa Condensate 6”

No	Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Rank		
			4knot	6knot	8knot
1	TANKER A	Sand and Hard Clay	1	1	1
		Medium Clay	1	1	1
		Very Soft Clay	1	1	1
2	TANKER B	Sand and Hard Clay	1	1	1
		Medium Clay	1	1	1
		Very Soft Clay	1	1	1
3	TANKER C	Sand and Hard Clay	1	1	1
		Medium Clay	1	1	1
		Very Soft Clay	1	1	1
4	TUGBOAT	Sand and Hard Clay	1	1	1
		Medium Clay	1	1	1
		Very Soft Clay	1	1	1
5	BULK CARRIER	Sand and Hard Clay	1	1	1
		Medium Clay	1	1	1
		Very Soft Clay	1	1	1
6	PASSANGER VESSEL	Sand and Hard Clay	1	1	1
		Medium Clay	1	1	1
		Very Soft Clay	1	1	1
7	CONTAINER	Sand and Hard Clay	1	1	1
		Medium Clay	1	1	1
		Very Soft Clay	1	1	1
8	FISHING VESSEL	Sand and Hard Clay	#	#	#
		Medium Clay	#	#	#
		Very Soft Clay	#	#	#

4.3.1.6 Penilaian Frekuensi akibat *Ship Sinking (Future Scenario)*

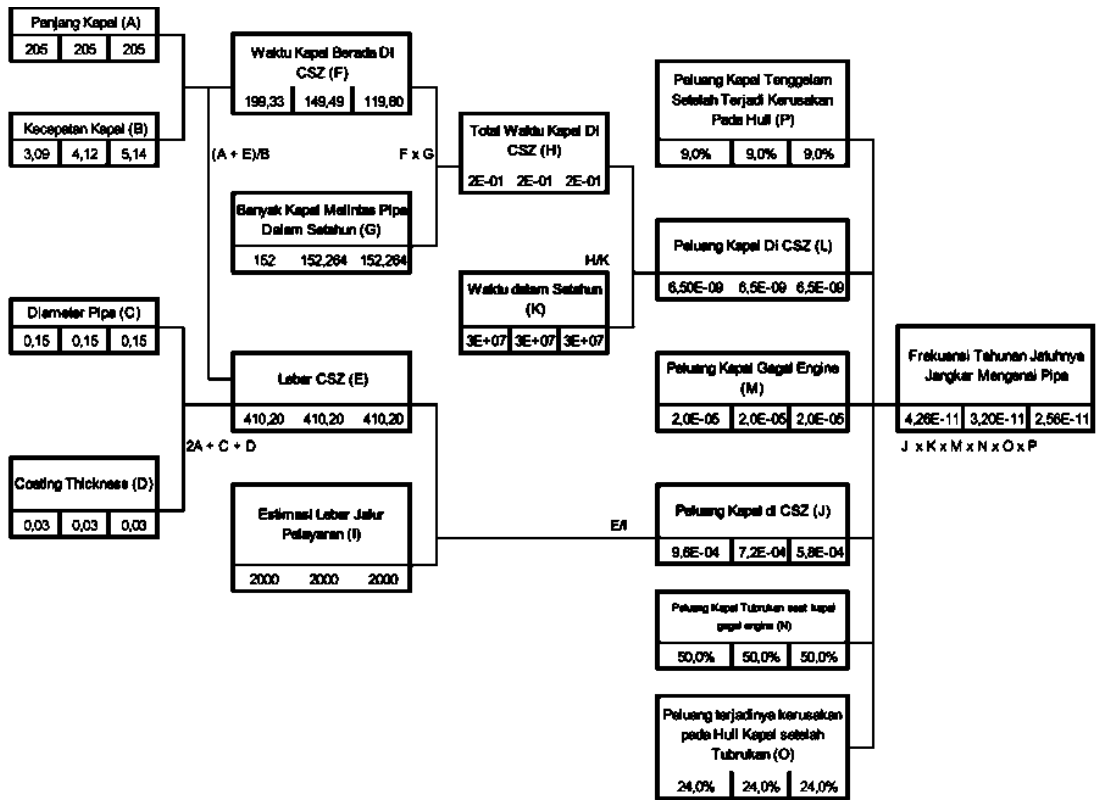
Hasil perhitungan frekuensi ini didapatkan dengan cara yang sama dengan perhitungan frekuensi skenario pertama (*Existing Scenario*). Akan tetapi data jumlah kapal yang digunakan adalah jumlah data kapal yang di perkiraan ada di 15 tahun yang akan datang. Pada tabel berikut ini adalah contoh penilaian frekuensi jatuhnya jangkar (*Ship Sinking*) pada salah satu tipe kapal yaitu kapal Tanker A terhadap pipa *condensate* (NPS6).

Tabel 4.25 *Frequency bahaya akibat ship sinking (Tanker A dan Pipa NPS6)*

No	Perhitungan	Persamaan	Keterangan	Satuan	Kecepatan Kapal		
					6 knot	8 knot	10 knot
1	A	-	Panjang Kapal	m	205	205	205
2	B	-	Kecepatan Kapal	m/s	3,08642	4,115226	5,144033
3	C	-	Diameter Pipa	m	0,1524	0,1524	0,1524
4	D	-	Tebal Lapisan Pipa (Concrete Thickness)	m	0,025	0,025	0,025
5	E	$2A + C + 2D$	Lebar CSZ (Critical Sinking Zone)	m	410,2024	410,2024	410,2024
6	F	$(A + E) / B$	Waktu Kapal berada di CSZ	s	199,3256	149,4942	119,5953
7	G	-	Banyak Kapal melintas pipa dalam setahun	-	152,2641	152,2641	152,2641
8	H	$F \times G$	Total Waktu Kapal di CADZ	s	30350,13	22762,6	18210,08
9	I	-	Estimasi Lebar Jalur Pelayaran	m	2000	2000	2000
10	J	E / I	Peluang menjatuhkan jangkar di CADZ	-	0,205101	0,205101	0,205101
11	K	-	Waktu Dalam Setahun	s	3153600 0	3153600 0	3153600 0
12	L	H / K	Peluang Kapal di CADZ	-	0,000962	0,000722	0,000577
13	M		Peluang Kapal Gagal Engine	-	0,00002	0,00002	0,00002
14	N		Peluang Kapal Tubrukan saat kapal gagal engine	-	50%	50%	50%
15	O		Peluang terjadinya kerusakan pada Hull Kapal	-	24%	24%	24%
16	P		Peluang Kapal Tenggelam Setelah Terjadi Kerusakan Pada Hull	-	9%	9%	9%
17	Q	$J \times K \times M \times N \times O \times P$	Peluang Total Kapal akan tenggelam di CSZ	-	4,26E-11	3,2E-11	2,56E-11
18	-		RANK	-	1	1	1

Seperti bisa dilihat pada tabel diatas penilaian frekuensi jatuhnya jangkar (*Dropped Anchor*) pada pipa *Condensate* (NPS6) frekuensi per tahun bahaya jatuhnya jangkar (*Dropped Anchor*) pada fasilitas pipa bawah laut masih berada dibawah nilai 10-5 untuk seluruh skenario kecepatan yang ada (6 knot, 8 knot, dan 10 knot). Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel ini, frekuensi jatuhnya jangkar (*Dropped Anchor*) kapal Tanker A pada pipa *condensate* NPS10 dapat disimpulkan berada pada rangking 1 yang mengacu pada rangking frekuensi milik DNVGL-RP-F107.

Dalam tugas akhir ini hasil perhitungan frekuensi akan di presentasikan menggunakan *event tree analysis* (ETA). *Event tree analysis* dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 4.7. ETA bahaya akibat ship sinking (Tanker A dan Pipa NPS6)

Dengan menggunakan cara penilaian frekuensi bahaya kapal tenggelam (*ship sinking*) yang sama, maka penilaian frekuensi jatuhnya jangkar dapat dilakukan pada 7 tipe kapal lainnya. Berikut dapat dilihat pada tabel dibawah ini rangkuman penilaian frekuensi kapal tenggelam (*ship sinking*) pada 3 pipa yang berbeda dan 8 tipe kapal.

Tabel 4.26 Rangkuman Frequency Ship Sinking Pada Pipa Condensate 6

No	Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Kapal berada di CADZ dan Lego Jangkar	Rank
1	TANKER A	6	4,2636E-11	1
		8	3,1977E-11	1
		10	2,55816E-11	1
2	TANKER B	6	6,08894E-11	1
		8	4,56671E-11	1
		10	3,65337E-11	1
3	TANKER C	6	2,59073E-11	1
		8	1,94305E-11	1
		10	1,55444E-11	1
4	TUGBOAT	6	2,39142E-11	1
		8	1,79356E-11	1
		10	1,43485E-11	1
5	BULK CARRIER	6	4,05823E-11	1
		8	3,04368E-11	1
		10	2,43494E-11	1
6	PASSANGER VESSEL	6	2,70413E-11	1
		8	2,0281E-11	1
		10	1,62248E-11	1
7	CONTAINER	6	1,00694E-11	1
		8	7,55207E-12	1
		10	6,04165E-12	1
8	FISHING VESSEL	6	6,37846E-12	1
		8	4,78385E-12	1
		10	3,82708E-12	1

Tabel 4.27 Rangkuman Frequency Ship Sinking Pada Pipa Condensate 8''

No	Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Kapal berada di CADZ dan Lego Jangkar	Rank
1	TANKER A	6	4,2636E-11	1
		8	3,1977E-11	1
		10	2,55816E-11	1
2	TANKER B	6	6,08894E-11	1
		8	4,56671E-11	1
		10	3,65337E-11	1
3	TANKER C	6	2,59073E-11	1
		8	1,94305E-11	1
		10	1,55444E-11	1
4	TUGBOAT	6	2,39142E-11	1
		8	1,79356E-11	1
		10	1,43485E-11	1
5	BULK CARRIER	6	4,05823E-11	1
		8	3,04368E-11	1
		10	2,43494E-11	1
6	PASSANGER VESSEL	6	2,70413E-11	1
		8	2,0281E-11	1
		10	1,62248E-11	1
7	CONTAINER	6	1,00694E-11	1
		8	7,55207E-12	1
		10	6,04165E-12	1
8	FISHING VESSEL	6	6,37846E-12	1
		8	4,78385E-12	1
		10	3,82708E-12	1

Tabel 4.28. Rangkuman Frequency Ship Sinking Pada Pipa Condensate 10”

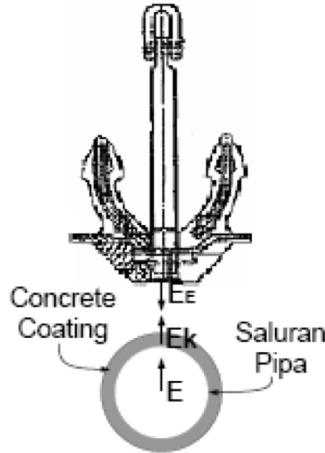
No	Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Kapal berada di CADZ dan Lego Jangkar	Rank
1	TANKER A	6	4,26455E-11	1
		8	3,19842E-11	1
		10	2,55873E-11	1
2	TANKER B	6	6,09009E-11	1
		8	4,56757E-11	1
		10	3,65406E-11	1
3	TANKER C	6	2,59126E-11	1
		8	1,94344E-11	1
		10	1,55475E-11	1
4	TUGBOAT	6	2,39338E-11	1
		8	1,79504E-11	1
		10	1,43603E-11	1
5	BULK CARRIER	6	4,05917E-11	1
		8	3,04438E-11	1
		10	2,4355E-11	1
6	PASSANGER VESSEL	6	2,70499E-11	1
		8	2,02874E-11	1
		10	1,62299E-11	1
7	CONTAINER	6	1,00735E-11	1
		8	7,5551E-12	1
		10	6,04408E-12	1
8	FISHING VESSEL	6	6,3902E-12	1
		8	4,79265E-12	1
		10	3,83412E-12	1

4.3.2 Penilaian Konsekuensi

Rangking Konsekuensi dapat didapatkan dengan melakukan penilaian konsekuensi akibat terjadinya bahaya jatuhnya jangkar (*dropped anchor*), terseret jangkar (*dragged anchor*), dan kapal tenggelam (*sinking ship*) pada fasilitas pipa bawah laut. Sebelum melakukan penilaian konsekuensi menggunakan standar DNVGL-RP-F107 dibutuhkan data – data pipa bawah laut milik Petrochina Blok Jabung seperti data spesifikasi pipa dan juga data kapal yang melewati pipa bawah laut. Setelah melakukan penilaian konsekuensi, hasil penilaian konsekuensi dilakukan rangking berdasarkan rangking konsekuensi yang ada pada standar DNVGL-RP-F107.

4.3.2.1 Penilaian Konsekuensi akibat *Dropped Anchor*

Nilai konsekuensi jatuhnya jangkar (*Dropped Anchor*) menggunakan standar DNVGL-RP-F107 pada fasilitas pipa bawah laut perlu dilakukan beberapa perhitungan yaitu sebagai berikut:

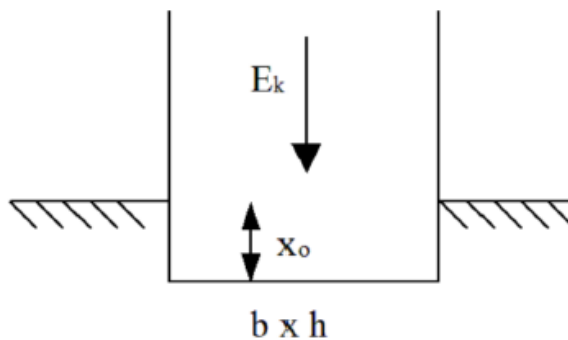


Gambar 4.8. Ilustrasi Dropped Anchor

- Ek = Energi Kinetik yang dapat diredam lapisan pelindung
- EE = Energi efektif jangkar saat membentur pipa bawah laut
- E = Besar energi yang diterima pipa dari kejatuhan jangkar

a) Concrete Coating Absorbed Energy (Ek)

Concrete coating absorbed energy merupakan nilai yang dapat ditahan oleh lapisan pipa bawah laut dari benturan akibat jangkar. Yang mana ilustrasi Concrete coating absorbed energy dapat dilihat pada gambar



Gambar 4.9. Ilustrasi Point Load

$$Ek = Y \times b \times h \times x_0 \dots \dots \dots (4.7)$$

- Y = Crushing Strength
- b = Point Load Breadth
- h = Point Load Depth
- x_0 = Concrete Coating

b) Gravel Dump and Natural Backfill (E_p)

Gravel dump and natural backfill merupakan sebuah metode untuk melindungi fasilitas pipa bawah laut. Namun pada fasilitas pipa bawah laut yang sedang ditinjau pipa bawah laut tidak terpendam, sehingga dapat diasumsikan bahwa nilai Gravel dump and natural backfill adalah 0.

c) Total Structure Absorbed Energy (E_i)

Tunnel Structure biasanya digunakan agar menahan gerakan pipa bawah laut. Struktur terowongan dapat dibuat dengan berbagai geometri dan bahan tertentu. Dengan demikian kekuatan untuk melindungi pipa bawah laut dapat bervariasi. Sehingga pada DNVGL-RP-F107 terdapat standar minimal (*at least 50 kJ*) di tabel 4-5, yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.29. Tunnel Structure (adapted from table 4-5; DNVGL-RP-F107)

<i>Tunnel structures, nearby protection structures</i>	<i>Tunnel structures are normally introduced in order not to restrain pipeline movements. Tunnel structures can be made up with a variety of geometry and material. Thus, almost any required capacity level can be obtained.</i>	<i>Varies, normally at least 50 kJ</i>
--	---	--

d) Total Absorbed Energy (T_{AE})

Setelah mengetahui nilai *Concrete coating absorbed energy*, *Gravel dump and natural backfill* dan *Total Structure Absorbed Energy* maka dapat dilakukan perhitungan nilai total absorb energy. Yang mana nilai total absorb energy adalah sebagai berikut:

$$Total\ Absorbed\ Energy = E_k + E_p + E_i \dots\dots\dots(4.8)$$

- E_k = Concrete Coating Absorbed Energy
- E_p = Gravel Dump and Natural Backfill
- E_i = Total Structure Absorbed Energy

e) Terminal Energy

Terminal energy merupakan nilai energi dari jangkar yang berpotensi jatuh pada fasilitas pipa bawah laut. Dimana rumus dalam melakukan perhitungan nilai terminal energy adalah sebagai berikut:

$$ET = \left(\frac{m \times g}{C_D \times A} \right) \times \left(\frac{m}{\rho_{water}} - V \right) \dots\dots\dots(4.9)$$

- m = Berat jangkar (kg)
- g = Kecepatan gravitasi (9.81 m/s²)
- V = Volume jangkar (m³)
- ρ_{water} = Berat jenis air laut (1025 Kg/m³)
- CD = Koefisien Drag jangkar
- A = Proyeksi luasan jangkar (m²)
- VT = Kecepatan jatuhnya jangkar (m/s)

f) Terminal Velocity

Terminal velocity merupakan nilai untuk mengetahui kecepatan benda jatuh pada air laut. Dimana rumus dalam melakukan perhitungan nilai terminal velocity adalah sebagai berikut:

$$ET = \frac{1}{2} m \times VT^2 \dots\dots\dots (4.10)$$

- M = berat jangkar (kg)
- VT = Kecepatan Benda jatuh (m/s)

g) Added Mass

Added mass merupakan nilai berat tambahan dari jangkar yang masuk ke dalam air laut. Dimana rumus dalam melakukan perhitungan nilai added mass adalah sebagai berikut:

$$ma = V \times \rho_{water} \times Ca \dots\dots\dots (4.11)$$

- V = Volume Jangkar (m³)
- ρ_{water} = Berat jenis air laut (1025 kg/m³)
- Ca = Koefisien Added Mass

h) Impact Energy (E_E)

Impact energy merupakan energi total yang berdampak pada fasilitas pipa bawah laut. Dalam melakukan perhitungan nilai impact energy ini perlu mengetahui nilai terminal energy, terminal velocity, dan added mass. Dimana rumus dalam melakukan perhitungan nilai impact energy adalah sebagai berikut:

$$EE = ET + EA \dots\dots\dots (4.12)$$

$$EE = \frac{1}{2} (m + m_a) \times VT^2 \dots\dots\dots (4.13)$$

- m = Berat Jangkar (kg)
- ma = Added mass (kg)
- VT = Terminal Velocity (m/s)

i) Effective Impact Energy

Effective Impact Energy merupakan nilai energi yang benar – benar diterima dan dapat mengakibatkan kerusakan pada fasilitas pipa bawah laut.

Dimana rumus dalam melakukan perhitungan nilai impact energy adalah sebagai berikut:

$$Effective\ Impact\ Energy = E_E - T_{AE} \dots\dots\dots (4.14)$$

- E_E = Impact Energy (kJ)
- T_{AE} = Total Absorbed Energy (kJ)

j) Damage Categories

Damage categories adalah nilai energi yang mungkin dapat berdampak kerusakan pada fasilitas pipa bawah laut. Dimana rumus dalam melakukan perhitungan nilai damage catagories adalah sebagai berikut:

$$E = 16 \times \left(\frac{2\pi}{9}\right)^{\frac{1}{2}} \times m_p \times \left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{1}{2}} \times D \times \left(\frac{\delta}{D}\right)^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (4.15)$$

- D = Outside Diameter Pipa (m)
- t = Wall Thickness (m)
- m_p = Plastic Moment (N) (0.25 x SMYS x t^2)

Nilai damage catagories ini dicari berdasarkan ranking konsekuensi yang ada pada standar DNVGL-RP-F107 menggunakan perhitungan yang sama namun pada dent/diameter yang berbeda. Pada kapal Tanker A dan Pipa Condensate (NPS10) maka didapatkan nilai damage catagories konsekuensi seperti pada tabel di bawah:

Tabel 4.30. Tabel Damage Categories Dropped Anchor

Level	Dent/Diameter	Range of Impact Energy			
Level 1	< 5%	kJ	<		1.40
Level 2	5% - 10%	kJ	1.40	-	3.96
Level 3	10% - 15%	kJ	3.96	-	7.28
Level 4	15% - 20%	kJ	7.28	-	11.21
Level 5	> 20%	kJ	11.21	>	

Berdasarkan parameter – parameter nilai yang telah didapatkan maka dapat disimpulkan bahwa penilaian konsekuensi akibat drop anchor kapal tipe Tanker A pada pipa Condensate (NPS10), berada pada ranking 5 karena energi yang diterima lebih dari 11,21 kJ. Hal ini dikarenakan nilai energi yang dapat diserap concrete coating sebesar 81.25 kJ, sedangkan nilai impact energy sebesar 395 kJ.

Tabel 4.31. Perhitungan Dropped Anchor (Tanker A dan Pipa Condensate 10")

1. Absorbed Energy**Concrete Coating Absorbed Energy (E_k)**

Y	Crushing strength	Mpa	125
b	Point load breadth	m	0,1
h	Point load depth	m	0,1
x_0	Concrete coating	mm	25
E_k	Concrete Coating Absorbed Energy	kJ	31,25

Sand Impact Absorbed Energy (E_p)

-	Anchor Breadth	m	1,012
-	Anchor Width	m	2,275
A	Anchor Projected Area	m ²	2,3023
D	Diameter Of Object	m	1,6435
G	Unit Weight of Fill Material	g	10
-	Bearing Capacity Coefficient ²⁾	Ng	137
-	Bearing Capacity Coefficient ²⁾	Nq	99
z	Penetration (Trench) Depth (z)	z	0
E_p	Concrete Coating Absorbed Energy	kJ	0,00

Tunnel Structure Absorbed Energy (E_i)

E_i	Total Structure Absorbed Energy	kJ	50,00
-------	---------------------------------	----	-------

Total Absorbed Energy

E	Total Absorbed Energy	kJ	81,25
-----	-----------------------	----	-------

2. Terminal Energy & Terminal Velocity

-	Anchor Breadth	m	1,012
-	Anchor Width	m	2,275
m	Anchor Mass	kg	8700
-	Anchor Density	kg/m ³	7850
g	Gravity	m/s ²	9,81
V	Anchor Volume	m ³	1,108280255
ρ_{water}	Density of Seawater	kg/m ³	1025
CD	Drag Coefficient	-----	0,7
A	Anchor Projected Area	m ²	2,3023
VT	Anchor Dropped Speed	m/s	9,478371308
ET	Terminal Velocity	J	390801,9236

3. Added Mass

V	Anchor Volume	m ³	1,108280255
ρ_{water}	Density of Seawater	kg/m ³	1025
Ca	Added Mass Coefficient	-----	0,1
ma	Added Mass	Kg	113,5987261

4. Impact Energy (E_E)

m	Anchor Mass	Kg	8700
ma	Added Mass	Kg	113,598726
VT	Anchor Dropped Speed	m/s	9,478371308
E_E	Impact Energy	J	395904,7512
		kJ	395,9047512

Dengan menggunakan cara penilaian konsekuensi jatuhnya jangkar (*dropped anchor*) yang sama, maka penilaian konsekuensi jatuhnya jangkar dapat dilakukan pada 8 tipe kapal dan 3 tipe pipa lainnya. Berikut dapat dilihat pada tabel di bawah rangkuman penilaian konsekuensi jatuhnya jangkar (*dropped anchor*).

Tabel 4.32 Rangkuman Konsekuensi Dropped Anchor Pada Pipa Condensate 10''

No	Type Of Vessel	Effective Energy	Rank
1	TANKER A	314,65	5
2	TANKER B	616,32	5
3	TANKER C	314,65	5
4	TUGBOAT	-58,98	1
5	BULK CARRIER	84,81	5
6	PASSANGER VESSEL	-7,52	1
7	CONTAINER	-31,65	1
8	FISHING VESSEL	---	1

Tabel 4.33 Rangkuman Konsekuensi Dropped Anchor Pada Pipa Condensate 8''

No	Type Of Vessel	Effective Energy	Rank
1	TANKER A	314,65	5
2	TANKER B	616,32	5
3	TANKER C	314,65	5
4	TUGBOAT	-58,98	1
5	BULK CARRIER	84,81	5
6	PASSANGER VESSEL	-7,52	1
7	CONTAINER	-31,65	1
8	FISHING VESSEL	---	1

Tabel 4.34 Rangkuman Konsekuensi Dropped Anchor Pada Pipa Condensate 6''

No	Type Of Vessel	Effective Energy	Rank
1	TANKER A	314,65	5
2	TANKER B	616,32	5
3	TANKER C	314,65	5
4	TUGBOAT	-58,98	1
5	BULK CARRIER	84,81	5
6	PASSANGER VESSEL	-7,52	1
7	CONTAINER	-31,65	1
8	FISHING VESSEL	---	1

4.3.2.2 Penilaian Konsekuensi akibat *Dragged Anchor*

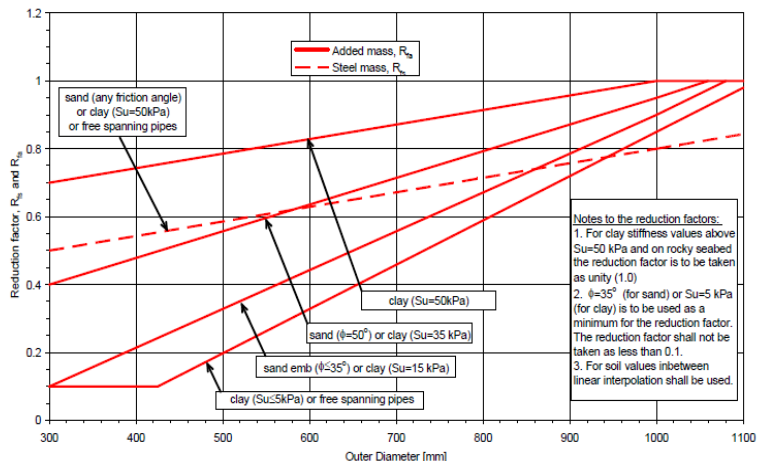
Dalam penilaian risiko ini energi yang diterima pipa akibat terseret jangkar akan dihitung, seperti energi akibat dari *impact load*, *pull overload* dan *hooking load*. Kemudian dihitung energi yang dihasilkan oleh mesin kapal dan rantai jangkar. Pada perhitungan energi tarikan kapal dilakukan dua perhitungan, yaitu diasumsikan dengan menggunakan daya *engine* kapal dan daya dari *windlass*. Untuk perhitungan *pull-over* kecepatan dari kapal divariasikan pada kecepatan 2 knot, 4 knot dan 6 knot.

a) Impact

Tabel 4.35 Impact Calculation

Impact Calculation		
Hydrodynamic Mass	=	18618 kg
$m_a = 2.14 \times m_t$		
Bending Stiffness, k_b	=	10 MN/m
Impact Velocity Coefficient, C_h	=	0,85
Steel Mass Associated, R_{fs}	=	1
Added Mass Associated, R_{fa}	=	1
Pipe Wall Thickness, t	=	0,00711
Kecepatan	=	2 Knot /1.03 m/s

Pada DNV-RP-F111 memberikan persamaan untuk menghitung energi yang dihasilkan oleh hydrodynamics added mass.



Gambar 4.10 hydrodynamics added mass

Untuk energi yang diserap selama *impact* terjadi dapat dihitung dengan persamaan bawah ini (DNV-RP-F111, Eq. 3.1):

$$E_s = R_{fs} \times \frac{1}{2} \times m_t (C_h \times V)^2 \dots\dots\dots (4.16)$$

E_s = Energi tubrukan (kJ)
 R_{fs} = Masa baja terkait
 m_t = Masa baja jangkar (kg)
 C_h = Koefisien kecepatan
 V = Kecepatan (m/s)

$$E_s = 1 \times \frac{1}{2} \times 8700 (0,85 \times 1,03)^2$$

$$E_s = 3327,028 \text{ Joule}$$

$$E_s = 3,327 \text{ KJ}$$

Untuk gaya *impact* yang disebabkan oleh *hydrodynamics added mass* dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini (DNV-RP-F111, Eq. 3.2):

$$F_b = C_h \times V \times \sqrt{m_a \times k_b} \dots\dots\dots (4.17)$$

F_b = Gaya tubrukan (N)
 C_h = Koefisien kecepatan
 V = Kecepatan (m/s)
 m_a = Masa hidrodinamik jangkar (kg)
 k_b = Kekuatan lentur jangkar (M N/m)

$$F_b = 0,85 \times 1,03 \times \sqrt{18618 \times 10}$$

$$F_b = 377,355 \text{ N}$$

Dimana absorbed energy of hydrodynamic mass dibatasi oleh energi maksimum yang ada. Untuk perhitungannya dapat dilihat pada persamaan di bawah ini (DNV-RP-F111, Eq. 3.3):

$$E_a = R_{fa} \times \frac{2(F_b)^3}{75 \times f_y^2 \times t^3} \leq \frac{1}{2} m_a (C_h \times v)^2 \dots\dots\dots (4.18)$$

E_a = Energi tubrukan tambahan masa hidrodinamik
 R_{fa} = Masa tambahan asosiasi
 F_b = Gaya akibat tubrukan (kN)
 C_h = Koefisien kecepatan
 V = Kecepatan (m/s)
 m_a = Masa hidrodinamik jangkar (kg)
 f_y = SMYS (N/m²)

$$E_a = 3,10158E - 05 \text{ Joule} \leq 7119,84 \text{ Joule}$$

$$E_a = 3,10158E - 08 \text{ KJ} \leq 7,12 \text{ KJ}$$

Maka *absorbed* energi diambil dari nilai yang terbesar diantara E_s dan E_a .

b) **Pull – Over**

Tabel 4.36 Pull Over Calculation

Parameter	Value	Unit
Water Depth	24	m
Span Height	0	m
Trawl Height	1,634	m
Warp Line Diameter	32	mm
Pull Over Coefficient	2	
Drag Coefficient	0,65	
Added Mass Coefficient	0,1	
Axial Friction Coefficient	0,4	
Lateral Friction Coefficient	0,6	
Load Effect Factor	1,1	
Condition Load Effective factor	1,07	

Untuk *dimensionless height* dihitung dengan persamaan di bawah ini:
(DNV-RP-F111, Eq. 4.6)

$$\bar{H} = \frac{H_{sp} + OD/2 + 0.2}{B} \dots\dots\dots(4.19)$$

- H = Dimensi Tinggi (m)
- H_{sp} = Tinggi span (jarak pipa ke dasar laut)
- OD = Diameter pipa keseluruhan (m)
- B = Setengah dari tinggi (m)

$$\bar{H} = \frac{0 + 0,1774/2 + 0.2}{0,817}$$

$$\bar{H} = 0,35$$

Untuk *empirical force coefficient* dihitung dengan persamaan di bawah ini (DNV-RP-F111, Eq. 4.4)

$$CF = 8.0 \times (1 - e^{-0.8\bar{H}}) \dots\dots\dots(4.20)$$

C_F = Koefisien gaya empiris

$$CF = 8.0 \times (1 - e^{-0.8 \times 0,35})$$

$$CF = 2,58$$

Untuk *warp line stiffness* dapat dihitung dengan persamaan seperti di bawah ini (DNV-RP-F111, Eq. 4.9):

$$kw = \frac{3.5 \times 10^7}{L_w} (N/m) \dots\dots\dots(4.21)$$

kw = Warp line stiffness (N/m)

L_w = Warp line length (m)

$$kw = \frac{3.5 \times 10^7}{84} (N/m)$$

$$kw = 416667 N/m$$

$$kw = 417 KN/m$$

Untuk *maksimum pull-over force* dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini (DNV-RP-F111, Eq. 4.3)

$$F_p = C_f \times V \times (m_t \times k_w)^{1/2} \dots\dots\dots (4.22)$$

F_p = Gaya tarikan maksimum (kN)

C_f = Koefisien gaya empiris

V = Kecepatan (m/s)

k_w = *Warp line stiffness* (N/m)

m_t = Masa baja jangkar (kg)

$$F_p = 2,58 \times 1,03 \times (8700 \times 416667)^{1/2}$$

$$F_p = 159606,6802 \text{ N}$$

Untuk *corresponding maximum downward acting force* dapat dihitung dengan persamaan DNV-RP-F111, Eq.4.10) seperti di bawah ini.

$$F_z = F_p(0.2 + 0.8 \times e^{-2.5\bar{H}}) \dots\dots\dots (4.23)$$

$$F_z = 159,61(0.2 + 0.8 \times e^{-2.5 \times 0,35})$$

$$F_z = 84,70 \text{ kN}$$

Untuk *pull-over duration* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (DNV-RP-F111, Eq. 4.20) seperti di bawah ini.

$$T_p = C_T \times C_F \left(\frac{m_t}{k_w} \right)^{1/2} + \frac{\delta_p}{V} \dots\dots\dots (4.24)$$

Untuk *pull-over duration* dapat diambil dengan waktu jatuh dari trawl boards/ anchor (DNV-RP-F111).

$$T_p = 0,6 \text{ s}$$

Maka besarnya energi yang bekerja pada saat *pull-over* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan seperti di bawah ini.

$$E = Fz \times S \dots\dots\dots (4.25)$$

Dimana :

$$S = V \times t$$

$$S = 1,03 \times 0,6$$

$$S = 0,617328$$

$$E = 84702,48 \times 0,617328$$

$$E = 52,29 \text{ KJ}$$

c) **Hooking**

Untuk maksimum *lifting height* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (DNV-RP-F111, Eq.5.4) sebagaimana dijelaskan di bawah ini:

$$H_l = 0.7B - 0.3OD \dots\dots\dots (4.26)$$

$$H_t = 0.7(B) - 0.3(D)$$

$$H_t = 0,51868$$

Maka besarnya energi yang bekerja pada saat *hooking* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan seperti di bawah ini.

$$E = E_p + E_k$$

$$E = (m_a \times g \times H_t) + (0.5m_a \times v^2) \dots \dots \dots (4.27)$$

$$E = (18618 \times 9,81 \times 0,51868) + (0.518618 \times 1,03^2)$$

$$E = 104587,51 \text{ Joule}$$

$$E = 104,59 \text{ KJ}$$

Karena energi yang bekerja pada jangkar terhadap pipa merupakan gabungan antara *impact*, *pull-over*, dan *hooking* maka total energinya merupakan penjumlahan dari ketiganya seperti pada persamaan di bawah ini.

$$E \text{ Anchor Total} = E \text{ impact} + E \text{ pull-over} + E \text{ hooking} \dots \dots \dots (4.28)$$

$$E \text{ Anchor Total} = 164,00 \text{ KJ}$$

Pada perhitungan konsekuensi akibat *Dragged Anchor*, jalur pipa diasumsikan terseret oleh jangkar, dimana energi yang dihitung berdasarkan besarnya *impact* terhadap pipa, *hooking* dan *pull-over*. Kemudian untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat diperlukan perhitungan terhadap besarnya energi *thrust* yang dihasilkan oleh mesin utama kapal dan *windlass* yang digunakan pada kapal tersebut.

d) Analisis Besarnya Gaya akibat Thrust Kapal

Dalam perhitungan energi yang dihasilkan oleh kapal yang digunakan untuk menarik jangkar dilakukan dua perhitungan. Perhitungan yang pertama menggunakan daya engine kapal dan yang kedua menggunakan daya *windlass*. Berikut adalah tahapan-tahapan untuk menghitung besarnya *thrust* kapal dengan menggunakan persamaan berikut:

$$T = \frac{R}{(1-t)} \dots \dots \dots (4.29)$$

Dimana nilai didapatkan dengan cara cara menghitung daya kapal BHP MCR sehingga dapat didapatkan besarnya gaya *thrust*:

Tabel 4.37 Parameter Thrust Kapal

Parameter		Units
Cp	=	0,82
t	=	0.5 Cp - 0.12 0,29
Cb	=	0,82
w	=	0.5 Cb - 0.05 0,36
V drag	=	1,03 m/s
Lpp	=	205 m
Lwl	=	213,2 m
B	=	29 m
T	=	16 m
H	=	18 m
Vs	=	14 Knot
		Hull Efficiency
η_H	=	$(1 - t)/(1-w)$ 1,109375
		Relative Rotative Efficiency
η_{rr}	=	1,05
η_p	=	0,6
PC	=	0,70

$$PB\ SCR = PB\ MCR \times 0.85$$

$$SHP = PB\ SCR \times 0,98$$

$$DHP = SHP \times 0,98$$

$$t\ standard = 0,5CP - 0,12CP\ (single\ propeller)$$

$$CP = \left(\frac{Volume\ Displacement}{L \times B \times T \times C_m} \right)$$

$$= \left(\frac{L \times B \times T \times C_b}{L \times B \times T \times C_m} \right)$$

$$= \frac{C_b}{C_m}$$

$$W\ (C_b=0,61) = 0.243$$

$$PC = \eta_H \times \eta_{rr} \times \eta_p$$

$$\eta_H = hull\ efficiency$$

$$= \frac{(1-t)}{(1-w)}$$

$$\eta_{rr} = relative\ rotative\ efficiency$$

$$= 1.04$$

$$\eta_p = propulsive\ efficiency$$

$$= 0.6$$

$$EHP = DHP \times PC$$

$$EHP = R \times V_s$$

$$R = \frac{EHP}{V_s}$$

Tabel 4.38. Parameter Engine Power

Parameter	Value	Units
Engine Power	= 14000	KW
	= 10444	HP
BHP MCR	= 10444	HP
BHP SCR	= BHP MCR x 0.85	
	= 8877,4	HP
SHP	= BHP SCR x 0.98	
	= 8699,85	HP
DHP	= SHP x 0.98	
	= 8525,85	HP
	= DHP x Pc	
EHP	= 5958,77	HP
	= 7987,63	KW
Tahanan (R)	= EHP/Vs	
	= 1109,15	KN

$$T = \frac{1109,15}{(1 - 0,29)}$$

$$T = 1562,18$$

$$E Thrust (Engine) = 1562,18 (0,600)$$

$$E Thrust (Engine) = 937,31 KJ$$

Setelah menghitung daya kapal sehingga didapatkan besar daya thrust kapal, diperlukan perhitungan daya yang bekerja pada rantai. Analisis perhitungan besarnya gaya yang bekerja pada Rantai

$$F Rantai = T = \frac{T_V}{\sin \theta} \dots \dots \dots (4.30)$$

Tabel 4.39. Parameter Anchor

Parameter	Value	Units
Anchor Weight	= 1140	Kg
Length of chain	= 50	m
Chain Diameter	= 34	mm
	= 0,023 x (dc) ²	
Chain weight (ML)	= 26,59	Kg/m
	= 1329,4	Kg
	= m x g	
Mass of chain	= 13041,414	N
Sin 45	= 0,851	

$$T = \frac{13041,414}{0,851}$$

$$T = 15326,55 \text{ Nv}$$

Maka besarnya energi yang bekerja pada rantai jangkar dapat dihitung dengan persamaan seperti di bawah ini.

$$E = T \cdot s \dots\dots\dots (4.31)$$

$$E \text{ chain} = 15326,55 \cdot 0,6$$

$$E \text{ chain} = 9195,929003 \text{ J}$$

$$E \text{ chain} = 9,2 \text{ KJ}$$

e) Total Gaya Terhadap Pipa

Jadi total energi yang bekerja terhadap pipa dapat dihitung dengan persamaan seperti dibawah ini.

$$E \text{ total} = E \text{ Anchor} + E \text{ thrust kapal} + E \text{ Anchor Chain}$$

$$E \text{ total} = 1110,50 \text{ KJ}$$

Setelah dilakukan perhitungan seperti diatas maka didapatkan energi yang diterima pipa akibat *dragged anchor* yang bekerja sebesar 1110,50 KJ untuk kelompok kapal Tanker A pada kecepatan 2 knot dan Pipa NPS6 Untuk hasil perhitungan dengan variasi kecepatan dan variasi kapal dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.40. Rangkuman Konsekuensi Dragged Anchor Pada Pipa 6''

No	Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Effective Energy	Rank
1	TANKER A	2	1110,50	5
		4	1318,29	5
		6	1664,61	5
2	TANKER B	2	1309,71	5
		4	1576,23	5
		6	2020,44	5
3	TANKER C	2	1110,50	5
		4	1318,29	5
		6	1664,61	5
4	TUGBOAT	2	119,42	5
		4	178,45	5
		6	276,85	5
5	BULK CARRIER	2	1058,47	5
		4	1199,46	5
		6	1434,44	5
6	PASSANGER VESSEL	2	520,36	5
		4	619,08	5
		6	783,62	5
7	CONTAINER	2	400,81	5
		4	485,24	5
		6	625,96	5
8	FISHING VESSEL	2	---	1
		4	---	1
		6	---	1

Tabel 4.41. Rangkuman Konsekuensi Dragged Anchor Pada Pipa 8''

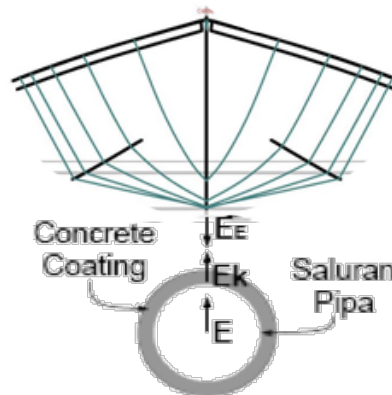
No	Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Effective Energy	Rank
1	TANKER A	2	1108,81	5
		4	1319,87	5
		6	1671,65	5
2	TANKER B	2	1306,91	5
		4	1577,42	5
		6	2028,27	5
3	TANKER C	2	1108,81	5
		4	1319,87	5
		6	1671,65	5
4	TUGBOAT	2	119,47	5
		4	179,61	5
		6	279,86	5
5	BULK CARRIER	2	1057,79	5
		4	1201,16	5
		6	1440,11	5
6	PASSANGER VESSEL	2	520,15	5
		4	620,62	5
		6	788,09	5
7	CONTAINER	2	400,72	5
		4	486,68	5
		6	629,94	5
8	FISHING VESSEL	2	---	1
		4	---	1
		6	---	1

Tabel 4.42 Rangkuman Konsekuensi Dragged Anchor Pada Pipa 10''

No	Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Effective Energy	Rank
1	TANKER A	2	1106,87	5
		4	1320,45	5
		6	1676,44	5
2	TANKER B	2	1303,81	5
		4	1577,39	5
		6	2033,36	5
3	TANKER C	2	1106,87	5
		4	1320,45	5
		6	1676,44	5
4	TUGBOAT	2	119,43	5
		4	180,44	5
		6	282,11	5
5	BULK CARRIER	2	1056,93	5
		4	1202,13	5
		6	1444,14	5
6	PASSANGER VESSEL	2	519,80	5
		4	621,63	5
		6	791,35	5
7	CONTAINER	2	400,50	5
		4	487,64	5
		6	632,87	5
8	FISHING VESSEL	2	---	1
		4	---	1
		6	---	1

4.3.2.3 Penilaian Konsekuensi akibat *Ship Sinking*

Nilai konsekuensi akibat tumbukan lambung kapal dengan pipa bawah laut (*Ship Sinking*) menggunakan standar DNVGL-RP-F107 pada fasilitas pipa bawah laut perlu dilakukan beberapa perhitungan yaitu sebagai berikut:

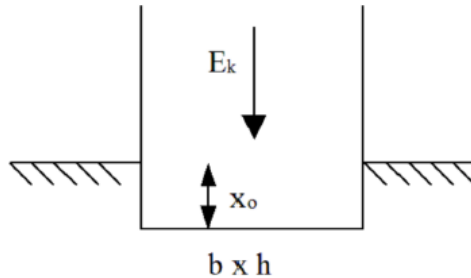


Gambar 4.11. Ilustrasi Ship Sinking

- Ek = Energi Kinetik yang dapat diredam lapisan pelindung
- EE = Energi efektif jangkar saat membentur pipa bawah laut
- E = Besar energi yang diterima pipa dari kejatuhan jangkar

a) Concrete Coating Absorbed Energy (E_k)

Concrete coating absorbed energy merupakan nilai yang dapat ditahan oleh lapisan pipa bawah laut dari benturan akibat jangkar. Yang mana ilustrasi Concrete coating absorbed energy dapat dilihat pada gambar



Gambar 4.12. Ilustrasi Point Load

$$E_k = Y \times b \times h \times x_0 \dots\dots\dots(4.32)$$

- Y = Crushing Strength
- b = Point Load Breadth
- h = Point Load Depth
- x_0 = Concrete Coating

b) Gravel Dump and Natural Backfill (E_p)

Gravel dump and natural backfill merupakan sebuah metode untuk melindungi fasilitas pipa bawah laut. Namun pada fasilitas pipa bawah laut yang sedang ditinjau pipa bawah laut tidak terpendam, sehingga dapat diasumsikan bahwa nilai Gravel dump and natural backfill adalah 0.

c) Total Structure Absorbed Energy (E_i)

Tunnel Structure biasanya digunakan agar menahan gerakan pipa bawah laut. Struktur terowongan dapat dibuat dengan berbagai geometri dan bahan tertentu. Dengan demikian kekuatan untuk melindungi pipa bawah laut dapat bervariasi. Sehingga pada DNVGL-RP-F107 terdapat standar minimal (*at least 50 kJ*) di tabel 4-5, yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.43. Tunnel Structure (table 4-5; DNVGL-RP-F107)

Tunnel structures, nearby protection structures	Tunnel structures are normally introduced in order not to restrain pipeline movements. Tunnel structures can be made up with a variety of geometry and material. Thus, almost any required capacity level can be obtained.	Varies, normally at least 50 kJ
---	--	---------------------------------

d) Total Absorbed Energy (T_{AE})

Setelah mengetahui nilai *Concrete coating absorbed energy*, *Gravel dump and natural backfill* dan *Total Structure Absorbed Energy* maka dapat dilakukan perhitungan nilai total absorb energy. Yang mana nilai total absorb energy adalah sebagai berikut:

$$Total\ Absorbed\ Energy = Ek + Ep + Ei \dots \dots \dots (4.33)$$

e) Terminal Energy

Terminal energy merupakan nilai energi dari jangkar yang berpotensi jatuh pada fasilitas pipa bawah laut. Dimana rumus dalam melakukan perhitungan nilai terminal energy adalah sebagai berikut:

$$ET = \left(\frac{m \times g}{C_D \times A} \right) \times \left(\frac{m}{\rho_{water}} - V \right) \dots \dots \dots (4.34)$$

- m = Berat kapal (kg)
- g = Kecepatan gravitasi (9.81 m/s²)
- V = Volume kapal (m³)
- ρ_{water} = Berat jenis air laut (1025 Kg/m³)
- CD = Koefisien Drag
- A = Proyeksi luasan kapal (m²)
- VT = Kecepatan jatuhnya kapal (m/s)

f) Terminal Velocity

Terminal velocity merupakan nilai untuk mengetahui kecepatan benda jatuh pada air laut. Dimana rumus dalam melakukan perhitungan nilai terminal velocity adalah sebagai berikut:

$$ET = \frac{1}{2} m \times V_T^2 \dots \dots \dots (4.35)$$

- M = berat Kapal (kg)
- VT = Kecepatan Benda jatuh (m/s)

g) Added Mass

Added mass merupakan nilai berat tambahan dari jangkar yang masuk ke dalam air laut. Dimana rumus dalam melakukan perhitungan nilai added mass adalah sebagai berikut:

$$ma = V \times \rho_{water} \times Ca \dots \dots \dots (4.36)$$

- V = Volume Kapal (m³)
- ρ_{water} = Berat jenis air laut (1025 kg/m³)
- Ca = Koefisien Added Mass

h) Impact Energy (E_E)

Impact energy merupakan energi total yang berdampak pada fasilitas pipa bawah laut. Dalam melakukan perhitungan nilai impact energy ini perlu mengetahui nilai terminal energy, terminal velocity, dan added mass. Dimana rumus dalam melakukan perhitungan nilai impact energy adalah sebagai berikut:

$$EE = ET + EA \dots\dots\dots(4.37)$$

$$EE = \frac{1}{2} (m + m_a) \times V_T^2 \dots\dots\dots(4.38)$$

- m* = Berat Kapal (kg)
- ma* = Added mass (kg)
- VT* = Terminal Velocity (m/s)

i) Effective Impact Energy

Effective Impact Energy merupakan nilai energi yang benar – benar diterima dan dapat mengakibatkan kerusakan pada fasilitas pipa bawah laut. Dimana rumus dalam melakukan perhitungan nilai impact energy adalah sebagai berikut:

$$Effective\ Impact\ Energy = E_E - T_{AE} \dots\dots\dots(4.39)$$

- E_E* = Impact Energy (kJ)
- T_{AE}* = Total Absorbed Energy (kJ)

j) Damage Categories

Damage categories adalah nilai energi yang mungkin dapat berdampak kerusakan pada fasilitas pipa bawah laut. Dimana rumus dalam melakukan perhitungan nilai damage catagories adalah sebagai berikut:

$$E = 16 \times \left(\frac{2\pi}{9}\right)^{\frac{1}{2}} \times m_p \times \left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{1}{2}} \times D \times \left(\frac{\delta}{D}\right)^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots(4.40)$$

- D* = Outside Diameter Pipa (m)
- t* = Wall Thickness (m)
- m_p* = Plastic Moment (N) (0.25 x SMYS x t²)

Nilai damage catagories ini dicari berdasarkan ranking konsekuensi yang ada pada standar DNVGL-RP-F107 menggunakan perhitungan yang sama namun pada dent/diameter yang berbeda. Pada kapal Tanker A dan Pipa Condensate (NPS10) maka didapatkan nilai damage catagories konsekuensi seperti pada tabel dibawah:

Level	Dent/Diameter	Range of Impact Energy			
Level 1	< 5%	kJ	<		1.40
Level 2	5% - 10%	kJ	1.40	-	3.96
Level 3	10% - 15%	kJ	3.96	-	7.28
Level 4	15% - 20%	kJ	7.28	-	11.21
Level 5	> 20%	kJ	11.21	>	

Berdasarkan parameter – parameter nilai yang telah didapatkan maka dapat disimpulkan bahwa penilaian konsekuensi akibat *ship sinking* kapal tipe Tanker A pada pipa Condensate (NPS10), berada pada ranking 5 karena energi yang diterima lebih dari

11,21 kJ. Hal ini dikarenakan nilai energi yang dapat diserap concrete coating sebesar 13100 kJ, sedangkan nilai impact energy sebesar 5449300 kJ.

Tabel 4.45 Tabel Perhitungan Dropped Anchor (Tanker A dan Pipa Condensate 10")

<i>Y</i>	<i>Crushing strength</i>	<i>Mpa</i>	120
<i>b</i>	<i>Point load breadth</i>	<i>m</i>	29
<i>h</i>	<i>Point load depth</i>	<i>m</i>	0,15
<i>x₀</i>	<i>Concrete coating</i>	<i>mm</i>	25
<i>Ek</i>	<i>Concrete Coating Absorbed Energy</i>	<i>kJ</i>	13050
Sand Impact Absorbed Energy (Ep)			
-	<i>Vessel Length</i>	<i>m</i>	205
-	<i>Vessel Breadth</i>	<i>m</i>	29
<i>A</i>	<i>Anchor Projected Area</i>	<i>m²</i>	5700
<i>D</i>	<i>Diameter Of Object</i>	<i>m</i>	117
<i>G</i>	<i>Unit Weight of Fill Material</i>	<i>g</i>	10
-	<i>Bearing Capacity Coefficient</i>	<i>Ng</i>	137
-	<i>Bearing Capacity Coefficient</i>	<i>Nq</i>	99
<i>z</i>	<i>Penetration (Trench) Depth (z)</i>	<i>z</i>	0
<i>Ep</i>	<i>Concrete Coating Absorbed Energy</i>	<i>kJ</i>	0,00
Tunnel Structure Absorbed Energy (Ei)			
<i>Ei</i>	<i>Total Structure Absorbed Energy</i>	<i>kJ</i>	50,00
Total Absorbed Energy			
<i>E</i>	<i>Total Absorbed Energy</i>	<i>kJ</i>	13100,00
2. Terminal Energy & Terminal Velocity			
<i>m</i>	<i>Vessel Mass</i>	<i>kg</i>	73123500
	<i>Vessel Density</i>	<i>kg/m³</i>	2079
<i>g</i>	<i>Gravity</i>	<i>m/s²</i>	9,81
<i>V</i>	<i>Vessel Volume</i>	<i>m³</i>	35172,43867
<i>ρ_{water}</i>	<i>Density of Seawater</i>	<i>kg/m³</i>	1025
<i>CD</i>	<i>Drag Coefficient</i>	----	1
<i>L</i>	<i>Vessel Length</i>	<i>m</i>	190
<i>B</i>	<i>Vessel Breadth</i>	<i>m</i>	30
<i>A</i>	<i>Vessel Projected Area</i>	<i>m²</i>	5700
<i>VT</i>	<i>Anchor Dropped Speed</i>	<i>m/s</i>	11,1576231
<i>ET</i>	<i>Terminal Velocity</i>	<i>J</i>	4551665607
		<i>kJ</i>	4551665,607
3. Added Mass			
<i>V</i>	<i>Vessel Volume</i>	<i>m³</i>	35172,43867
<i>ρ_{water}</i>	<i>Density of Seawater</i>	<i>kg/m³</i>	1025
<i>C_a</i>	<i>Added Mass Coefficient</i>	----	0,4
<i>ma</i>	<i>Added Mass</i>	<i>Kg</i>	14420699,86
4. Impact Energy (EE)			
<i>m</i>	<i>Vessel Mass</i>	<i>Kg</i>	73123500
<i>ma</i>	<i>Added Mass</i>	<i>Kg</i>	14420699,9
<i>VT</i>	<i>Vessel Dropped Speed</i>	<i>m/s</i>	11,1576231
<i>E_E</i>	<i>Impact Energy</i>	<i>J</i>	5449300479
		<i>kJ</i>	5449300,479

Dengan menggunakan cara penilaian konsekuensi tenggelamnya kapal (*ship sinking*) yang sama, maka penilaian konsekuensi jatuhnya jangkar dapat dilakukan pada 8 tipe kapal dan 3 tipe pipa lainnya. Berikut dapat dilihat pada tabel di bawah rangkuman penilaian konsekuensi jatuhnya tenggelamnya kapal (*ship sinking*).

Tabel 4.46 Rangkuman Konsekuensi Ship Sinking Pada Pipa Condensate 10”

No	Type Of Vessel	Effective Energy	Rank
1	TANKER A	5436200,48	5
2	TANKER B	16701215,98	5
3	TANKER C	6047589,02	5
4	TUGBOAT	6976,98	5
5	BULK CARRIER	1060145,19	5
6	PASSANGER VESSEL	221050,31	5
7	CONTAINER	89169,54	5
8	FISHING VESSEL	-2628,04	1

Tabel 4.47 Rangkuman Konsekuensi Ship Sinking Pada Pipa Condensate 8”

No	Type Of Vessel	Effective Energy	Rank
1	TANKER A	5436200,48	5
2	TANKER B	16701215,98	5
3	TANKER C	6047589,02	5
4	TUGBOAT	6976,98	5
5	BULK CARRIER	1060145,19	5
6	PASSANGER VESSEL	221050,31	5
7	CONTAINER	89169,54	5
8	FISHING VESSEL	-2628,04	1

Tabel 4.48 Rangkuman Konsekuensi Ship Sinking Pada Pipa Condensate 6”

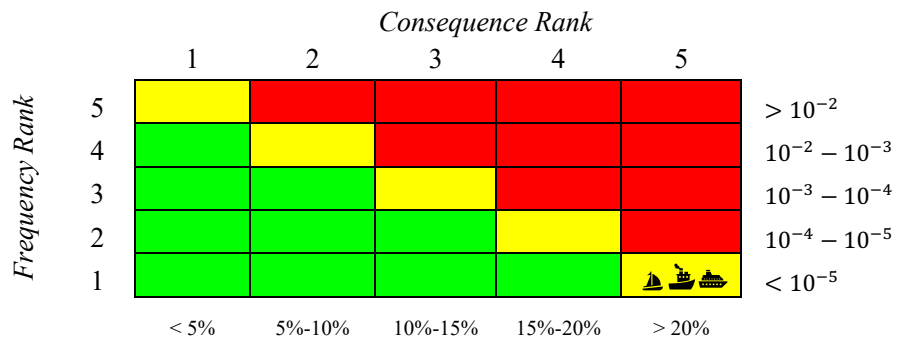
No	Type Of Vessel	Effective Energy	Rank
1	TANKER A	5436200,48	5
2	TANKER B	16701215,98	5
3	TANKER C	6047589,02	5
4	TUGBOAT	6976,98	5
5	BULK CARRIER	1060145,19	5
6	PASSANGER VESSEL	221050,31	5
7	CONTAINER	89169,54	5
8	FISHING VESSEL	-2628,04	1

4.4 Matriks Risiko

Setelah melakukan perhitungan dan mendapatkan rangking frekuensi dan konsekuensi akibat *Dropped Anchor*, *Dragged Anchor* dan *Ship Sinking* menggunakan standar DNVGL-RP-F107, langkah selanjutnya adalah menggabungkan rangking frekuensi dan konsekuensi yang ada ke dalam *risk matrix* 5 x 5. Setelah memasukkan rangking frekuensi dan konsekuensi ke dalam *risk matrix* maka dapat diketahui risiko bahaya pada pipa bawah laut akibat bahaya – bahaya yang mungkin terjadi.

Apabila risiko berada pada zona *acceptable* maka tidak perlu dilakukan upaya mitigasi namun perlu dilakukan upaya inspeksi secara berkala. Apabila risiko berada pada zona ALARP boleh dilakukan upaya mitigasi namun tidak wajib dilakukan. Apabila risiko berada pada zona *not acceptable* maka perlu dilakukan upaya mitigasi untuk mengurangi nilai frekuensi dan konsekuensi sehingga setelah dilakukan mitigasi, risiko dapat berada pada zona *acceptable*.

4.4.1 Risk Matrix akibat Dropped Anchor pada Kapal Tanker A dan Pipa Condensate (NPS10) Existing Condition



Gambar 4.13 Risk Matrix Dropped Anchor Tanker A dan Pipa NPS 10 Existing Condition

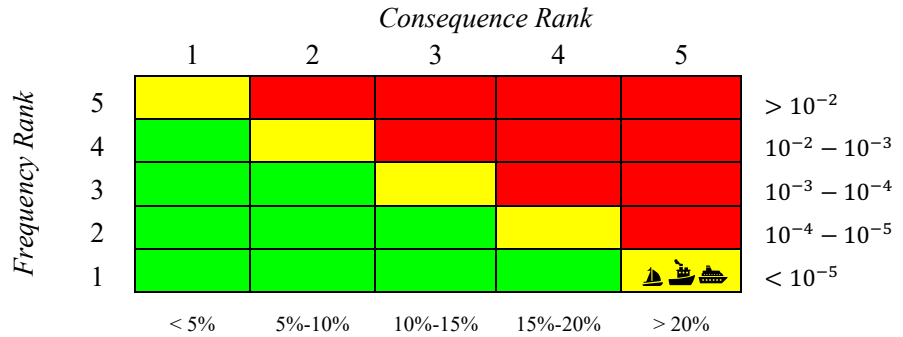
Pada risk matrix akibat *Dropped Anchor* ini pipa bawah laut dilakukan pembacaan pada risk matrix didapatkan bahwa pada tipe kapal Tanker A dan pipa *Condensate* (NPS10) berada pada tingkat risiko kategori ALARP. Dimana keterangan kecepatan pada *risk matrix* akibat *Dropped Anchor* ini dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

 = Vessel Speed 0,25 kn

 = Vessel Speed 0,5 kn

 = Vessel Speed 0,75 kn

4.4.2 Risk Matrix akibat Draggged Anchor pada Kapal Tanker A dan Pipa Condensate (NPS10) Existing Condition.

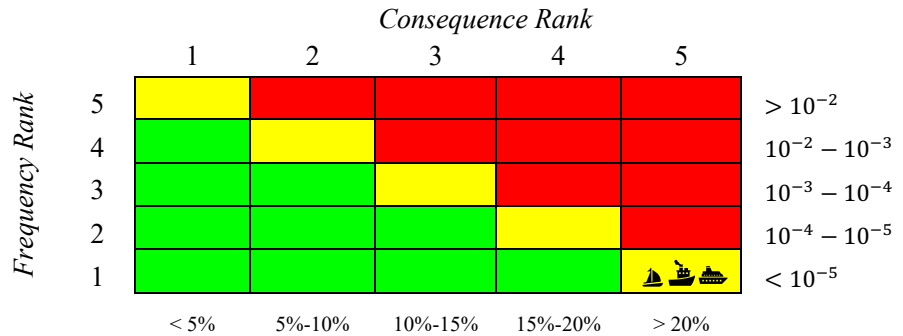


Gambar 4.14 Risk Matrix Draggged Anchor Tanker A dan Pipa NPS 10 Existing Condition

Pada *risk matrix* akibat Draggged Anchor ini pipa bawah laut dilakukan pembacaan pada risk matrix didapatkan bahwa pada tipe kapal Tanker A dan pipa Condensate (NPS10) berada pada tingkat risiko kategori ALARP. Dimana keterangan kecepatan pada *risk matrix* akibat Ship Sinking ini dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

- = Vessel Speed 2 kn
- = Vessel Speed 4 kn
- = Vessel Speed 6kn

4.4.3 Risk Matrix akibat Ship Sinking pada Kapal Tanker A dan Pipa Condensate (NPS10) Existing Condition

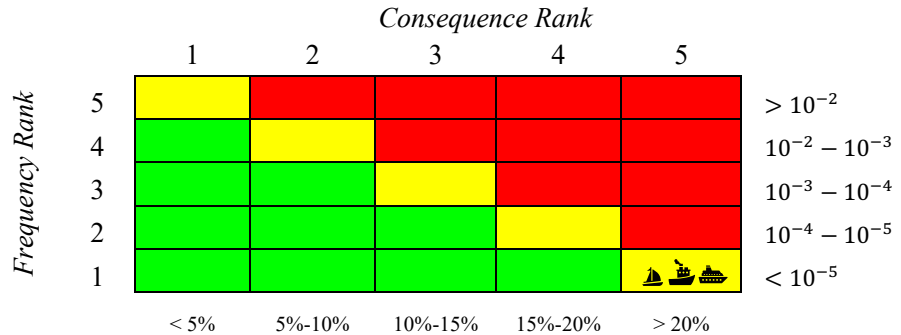


Gambar 4.15 Risk Matrix Ship Sinking Tanker A dan Pipa NPS 10 Existing Condition

Pada *risk matrix* akibat Ship Sinking ini pipa bawah laut dilakukan pembacaan pada risk matrix didapatkan bahwa pada tipe kapal Tanker A dan pipa Condensate (NPS10) berada pada tingkat risiko kategori ALARP. Dimana keterangan kecepatan pada *risk matrix* akibat Ship Sinking ini dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

- = Vessel Speed 0,25 kn
- = Vessel Speed 0,5 kn
- = Vessel Speed 0,75 kn

4.4.4 Risk Matrix akibat Dropped Anchor pada Kapal Tanker A dan Pipa Condensate (NPS10) Future Condition



Gambar 4.16 Risk Matrix Dropped Anchor Tanker A dan Pipa NPS 10 Future Condition

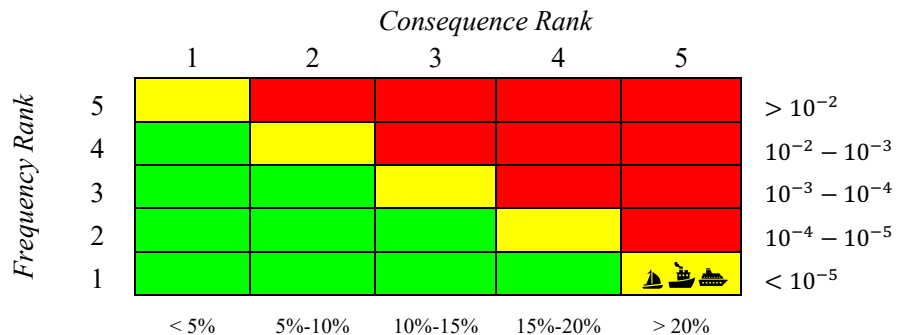
Pada risk matrix akibat Dropped Anchor ini pipa bawah laut dilakukan pembacaan pada risk matrix didapatkan bahwa pada tipe kapal Tanker A dan pipa Condensate (NPS10) berada pada tingkat risiko kategori ALARP. Dimana keterangan kecepatan pada risk matriks akibat Dropped Anchor ini dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

 = Vessel Speed 0,25 kn

 = Vessel Speed 0,5 kn

 = Vessel Speed 0,75 kn

4.4.5 Risk Matrix akibat Dragged Anchor pada Kapal Tanker A dan Pipa Condensate (NPS10) Future Condition



Gambar 4.17 Risk Matrix Dragged Anchor Tanker A dan Pipa NPS 10 Future Condition

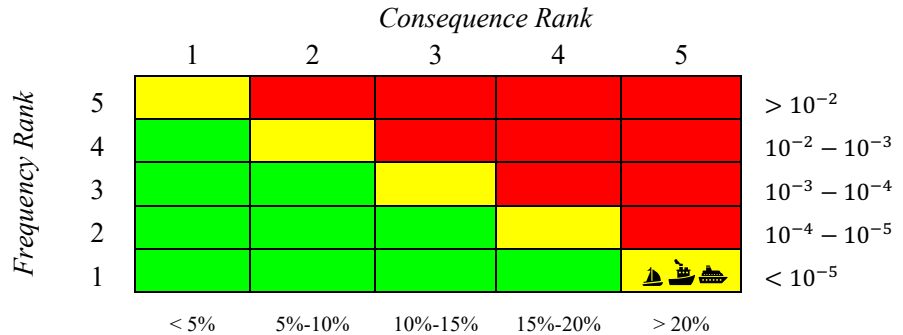
Pada risk matrix akibat *Dragged Anchor* ini pipa bawah laut dilakukan pembacaan pada risk matrix didapatkan bahwa pada tipe kapal Tanker A dan pipa Condensate (NPS10) berada pada tingkat risiko kategori ALARP. Dimana keterangan kecepatan pada risk matriks akibat *Ship Sinking* ini dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

 = Vessel Speed 2 kn

 = Vessel Speed 4 kn




 = Vessel Speed 6kn

4.4.6 Risk Matrix akibat Ship Sinking pada Kapal Tanker A dan Pipa Condensate (NPS10) Future Condition



Gambar 4.18 Risk Matrix Ship Sinking Tanker A dan Pipa NPS 10 Future Condition

Pada risk matrix akibat Ship Sinking ini pipa bawah laut dilakukan pembacaan pada risk matrix didapatkan bahwa pada tipe kapal Tanker A dan pipa Condensate (NPS10) berada pada tingkat risiko kategori ALARP. Dimana keterangan kecepatan pada risk matrix akibat Ship Sinking ini dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

-  = Vessel Speed 0,25 kn
-  = Vessel Speed 0,5 kn
-  = Vessel Speed 0,75 kn

4.4.7 Risk Matrix Summary Pipa Butane 6” Inch (Existing Condition)

Tabel 4.49 Risk Matrix Summary Pipa Butane 6” Inch (Existing Condition)

		NPS 6																									
KELOMPOK KAPAL		Dropped anchor									Dragged anchor									Ship Sinking							
		0,25			0,5			0,75			2			4			6			0,25		0,5		0,75			
		R	F	M	R	F	M	R	F	M	R	F	M	R	F	M	R	F	M	R	F	R	F	R	F		
TANKER A	1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
TANKER B	1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
TANKER C	1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
TUGBOAT	1	1		1	1		1	1		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
BULK CARRIER	1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
PASSANGER VESSEL	1	1		1	1		1	1		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
CONTAINER	1	1		1	1		1	1		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
FISHING VESSEL	1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1	

Risk Level :

- Acceptable
- ALARP (As low as reasonably practicable)
- Unacceptable

4.4.8 Risk Matrix Summary Pipa Propane 8” Inch (Existing Condition)

Tabel 4.50 Risk Matrix Summary Pipa Propane 8” Inch (Existing Condition)

NPS 8																											
KELOMPOK KAPAL	Dropped anchor									Dragged anchor									Ship Sinking								
	0,25			0,5			0,75			2			4			6			0,25			0,5			0,75		
	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M
TANKER A	1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
TANKER B	1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
TANKER C	1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
TUGBOAT	1	1		1	1		1	1		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
BULK CARRIER	1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
PASSANGER VESSEL	1	1		1	1		1	1		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
CONTAINER	1	1		1	1		1	1		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
FISHING VESSEL	1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1	

Risk Level :

- Acceptable
- ALARP (As low as reasonably practicable)
- Unacceptable

4.4.9 Risk Matrix Summary Pipa Condensate 10” Inch (Existing Condition)

Tabel 4.51 Risk Matrix Summary Pipa Condensate 10” Inch (Existing Condition)

NPS 10																											
KELOMPOK KAPAL	Dropped anchor									Dragged anchor									Ship Sinking								
	0,25			0,5			0,75			2			4			6			0,25			0,5			0,75		
	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M
TANKER A	1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
TANKER B	1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
TANKER C	1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
TUGBOAT	1	1		1	1		1	1		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
BULK CARRIER	1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
PASSANGER VESSEL	1	1		1	1		1	1		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
CONTAINER	1	1		1	1		1	1		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
FISHING VESSEL	1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1	

Risk Level :

- Acceptable
- ALARP (As low as reasonably practicable)
- Unacceptable

4.4.10 Risk Matrix Summary Pipa Butane 6” Inch (Future Condition)

Tabel 4.52 Risk Matrix Summary Pipa Butane 6” Inch (Future Condition)

NPS 6																											
KELOMPOK KAPAL	Dropped anchor									Dragged anchor									Ship Sinking								
	0,25			0,5			0,75			2			4			6			0,25			0,5			0,75		
	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M
TANKER A	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5
TANKER B	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5
TANKER C	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5
TUGBOAT	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5
BULK CARRIER	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5
PASSANGER VESSEL	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5
CONTAINER	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5
FISHING VESSEL	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	1	5

Risk Level :

- Acceptable
- ALARP (As low as reasonably practicable)
- Unacceptable

4.4.11 Risk Matrix Summary Pipa Propane 8” Inch (Future Condition)

Tabel 4.53 Risk Matrix Summary Pipa Propane 8” Inch (Future Condition)

NPS 8																											
KELOMPOK KAPAL	Dropped anchor									Dragged anchor									Ship Sinking								
	0,25			0,5			0,75			2			4			6			0,25			0,5			0,75		
	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M
TANKER A	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5
TANKER B	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5
TANKER C	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5
TUGBOAT	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5
BULK CARRIER	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5
PASSANGER VESSEL	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5
CONTAINER	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5	1	5	5
FISHING VESSEL	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	1	5

Risk Level :

- Acceptable
- ALARP (As low as reasonably practicable)
- Unacceptabl

4.4.12 Risk Matrix Summary Pipa Condensate 10" Inch (Future Condition)

Tabel 4.54 Risk Matrix Summary Pipa Condensate 10" Inch (Future Condition)

NPS 10																											
KELOMPOK KAPAL	Dropped anchor									Dragged anchor									Ship Sinking								
	0,25			0,5			0,75			2			4			6			0,25			0,5			0,75		
	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M	R F	R K	R M
TANKER A	1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
TANKER B	1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
TANKER C	1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
TUGBOAT	1	1		1	1		1	1		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
BULK CARRIER	1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
PASSANGER VESSEL	1	1		1	1		1	1		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
CONTAINER	1	1		1	1		1	1		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5		1	5	
FISHING VESSEL	1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1	

Risk Level :

- Acceptable
- ALARP (As low as reasonably practicable)
- Unacceptable

4.5 Mitigasi Risiko

Setelah melakukan representasi risiko dengan menggunakan Matrix DNVGL-RP-F107, didapatkan hampir di seluruh matriks risiko menunjukkan hasil level risiko yang berada di daerah ALARP. Karena hal tersebut penulis melakukan perhitungan untuk melakukan tindakan mitigasi yang dapat dijadikan rekomendasi pencegahan risiko pada pipa bawah laut.

Proteksi pipa bawah laut harus dilakukan untuk melindungi pipa bawah laut dari bahaya-bahaya di lingkungan pipa bawah laut. Bahaya tersebut diakibatkan oleh beberapa faktor, antara lain: kapal-kapal yang tenggelam/ karam, lego jangkar dan tarikan jangkar serta kejatuhan jangkar, kegiatan pengerukan, kegiatan perikanan oleh para nelayan, juga di sebabkan oleh *scouring* (perpindahan material di bawah air karena gelombang dan arus) dan juga di sebabkan oleh tekanan langsung dari objek-objek padat.

Kemungkinan bahaya yang terjadi harus dihindari dengan melakukan beberapa solusi untuk melindungi pipa bawah laut atau memproteksi pipa bawah laut tersebut, antara lain: *Increase wall/ concrete thickness, concrete armor cover, engineering backfill*, proses *trenching and anchoring for stability*.

4.5.1. Increase Wall/ Concrete Thickness

Increase Wall/ Concrete Thickness adalah proses untuk memproteksi pipa bawah laut dengan cara melapisi pipeline tersebut dengan campuran beton. Fungsi utama dari system ini adalah sebagai pemberat untuk stabilitas pipa di dasar laut. Disamping itu

untuk membuat pipa tahan terhadap potential impact damage dari pukat kapal ikan, kejatuhan barang-barang dan sejenisnya.



Gambar 4.19 Increase Wall/ Concrete Thickness
(Sumber : [13] Perlindungan Pipa Bawah Laut)

4.5.2. Concrete Armor Cover

Concrete Armor Cover adalah proses untuk memproteksi pipa bawah laut dengan cara melapisi pipeline atau melindungi *pipeline* tersebut dengan campuran beton, dengan cara seperti ini diharapkan *pipeline* didasar laut dapat terlindungi dari kejatuhan benda-benda seperti jangkar dan lain-lain.



Gambar 4.20 Concrete Armor Cover
(Sumber : [13] Perlindungan Pipa Bawah Laut)

4.5.3. Post Trenching

Operasi *pipelines trenching* merupakan proses perlindungan pipa dengan membenamkan pipa tersebut dalam tanah. Secara alami tanah akan menutupi pipa tersebut dan melindunginya. *Pipe-trenching* dapat dilakukan menggunakan tiga tahapan, yaitu: *Pre Trenching*, *simultaneous trenching* dan *post trenching*.

- a) Pre-Trenching: pembuatan trenching atau parit sebelum instalasi pipa, proses ini dilakukan jika kondisi tanah yang keras.
- b) Simultaneous Trenching: proses trenching atau pembuatan parit terjadi pada selama proses instalasi.
- c) Post-Trenching: proses trenching yang dilakukan setelah instalasi pipa. Proses ini dilakukan jika kondisi tanah yang lunak.

Dalam kasus 3 pipa bawah laut yang di analisa, dikarenakan pipa bawah laut tersebut sudah digelar di dasar laut, post trenching merupakan opsi mitigasi.

Proses untuk melakukan *post-trenching* yaitu membuat parit yang dibuat setelah pipa digelar di dasar laut, pada metode ini pipa yang telah dipasang diangkat, kemudian dilakukan proses *trenching* setelah selesai pipa diletakan kembali pada parit yang telah dibuat. Ukuran lubang yang dibor biasanya sekitar 1,5x diameter pipa. Tidak diperlukan

atau sedikit sekali lapisan coating pada pipa. Peralatan yang di gunakan antara lain: bajak (plough) atau semburan air (water jet), mechanical trenches, trailing suction hopper dredger, cutter suction dredger, grab dredger atau backhoe dredge, dan lain sebagainya.



Gambar 4.21 Post Trenching
(Sumber : [13] Perlindungan Pipa Bawah Laut)

4.5.4. Engineering Backfill

Sedangkan *engineering backfill* adalah proses pengamanan pipa bawah laut dengan cara mengubur dengan bahan-bahan tertentu. *Engineering backfill* dilakukan dengan penutupan beton, bahan-bahan alam, bahan urukan yang direkayasa. *Pipeline* di proteksi dengan cara ini agar *pipeline* terlindungi dari pukulan berulang karena aksi gelombang, dan pukulan jangkar yang dijatuhkan. Pemberian backfill pada pipa laut sangat bermanfaat diantaranya:

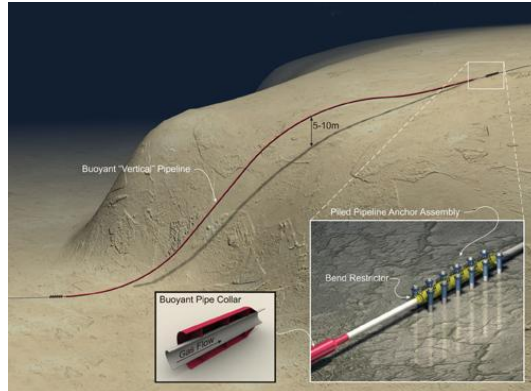
- a) Menambah stabilitas pipa
- b) Mengurangi resiko rusaknya pipa akibat gesekan jangkar kapal



Gambar 4.22 Engineering Backfill
(Sumber : [13] Perlindungan Pipa Bawah Laut)

4.5.5. Anchoring for Stability

Anchoring for Stability adalah proses pengamanan pipa bawah laut dengan cara mengaitkan pipeline dengan anchor (jangkar) di sekitar pipeline tersebut, hal ini dilakukan supaya pipeline lebih kuat dan tidak mudah goyang dan tertekuk. Juga dapat menjadikan stabilitas pipeline tersebut menjadi lebih besar.



Gambar 4.23 Anchoring for Stability
(Sumber : [13] Perlindungan Pipa Bawah Laut)

Semua opsi proteksi memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing ditinjau dari berbagai aspek diantaranya aspek biaya (*cost*), waktu (*time*), panjang jalur pipa (*routine*), desain umur pipa (*lifetime design*) dan lain-lain.

Dalam tugas akhir ini, hasil perhitungan frekuensi dan konsekuensi terhadap 3 pipa dan 8 tipe kapal yang berbeda menunjukkan nilai konsekuensi dan frekuensi berada di level yang jauh berbeda. Nilai dari konsekuensi menunjukkan hasil yang tinggi sehingga berada di rank level 5, sedangkan frekuensi berada di rank level 1. Sehingga diperlukan tindakan mitigasi yang dapat digunakan untuk mereduksi nilai konsekuensi. Nilai frekuensi tidak menunjukkan nilai yang tinggi, sehingga tidak diperlukan tindakan mitigasi untuk mereduksi nilai dari frekuensi.

Solusi mitigasi risiko yang bisa dijadikan rekomendasi untuk mereduksi nilai konsekuensi yaitu dengan tindakan *Post-Trenching* atau *Engineering Backfill* pada 3 pipa bawah laut. Hal tersebut dikarenakan pipa bawah laut sudah di gelar tanpa ditimbun ataupun dipendam, sehingga opsi *Post-Trenching* atau *Engineering Backfill* menjadi pilihan untuk melakukan Tindakan mitigasi.

4.5.6. ICAF (Implied Cost of Averting a Fatality)

Dari 2 alternatif tindakan mitigasi dilakukan analisa yang merujuk pada rekomendasi IMO pada Formal Safety Assessment. Dalam rekomendasi IMO dijelaskan penilaian risiko terhadap risiko fatal adalah langkah penting dalam proses perhitungan mitigasi. Praktik penilaian risiko adalah untuk mempresentasikan hasil pengendalian risiko dalam Implied Cost of Averting a Fatality (ICAF) jika tindakan mitigasi dilakukan.

$$ICAF = \frac{\Delta Cost}{\Delta Risk} \dots\dots\dots(4.41)$$

$\Delta Cost$ = Biaya tambahan dari opsi kontrol risiko yang tersedia.

$\Delta Risk$ = Pengurangan risiko dalam hal kematian yang dapat dihindari

Perhitungan cost benefit analysis dengan metode tersebut memerlukan kriteria untuk menentukan nilai ICAF di mana hasil dari perhitungan menghasilkan perbandingan

cost-effective. Nilai yang akan muncul merupakan implied cost, atau tambahan biaya yang akan ditambah agar mendapatkan perlindungan risiko yang sudah di rencanakan.

Perhitungan dan hasil mitigasi resiko yang dilakukan untuk 3 Pipa dan 8 jenis kapal yang sedang di analisa adalah sebagai berikut :

1. Alternatif 1 : Post Trenching

Post Trenching Cost : The Average cost for Trenching \$500.000/Mile

(Based on Mouselli Book - Offshore Pipeline Design, (on Netherlands Regulation and Experiences)

Tabel 4.55 Post Trenching Alternative Mitigation

Hazard	Effective Energy (before Mitigation)	Effective Energy (After Mitigation)		
		Rank	Effective Energy	Mitigation
Dropped Anchor :	395,90	Rank 5	-1115,44	2 Meters Trench/Burried
Dragged Anchor :	1110,499669	Rank 5	-400,85	2 Meters Trench/Burried
Ship Sinking :	5436200,48	Rank 5	-3736001,52	0,2 Meters Trench/Burried

Dari hasil analisa mitigasi yang dilakukan, post trenching sedalam 2 meter yang dilakukan dapat membuat keseluruhan kemungkinan bahaya yang bisa terjadi dapat berkurang. Salah satu contoh bahaya terbesar yang berkurang adalah bahaya yang di timbulkan *dragged anchor* yang berkurang sebanyak 1511,45 kJ ($\Delta Risk$)

1 Miles = 1,6 Km

17,3 Km = 10,8125 Miles

Biaya tambahan untuk Tindakan mitigasi 10,8125 Miles = \$ 5.406.250 / IDR82.234.468.750 ($\Delta Cost$) Biaya tambahan untuk Tindakan mitigasi

$$ICAF = \frac{\Delta Cost}{\Delta Risk}$$

$$ICAF = \frac{IDR 82.234.468.750}{1511,35}$$

$$ICAF = IDR 54.411.428$$

2. Alternatif 2 : Engineering Backfill

Data Asumsi (Tanpa Data Instalasi, hanya pengadaan barang)

Hazard	Effective Energy (before Mitigation)	Effective Energy (After Mitigation)		
		Rank	Effective Energy	Mitigation
Dropped Anchor :	395,90	Rank 5	-1115,44	2 Meters Trench/Burried
Dragged Anchor :	1110,499669	Rank 5	-400,85	2 Meters Trench/Burried
Ship Sinking :	5436200,48	Rank 5	-3736001,52	0,2 Meters Trench/Burried

Dari hasil analisa mitigasi yang dilakukan, post trenching sedalam 2 meter yang dilakukan dapat membuat keseluruhan kemungkinan bahaya yang bisa terjadi dapat berkurang. Salah satu contoh bahaya terbesar yang berkurang adalah bahaya yang di timbulkan dragged anchor yang berkurang sebanyak 1511,45 kJ ($\Delta Risk$).

Tabel 4.56 Data Pengadaan Barang /Km (Sumber: PT. Semen Gresik)

Bahan	Price	Jumlah	Total
Pasir	115000	10000	IDR 1.150.000.000
Batu	165000	1000	IDR 165.000.000
Geobag	125000	26000	IDR 3.250.000.000
		Jumlah	IDR 4.565.000.000

17,3 Km = IDR 78.974.500.000

$$ICAF = \frac{\Delta Cost}{\Delta Risk}$$

$$ICAF = \frac{IDR 78.974.500.000}{1511,35}$$

$$ICAF = IDR 52.254.430,98$$

Tabel 4.57 ICAF

Description	$\Delta Risk$	$\Delta Cost$	ICAF
Post Trenching	1511,35	IDR 82.234.468.750	IDR 54.411.428,65
Engineering Backfill	1511,35	IDR 78.974.500.000	IDR 52.254.430,98

Dari data hasil analisa dan perhitungan mitigasi, nilai ICAF yang lebih kecil dapat menjadi sebuah rekomendasi untuk melakukan perlindungan terhadap 3 pipa bawah laut, dalam hal ini penambahan perlindungan terhadap Pipa bawah laut dengan metode *Engineering Backfill* dapat menjadi opsi rekomendasi.

Untuk melakukan perhitungan mitigasi, terdapat banyak alternatif metode agar matriks risiko yang terjadi dapat masuk ke dalam *acceptance*. Alternatif metode yang dimaksud adalah metode seperti kesediaan untuk membayar studi dengan survei publik, kesediaan untuk membayar dalam keputusan aktual, studi tentang opsi pengendalian risiko diimplementasikan dan tidak diimplementasikan yang dapat berpengaruh terhadap risiko yang ada.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penilaian risiko yang telah dilakukan menggunakan metode DNVGL-RP-F107 pada 3 pipa terhadap 8 kapal bawah laut milik Petrochina Energi (OSES) dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan pembacaan *risk matrix* tingkat risiko akibat kejadian *dropped anchor* menggunakan standar DNVGL-RP-F107 pada pipa tipe NPS 6, didapatkan bahwa untuk kelompok kapal Tanker A, Tanker B, Tanker C, dan Bulk Carrier berada pada kondisi *ALARP*. Dan untuk tipe kapal Tugboat, Passenger Vessel, Container, Fishing Vessel berada pada kondisi Accepted atau dapat diterima.
2. Berdasarkan pembacaan *risk matrix* tingkat risiko akibat kejadian *dropped anchor* menggunakan standar DNVGL-RP-F107 pada pipa tipe NPS 8, didapatkan bahwa untuk kelompok kapal Tanker A, Tanker B, Tanker C, dan Bulk Carrier berada pada kondisi *ALARP*. Dan untuk tipe kapal Tugboat, Passenger Vessel, Container, Fishing Vessel berada pada kondisi Accepted atau dapat diterima.
3. Berdasarkan pembacaan *risk matrix* tingkat risiko akibat kejadian *dropped anchor* menggunakan standar DNVGL-RP-F107 pada pipa tipe NPS 10, didapatkan bahwa untuk kelompok kapal Tanker A, Tanker B, Tanker C, dan Bulk Carrier berada pada kondisi *ALARP*. Dan untuk tipe kapal Tugboat, Passenger Vessel, Container, Fishing Vessel berada pada kondisi Accepted atau dapat diterima.
4. Berdasarkan pembacaan *risk matrix* tingkat risiko akibat kejadian *dragged anchor* menggunakan standar DNVGL-RP-F107 pada pipa tipe NPS 6, didapatkan bahwa untuk kelompok kapal Tanker A, Tanker B, Tanker C, Tugboat, Bulk Carrier, Passenger Vessel, Container berada pada kondisi *ALARP*. Dan untuk tipe kapal Fishing Vessel karena jangkar tidak memiliki jangkar berada pada kondisi Accepted atau dapat diterima.
5. Berdasarkan pembacaan *risk matrix* tingkat risiko akibat kejadian *dragged anchor* menggunakan standar DNVGL-RP-F107 pada pipa tipe NPS 8, didapatkan bahwa untuk kelompok kapal Tanker A, Tanker B, Tanker C, Tugboat, Bulk Carrier, Passenger Vessel, Container berada pada kondisi *ALARP*. Dan untuk tipe kapal Fishing Vessel karena jangkar tidak memiliki jangkar berada pada kondisi Accepted atau dapat diterima.
6. Berdasarkan pembacaan *risk matrix* tingkat risiko akibat kejadian *dragged anchor* menggunakan standar DNVGL-RP-F107 pada pipa tipe NPS 10, didapatkan bahwa untuk kelompok kapal Tanker A, Tanker B, Tanker C, Tugboat, Bulk Carrier, Passenger Vessel, Container berada pada kondisi *ALARP*. Dan untuk tipe kapal Fishing Vessel karena jangkar tidak memiliki jangkar berada pada kondisi Accepted atau dapat diterima.

7. Berdasarkan pembacaan *risk matrix* tingkat risiko akibat kejadian *ship sinking* menggunakan standar DNVGL-RP-F107 pada pipa tipe NPS 6, didapatkan bahwa untuk kelompok kapal Tanker A, Tanker B, Tanker C, Tugboat, Bulk Carrier, Passenger Vessel, Container berada pada kondisi *ALARP*. Dan untuk tipe kapal Fishing Vessel berada pada kondisi Accepted atau dapat diterima.
8. Berdasarkan pembacaan *risk matrix* tingkat risiko akibat kejadian *ship sinking* menggunakan standar DNVGL-RP-F107 pada pipa tipe NPS 6, didapatkan bahwa untuk kelompok kapal Tanker A, Tanker B, Tanker C, Tugboat, Bulk Carrier, Passenger Vessel, Container berada pada kondisi *ALARP*. Dan untuk tipe kapal Fishing Vessel berada pada kondisi Accepted atau dapat diterima.
9. Berdasarkan pembacaan *risk matrix* tingkat risiko akibat kejadian *ship sinking* menggunakan standar DNVGL-RP-F107 pada pipa tipe NPS 6, didapatkan bahwa untuk kelompok kapal Tanker A, Tanker B, Tanker C, Tugboat, Bulk Carrier, Passenger Vessel, Container berada pada kondisi *ALARP*. Dan untuk tipe kapal Fishing Vessel berada pada kondisi Accepted atau dapat diterima.
10. Setelah dilakukan analisa dan perhitungan mitigasi dengan rujukan dari IMO (Formal Safety Assesment) dapat disimpulkan penambahan pengamanan pipa bawah laut dengan metode Engineering Backfill menjadi rekomendasi karena memiliki nilai ICAF lebih kecil dibanding dengan metode *Post Trenching*.

5.2 Saran

Berdasarkan penilaian risiko yang telah dilakukan menggunakan metode DNVGL-RP-F107 pada 3 pipa terhadap 8 kapal bawah laut milik Petrochina dapat disarankan bahwa:

1. Untuk menjaga tingkat frekuensi agar berada pada kondisi tersebut maka dapat dilakukan inspeksi secara berkala pada pipa gas bawah laut yang sedang ditinjau.
2. Untuk tindakan mitigasi yang dilakukan, diharapkan sudah melakukan perencanaan yang sangat detail agar nilai agar cost yang dikeluarkan tepat dengan proses produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] DNVGL-RP-F107. (2017). Risk Assessment of Pipeline Protection (May 2017 ed.).
- [2] International Maritime Organisation (2018), *Formal Safety Assessment*
- [3] Artana, K. B. (2013). Penilaian Risiko Jalur Pipa Gas Dengan Menggunakan DNV-RPF- 107, Studi Kasus: Husky-CNOOC Madura Ltd., Pasuruan - Jawa Timur. Surabaya
- [4] Artana, K. B. (2013). Penilaian Risiko Pipa Gas Bawah Laut (1st Editione d.). Surabaya: Inti Karya Guna
- [5] Vamanu, B, Necci, Tarantola S, Krausman. 2016. JRC Technical Reports : Offshore Risk Assessment.
- [6] American Petroleum Institute (API) Publication 1160 First Edition. 2001. Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipelines
- [7] Wicaksono, N. M. (2019). Penilaian Risiko Pipa Gas Bawah Laut Menggunakan Metode Kent Muhlbauer dan Standar DNVGL-RP-F107
- [8] Widhiastuti, N. L. (2019). Penilaian Risiko Instalasi Pipa Gas Bawah Laut Kangean Energy Indonesia: TSB Phase 2. Surabaya
- [9] Nuraini, I. P. (2016). Analisis Risiko Pipa Bawah Laut Akibat Tarikan Jangkar Dengan Metode Monte Carlo : Studi Kasus Jaringan Pipa Bawah Laut Tunu Field, Blok Mahakam, Kalimantan Timur.
- [10] B. Rachmat (2011). Kajian Identifikasi Insfrastruktur Jaringan Pipa Migas Bawah Laut di Perairan Sebelah Utara Provinsi Banten
Nord Stream Chapter 5 : Risk Assessment
- [11] Demirbas, A. (2010). Methane Gas Hydrate. Methane Gas Hydrate.
- [12] Pustikom Kementrian Perhubungan, Statistika Perhubungan Buku 1 (2018)
- [13] Ovanindra, Nov. 2016. Ovanindra: Perlindungan Pipa Bawah Laut
<<https://ovankl2015.wordpress.com/2016/11/16/perlindungan-pipa-bawah-laut/>>.

LAMPIRAN

Existing Condition – Dropped Anchor

Existing Condition

Input Calculation Data (Ship & Pipe Data)

Ship Data :

No	Tipe Kapal	Deskripsi Kapal	Frequency /Year	Range DWT	Length (m)	Beam (m)	Berat Jangkar (Ton)	Draft (m)
1	TANKER A	Size Medium Range (MR)	4	50000	205	29	8,7	16
2	TANKER B	Size Aframax (LR)	4	80000	245	34	12,9	20
3	TANKER C	Size VLGC	2	55000	226	37	8,7	12
4	TUGBOAT	Tanker Tug	30	1000	56	14	1	6
5	BULK CARRIER	Size Ultramax	4	62000	200	32	4,6	6,6
6	PASSANGER SHIP	Ferries	5	15000	146	24	2,5	5,6
7	CONTAINER	600 TEUs	3	8250	115	21	1,9	5,3
8	FISHING VESSEL	-	40	< 50	25	6	0,48	3

Pipe Data :

PIPE DATA		
Pipe Description :	NPS 6	
Pipe Type :	5L-X52	
Pipe Diameter :	6	Inch
Wall Thickness :	7,11	mm
SYMS :	3,6E+08	N/m ²
Pipe Concrete Coating :	Fusion Bonded Epoxy	
Concrete Coating Thickness :	25	mm

PIPE DATA		
Pipe Description :	NPS 8	
Pipe Type :	5L-X52	
Pipe Diameter :	8	Inch
Wall Thickness :	8,18	mm
SYMS :	3,6E+08	N/m ²
Pipe Concrete Coating :	Fusion Bonded Epoxy	
Concrete Coating Thickness :	25	mm

PIPE DATA		
Pipe Description :	NPS 10	
Pipe Type :	5L-X52	
Pipe Diameter :	10	Inch
Wall Thickness :	8,74	mm
SYMS :	3,6E+08	N/m ²
Pipe Concrete Coating :	Fusion Bonded Epoxy	
Concrete Coating Thickness :	25	mm

Dropped Anchor Calculation

1. Absorbed Energy

Concrete Coating Absorbed Energy (E_k)

Y	Crushing strength	Mpa	125
b	Point load breadth	m	0,1
h	Point load depth	m	0,1
x_0	Concrete coating	mm	25
E_k	Concrete Coating Absorbed Energy	kJ	31,25

Sand Impact Absorbed Energy (E_p)

-	Anchor Breadth	m	1,012
-	Anchor Width	m	2,275
A	Anchor Projected Area	m ²	2,3023
D	Diameter Of Object	m	1,6435
G	Unit Weight of Fill Material	g	10
-	Bearing Capacity Coeficient ²⁾	N_g	137
-	Bearing Capacity Coeficient ²⁾	N_q	99
z	Penetration (Trench) Depth (z)	z	0
E_p	Concrete Coating Absorbed Energy	kJ	0,00

Tunnel Structure Absorbed Energy (E_i)

E_i	Total Structure Absorbed Energy	kJ	50,00
-------	---------------------------------	----	-------

Total Absorbed Energy

E	Total Absorbed Energy	kJ	81,25
-----	-----------------------	----	-------

2. Terminal Energy & Terminal Velocity

-	Anchor Breadth	m	1,012
-	Anchor Width	m	2,275
m	Anchor Mass	kg	8700
-	Anchor Density	kg/m ³	7850
g	Gravity	m/s ²	9,81
V	Anchor Volume	m ³	1,10828025
ρ_{water}	Density of Seawater	kg/m ³	1025
CD	Drag Coefficient	-----	0,7
A	Anchor Projected Area	m ²	2,3023
VT	Anchor Dropped Speed	m/s	9,47837131
ET	Terminal Velocity	J	390801,924

3. Added Mass

V	Anchor Volume	m ³	1,10828025
ρ_{water}	Density of Seawater	kg/m ³	1025
C_a	Added Mass Coefficient	-----	0,1
m_a	Added Mass	Kg	113,598726

4. Impact Energy (E_E)

m	Anchor Mass	Kg	8700
m_a	Added Mass	Kg	113,59873
VT	Anchor Dropped Speed	m/s	9,47837131
E_E	Impact Energy	J	395904,751
		kJ	395,904751

5. Damage Categories

D	Outside Diameter Pipa	m	0,1524
t	Wall Thickness	m	0,00711

SMYS	Specific minimum yield strength	N/m ²	358520000
m_p	Plastic Moment Capacity	N	4530,98472

6. Damage Classification

Level	Dent/Diameter	Range of Impact Energy			
Level 1	< 5%	kJ		<	0,48
Level 2	5% - 10%	kJ	0,48	-	1,35
Level 3	10% - 15%	kJ	1,35	-	2,48
Level 4	15% - 20%	kJ	2,48	-	3,82
Level 5	> 20%	kJ	3,82	>	

7. Effect Impact Energy

Effective Impact Energy to Steel Pipeline after concrete absorption	kJ	314,65
Consequence Rank	-----	5

8. Calculation Summary

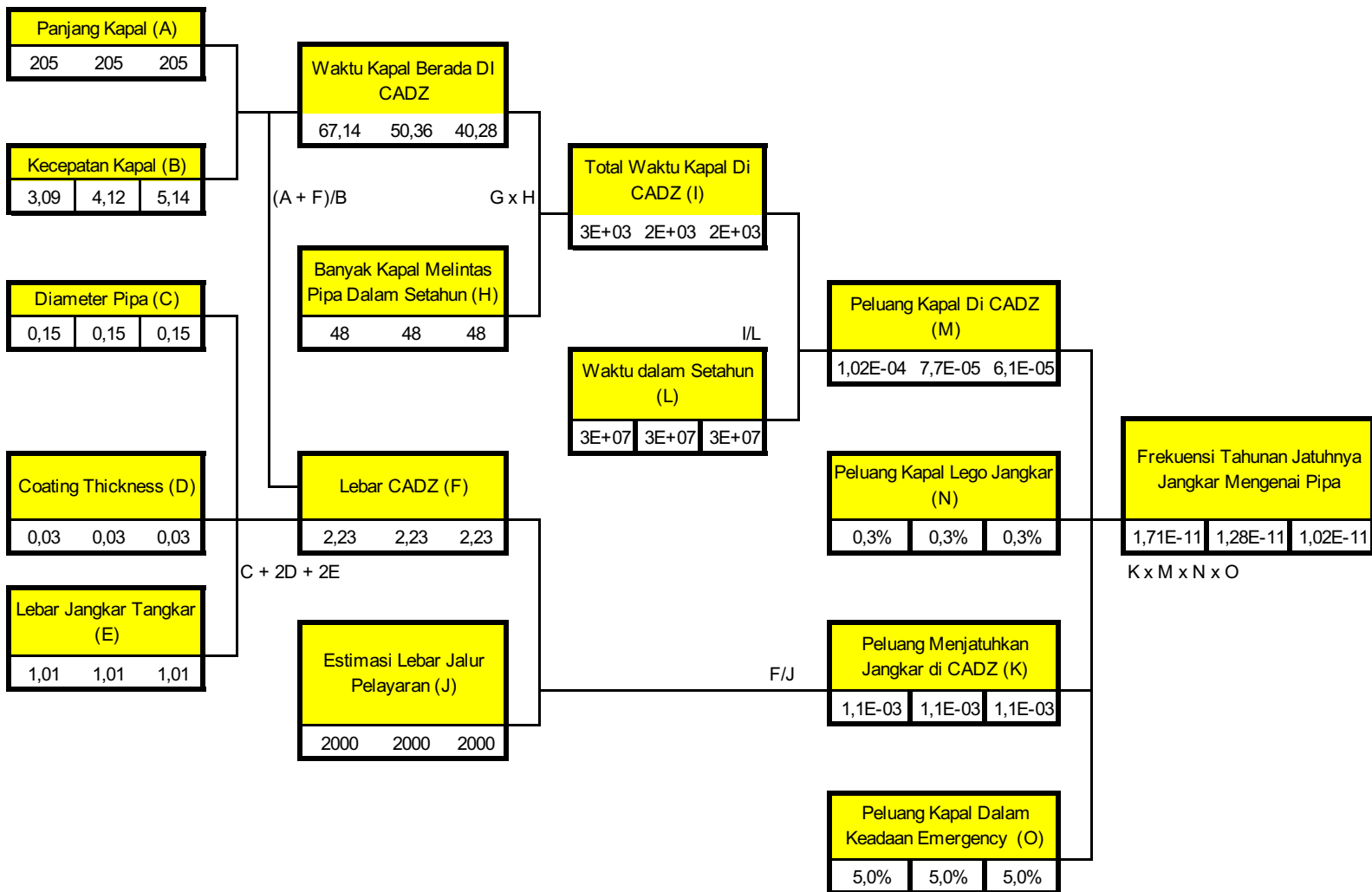
Pipe Type	Ship Type	Effective Impact Energy	Consequence Rank
NPS 6	TANKER A	314,65	5
	TANKER B	616,32	5
	TANKER C	314,65	5
	TUGBOAT	-58,98	1
	BULK CARRIER	84,81	5
	PASSANGER SHIP	-7,52	1
	CONTAINER	-31,65	1
	FISHING VESSEL	<i>No Anchor</i>	1
NPS 8	TANKER A	314,65	5
	TANKER B	616,32	5
	TANKER C	314,65	5
	TUGBOAT	-58,98	1
	BULK CARRIER	84,81	5
	PASSANGER SHIP	-7,52	1
	CONTAINER	-31,65	1
	FISHING VESSEL	<i>No Anchor</i>	1
NPS 10	TANKER A	314,65	5
	TANKER B	616,32	5
	TANKER C	314,65	5
	TUGBOAT	-58,98	1
	BULK CARRIER	84,81	5
	PASSANGER SHIP	-7,52	1
	CONTAINER	-31,65	1
	FISHING VESSEL	<i>No Anchor</i>	1

Tanker A - NPS 6

Frekuensi Dropped Anchor :

No	Perhitungan	Persamaan	Keterangan	Satuan	Kecepatan Kapal		
					6 knot	8 knot	10 knot
1	A	-	Panjang Kapal	m	205	205	205
2	B	-	Kecepatan Kapal	m/s	3,086419753	4,115226337	5,144032922
3	C	-	Diameter Pipa	m	0,1524	0,1524	0,1524
4	D	-	Tebal Lapisan Pipa (Concrete Thickness)	m	0,025	0,025	0,025
5	E	-	Lebar Jangkar Tangkar	m	1,012	1,012	1,012
6	F	$C + 2D + 2E$	Lebar CADZ (Critical Anchor Damage Zone)	m	2,2264	2,2264	2,2264
7	G	$(A + F) / B$	Waktu Kapal berada di CADZ	s	67,1413536	50,3560152	40,28481216
8	H	-	Banyak Kapal melintas pipa dalam setahun	-	48	48	48
9	I	$G \times H$	Total Waktu Kapal di CADZ	s	3222,784973	2417,08873	1933,670984
10	J	-	Estimasi Lebar Jalur Pelayaran	m	2000	2000	2000
11	K	F / J	Peluang menjatuhkan jangkar di CADZ	-	0,0011132	0,0011132	0,0011132
12	L	-	Waktu Dalam Setahun	s	31536000	31536000	31536000
13	M	I / L	Peluang Kapal di CADZ	-	0,000102194	7,66454E-05	6,13163E-05
14	N		Peluang kapal Lego jangkar	-	0,003	0,003	0,003
15	O		Peluang kapal dalam keadaan emergency	-	5%	5%	5%
16	P	$K \times M \times N \times O$	Frekuensi tahunan jatuhnya jangkar mengenai pipa	-	1,70643E-11	1,27982E-11	1,02386E-11
17			RANK	-	1	1	1

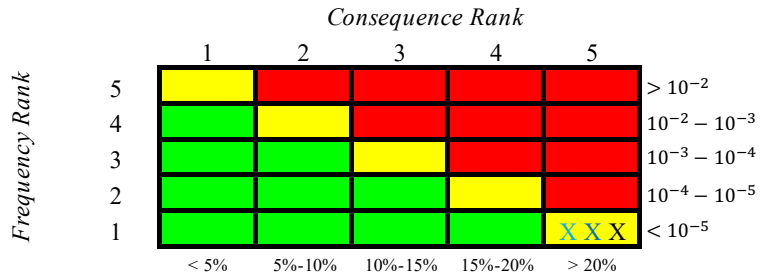
Event Tree Analysis Frequency Dropped Anchor (Tanker A)



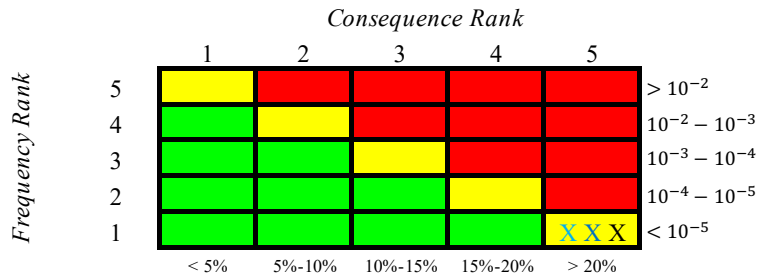
Risk Matrix Summary Dropped Anchor (Existing Condition)

Pipe Type : NPS 6

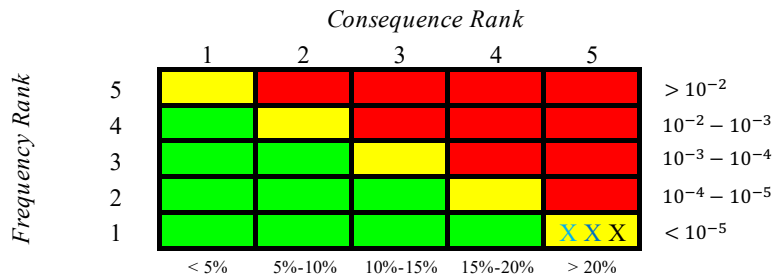
1. Tanker A



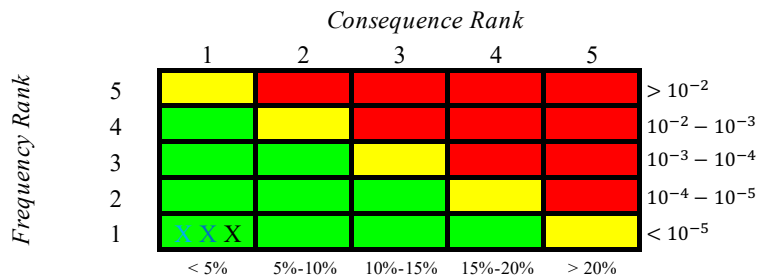
2. Tanker B



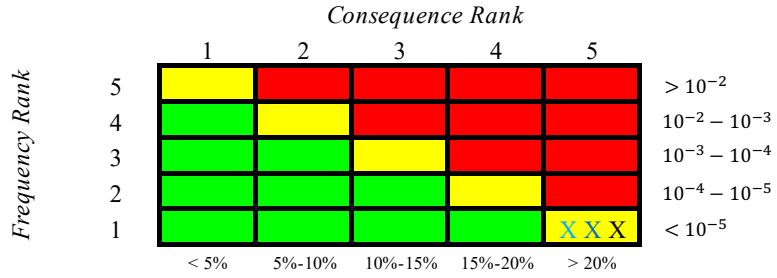
3. Tanker C



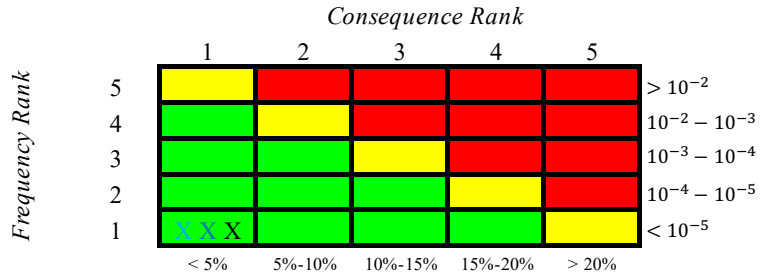
4. Tugboat



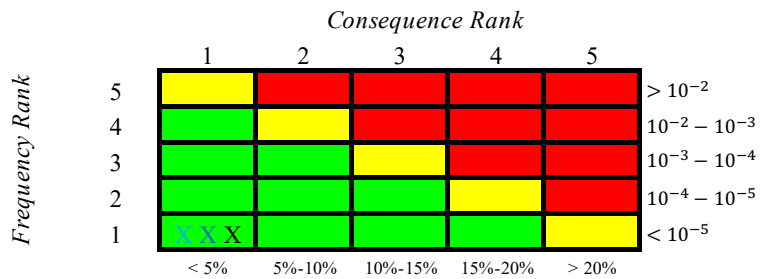
5. Bulk Carrier



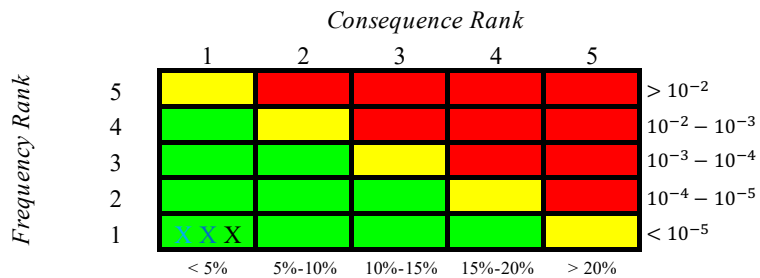
6. Passanger Ship



7. Container



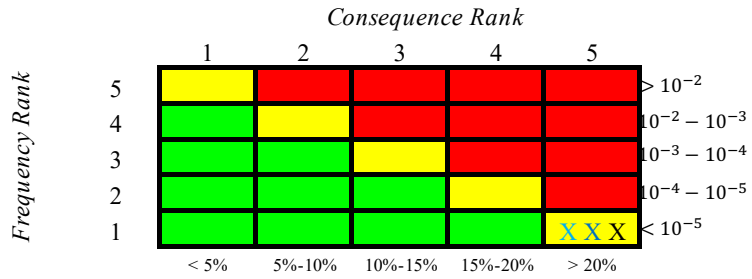
8. Fishing Vessel



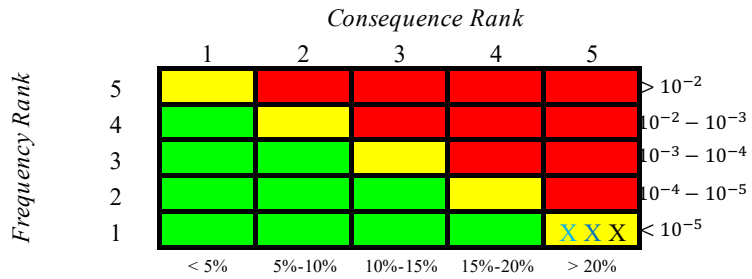
Risk Matrix Summary Dropped Anchor (Existing Condition)

Pipe Type : NPS 8

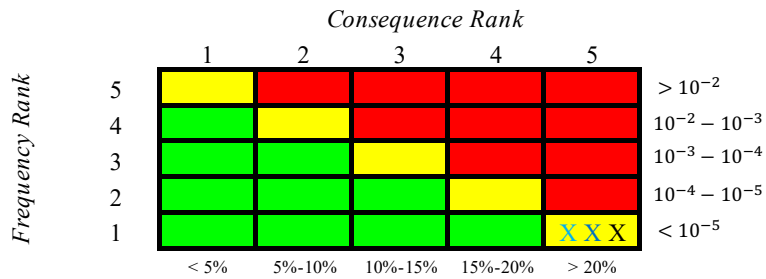
1. Tanker A



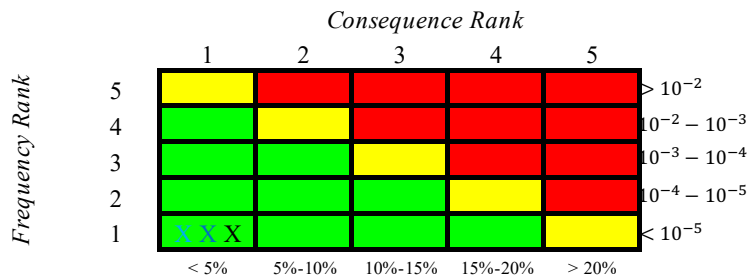
2. Tanker B



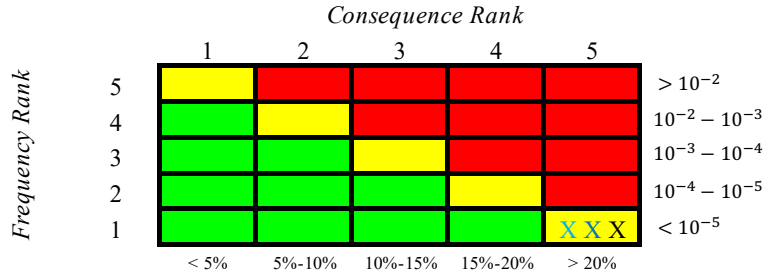
3. Tanker C



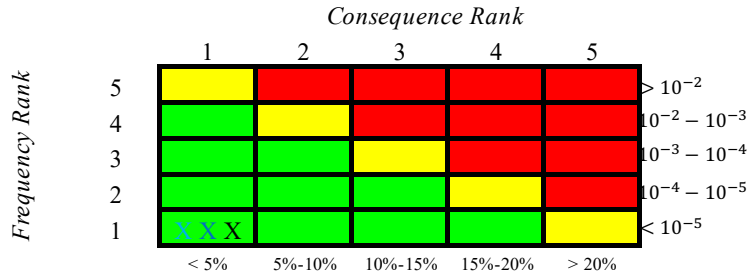
4. Tugboat



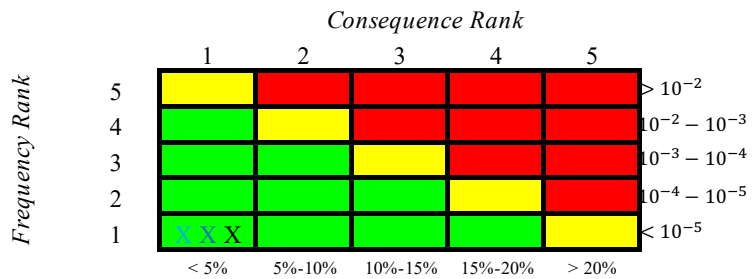
5. Bulk Carrier



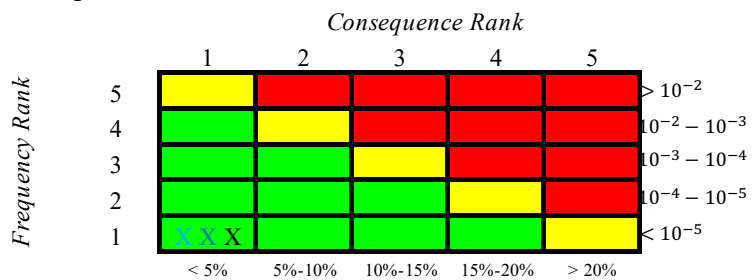
6. Passanger Ship



7. Container



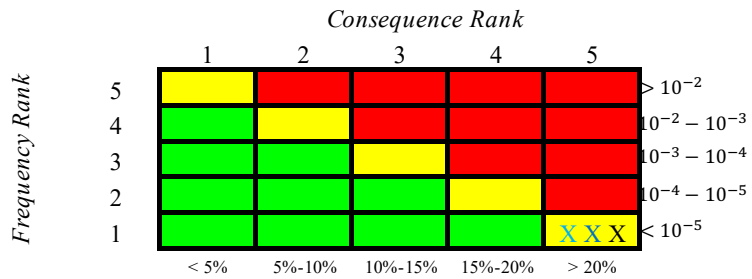
8. Fishing Vessel



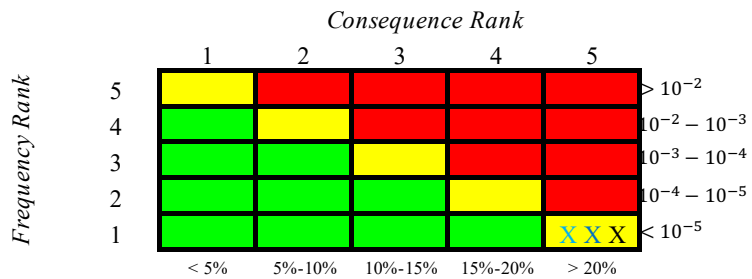
Risk Matrix Summary Dropped Anchor (Existing Condition)

Pipe Type : NPS 10

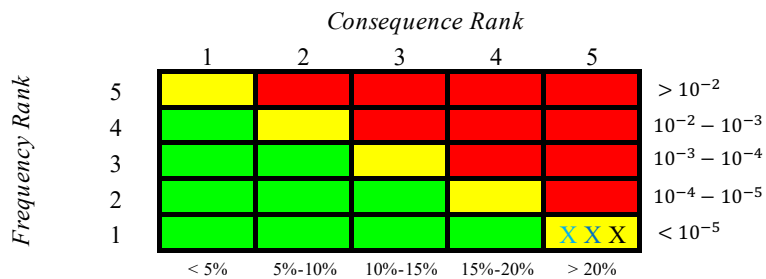
1. Tanker A



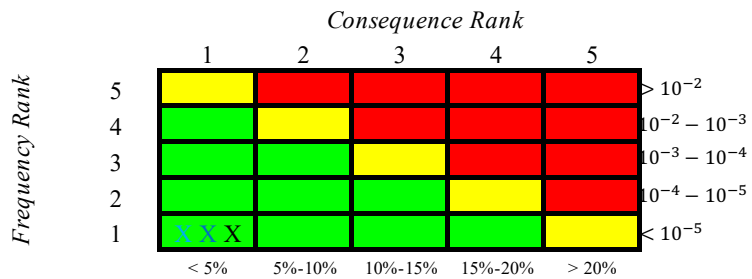
2. Tanker B



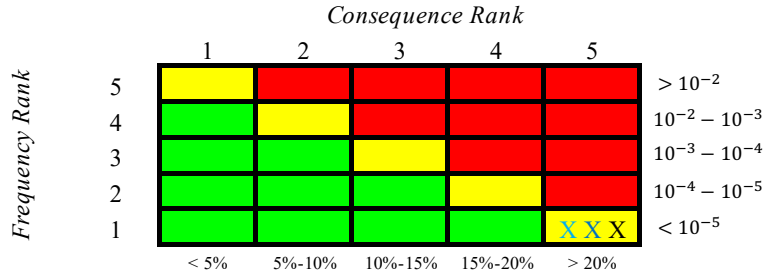
3. Tanker C



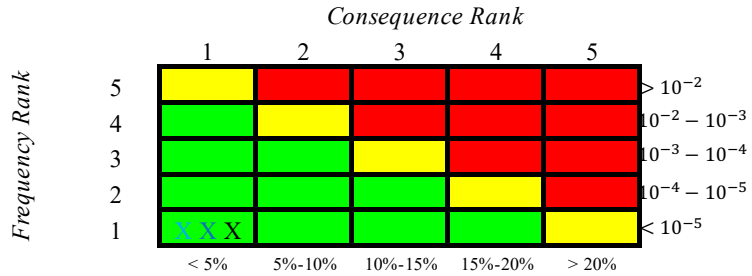
4. Tugboat



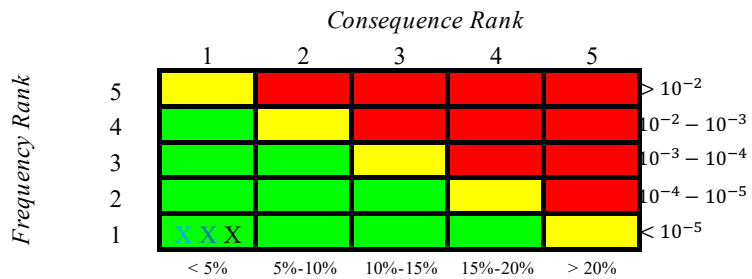
5. Bulk Carrier



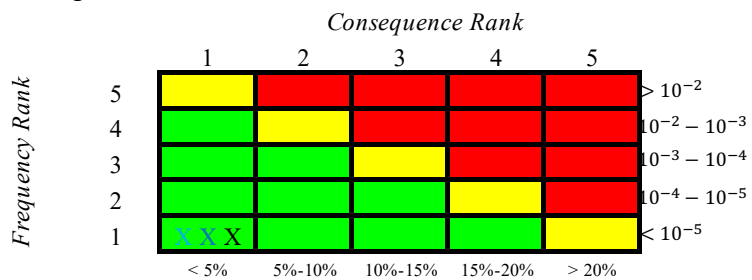
6. Passanger Ship



7. Container



8. Fishing Vessel



Keterangan :

X = Vessel Speed 0,25 kn

X = Vessel Speed 0,5 kn

X = Vessel Speed 0,75 kn

Existing Condition – Dragged Anchor

Dragged Anchor Calculation (Existing Condition)

Pipeline Dimension and Material			
Pipeline Dimension			
Outer Dimension, D (m)	=	0,1524	m
Wall Thickness , t _{nom} (m)	=	0,00711	m
Corrosion allowance ,t _{corr} (m)	=	0,003	m
Steel Material			
Steel Quality	=	5L-X52	
SMYS	=	358520000	N/m ²
Coating			
Type	=	Concrete	
Thickness	=	0,025	m
Specific Weight	=	3044	kg/m ³
Content			
Content	=	Butane Gas	
Environmental Data			
Water Depth, d	=	24	m
Ambient Temperature	=	30	C
Soil Conditions			
Sand, Friction Degree	=	45	deg.
Fluid Category	=	B	
Location Class	=	1	
Safety Class	=	Normal	
Trawl Height	=	1,634	m
Steel Mass, mt	=	8700	Kg
Velocity, V	=	2	Knot
	=	1,03	m/s
Length, Lw	=	3.5 x d	shallow
	=	84	m

Analysis of impact energy caused by Impact, pull-over & Hooking

A. Impact energy of anchor

Hydrodynamic Mass	=	18618	kg
m _a = 2.14 x mt			
Bending Stiffness, kb	=	10	M N/m
Impact Velocity Coefficient, C _h	=	0,85	
Steel Mass Associated, R _{fs}	=	1	
Added Mass Associated, R _{fa}	=	1	
Pipe Wall Thickness, t	=	0,00711	

Absorbed Impact Energy (E_s)

$$E_s = 3327,028789 \text{ Joule}$$

$$= 3,33 \text{ KJ}$$

The Impacting Force Caused by The Hydrodynamic Mass (F_b)

$$F_b = 377,355 \text{ N}$$

The Absorbed Energy of The Hydrodynamic Mass (E_a)

$$3,10158E-05 \text{ Joule} \leq 7119,84 \text{ Joule}$$

$$3,10158E-08 \leq 7,12 \text{ KJ}$$

Absorbed energy taken which is bigger between E_s and E_a

$$E_a = 7,12 \text{ KJ}$$

B. Pull-Over

Parameter	Value	Unit
Water Depth	24	m
Span Height	0	m
Trawl Height	1,634	m
Warp Line Diameter	32	mm
Pull Over Coefficient	2	
Drag Coefficient	0,65	
Added Mass Coefficient	0,1	
Axial Friction Coefficient	0,4	
Lateral Friction Coefficient	0,6	
Load Effect Factor	1,1	
Condition Load Effective factor	1,07	

Dimensionless height

Where :

$$OD = \text{Overall Outside Diameter of Pipeline, Including Coating}$$

$$= 0,1774 \text{ m}$$

$$B = \text{Half Height}$$

$$= 0,817 \text{ m}$$

$$\dot{H} = 0,35$$

Empirical force coefficient

$$OD/H_a = 0,887$$

$$CF = 2,58$$

Empirical force coefficient

$$F_b = 2.58 \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \cdot C_D = 2.58 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1025 \cdot 1.634^2 \cdot 0.65 = 377.355 \text{ N}$$

Warp line stiffenes

$$k_w = 416667 \text{ N/m}$$

$$= 417 \text{ KN/m}$$

Maximum pull-over force (beam Trawls)

$$F_p = 159606,6802 \text{ N}$$

$$= 159,61 \text{ KN}$$

Corresponding maximum downward acting force

$$= 84,70 \text{ KN} \qquad 84702,4827 \text{ N}$$

Pull-over duration

$$= 0,600 \text{ s}$$

(The Fall time for trawl boards may be taken 0,6s RPF 111)

Pull over calculate with formula below :

Where :

$$S = V \times t$$

$$= 0,617328$$

$$E = Fz \times s$$

$$= 52289,21 \quad \text{Joule}$$

$$= 52,29 \quad \text{KJ}$$

C. Hooking

Trawl equipment, additional data for hooking calculation :

Load factor :

Lifting Height

$$H_l = 0,51868 \quad \text{m}$$

Besarnya energi yang bekerja pada saat hooking

$$E = E_p + E_k$$

$$= 104587,51 \quad \text{Joule}$$

$$= 104,59 \quad \text{KJ}$$

D. Total Energy of impact, pull-over & Hooking

$$E_{\text{total}} = E_{\text{impact}} + E_{\text{pull-over}} + E_{\text{hooking}}$$

$$= 164,00 \quad \text{KJ}$$

3. Impact Energy caused by Main Engine

Ship Power data

$$T = \frac{R}{(1 - t)}$$

T = Thrust Horse Power

$$t = 0.5 C_p - 0.12$$

(for single propeller)

Parameter		Units
Cp	=	0,82
t	=	0.5 Cp - 0.12
		0,29
Cb	=	0,82
w	=	0.5 Cb - 0.05
		0,36
V drag	=	1,03 m/s
Lpp	=	205 m
Lwl	=	213,2 m
B	=	29 m
T	=	16 m
H	=	18 m
Vs	=	14 Knot

		Hull Efficiency
--	--	-----------------

η_H	=	$(1 - t)/(1 - w)$
		1,109375
η_{rr}	=	Relative Rotative Efficiency
		1,05
η_p	=	0,6
PC	=	0,70

Total energy caused by Main Engine

$$E = T \times s$$

$$= 937,31 \text{ KJ}$$

Parameter		Value	Units
Engine Power	=	14000	KW
	=	10444	HP
BHP MCR	=	10444	HP
BHP SCR	=	BHP MCR x 0.85	
	=	8877,4	HP
SHP	=	BHP SCR x 0.98	
	=	8699,85	HP
DHP	=	SHP x 0.98	
	=	8525,85	HP
EHP	=	DHP x Pc	
	=	5958,77	HP
	=	7987,63	KW
Tahanan (R)	=	EHP/Vs	
	=	1109,15	KN

$$T = \frac{R}{(1 - t)}$$

$$= 1562,18 \text{ KN}$$

Calculation of energy by Anchor Chain

(Ordinary quality)

Parameter		Value	Units
Anchor Weight	=	8700	Kg
Length of chain	=	50	m
Chain Diameter	=	34	mm
Chain weight (ML)	=	$0,023 \times (dc)^2$	
	=	26,59	Kg/m
	=	1329,4	Kg
Mass of chain	=	m x g	
	=	13041,4	N
Sin 45	=	0,851	

$$T = \frac{T_v}{\sin \theta}$$

$$= 15326,55 \text{ N}$$

Total energy of Anchor Chain :

$$E = T \times s$$

$$= 9195,929003 \text{ J}$$

$$= 9,20 \text{ KJ}$$

4. Total Energy

$$E_{\text{Total}} = E_{\text{Anchor}} + E_{\text{Thrust}} + E_{\text{Anchor Chain}}$$

$$= 1110,50 \text{ KJ}$$

Damage Categories

D	Outside Diameter Pipa	m	0,1524
t	Wall Thickness	m	0,00711
$SMYS$	Specific minimum yield strength	N/m^2	358520000
m_p	Plastic Moment Capacity	N	4530,98472

Damage Classification

Level	Dent/Diameter	Range of Impact Energy			
Level 1	< 5%	kJ		<	0,48
Level 2	5% - 10%	kJ	0,48	-	1,35
Level 3	10% - 15%	kJ	1,35	-	2,48
Level 4	15% - 20%	kJ	2,48	-	3,82
Level 5	> 20%	kJ	3,82	>	

Effect Impact Energy

Effective Impact Energy	kJ	1110,50
Consequence Rank	-----	5

Calculation Summary

1. Consequence Dragged Anchor NPS 6

Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Effective Energy	Rank
TANKER A	2	1110,499669	5
	4	1318,290192	5
	6	1664,607732	5
TANKER B	2	1309,710996	5
	4	1576,232833	5
	6	2020,435893	5
TANKER C	2	1110,499669	5
	4	1318,290192	5
	6	1664,607732	5
TUGBOAT	2	119,4175012	5
	4	178,4538176	5
	6	276,8476783	5
BULK CARRIER	2	1058,466343	5
	4	1199,456151	5
	6	1434,439166	5
PASSANGER VESSEL	2	520,3607355	5
	4	619,0836303	5
	6	783,6217883	5
CONTAINER	2	400,8143651	5
	4	485,2433145	5
	6	625,9582302	5
FISHING VESSEL	2 ---		1
	4 ---		1
	6 ---		1

2. Consequence Dragged Anchor NPS 8

Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Effective Energy	Rank
TANKER A	2	1108,807672	5
	4	1319,872626	5
	6	1671,647548	5
TANKER B	2	1306,912853	5
	4	1577,421916	5
	6	2028,270354	5
TANKER C	2	1108,807672	5
	4	1319,872626	5
	6	1671,647548	5
TUGBOAT	2	119,467607	5
	4	179,6140591	5
	6	279,8581459	5
BULK CARRIER	2	1057,78828	5
	4	1201,159064	5
	6	1440,110372	5
PASSANGER VESSEL	2	520,1459799	5
	4	620,6241533	5
	6	788,0877756	5
CONTAINER	2	400,7165523	5
	4	486,6757181	5
	6	629,9409945	5
FISHING VESSEL	2	---	1
	4	---	1
	6	---	1

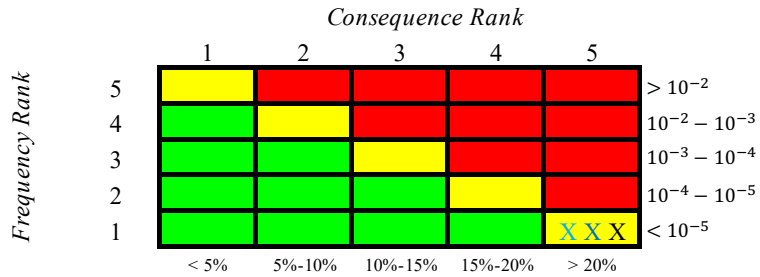
3. Consequence Dragged Anchor NPS 10

Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Effective Energy	Rank
TANKER A	2	1108,807672	5
	4	1319,872626	5
	6	1671,647548	5
TANKER B	2	1306,912853	5
	4	1577,421916	5
	6	2028,270354	5
TANKER C	2	1108,807672	5
	4	1319,872626	5
	6	1671,647548	5
TUGBOAT	2	119,467607	5
	4	179,6140591	5
	6	279,8581459	5
BULK CARRIER	2	1057,78828	5
	4	1201,159064	5
	6	1440,110372	5
PASSANGER VESSEL	2	520,1459799	5
	4	620,6241533	5
	6	788,0877756	5
CONTAINER	2	400,7165523	5
	4	486,6757181	5
	6	629,9409945	5
FISHING VESSEL	2	---	1
	4	---	1
	6	---	1

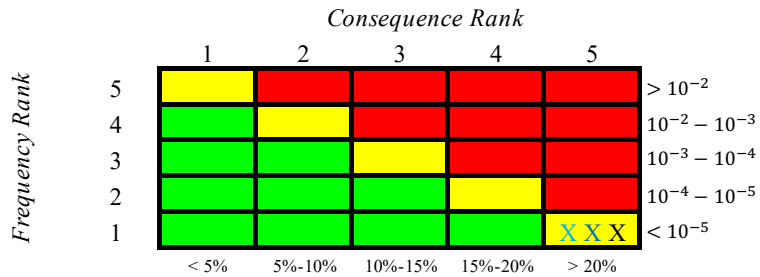
Risk Matrix Summary Dragged Anchor (Existing Condition)

Pipe Type : NPS 6

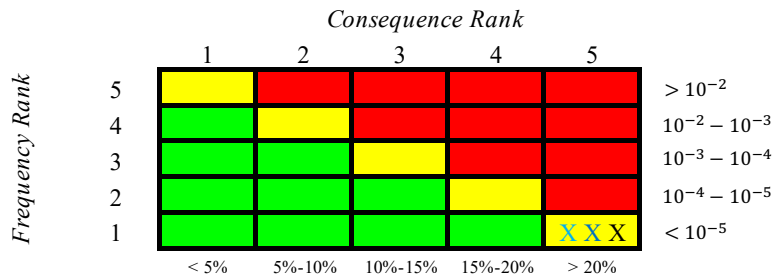
1. Tanker A



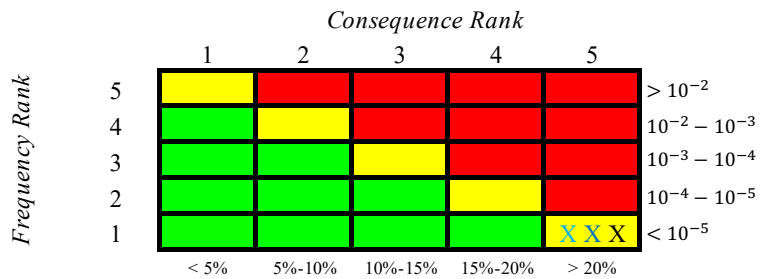
2. Tanker B



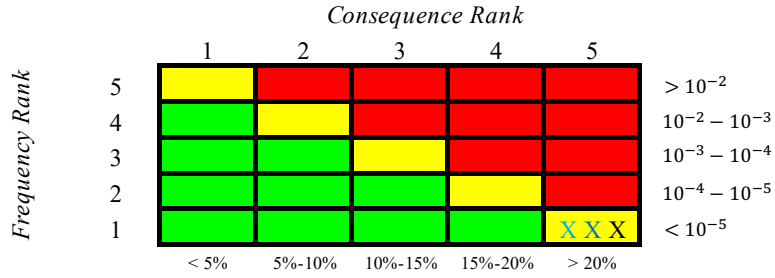
3. Tanker C



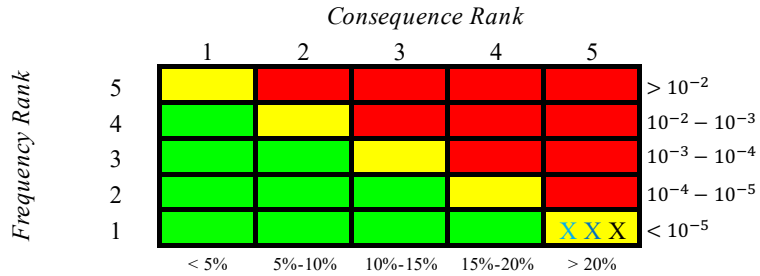
4. Tugboat



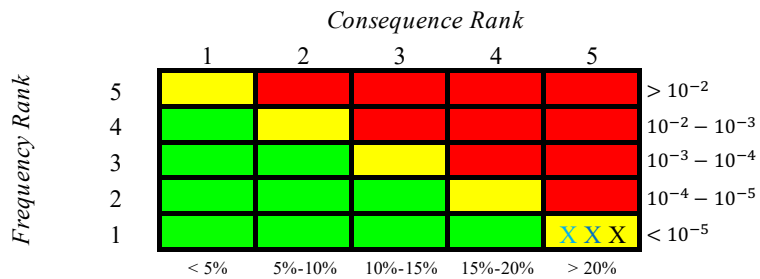
5. Bulk Carrier



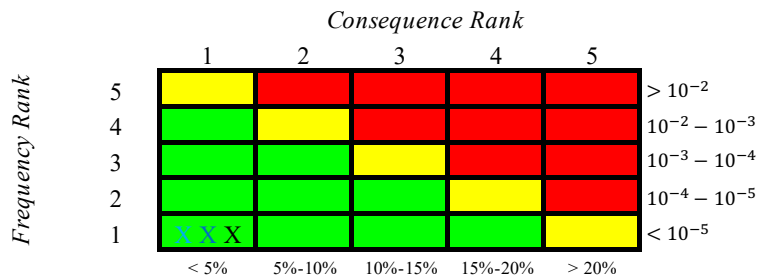
6. Passanger Ship



7. Container



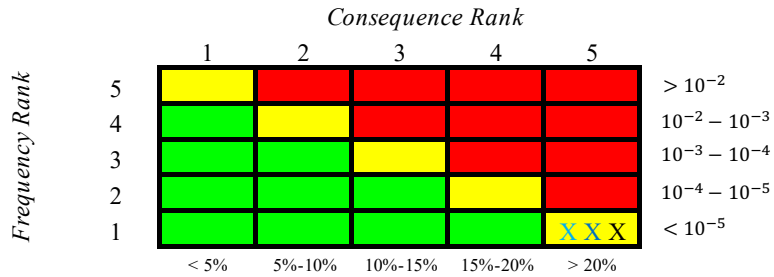
8. Fishing Vessel



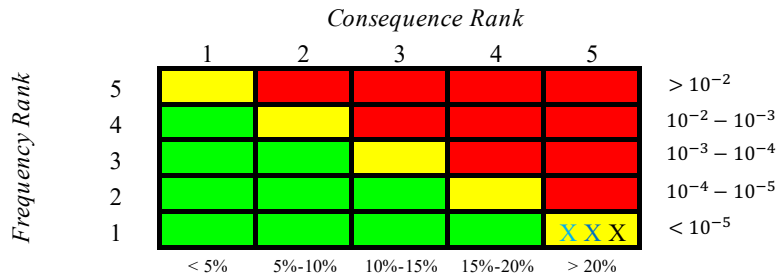
Risk Matrix Summary Dropped Anchor (Existing Condition)

Pipe Type : NPS 8

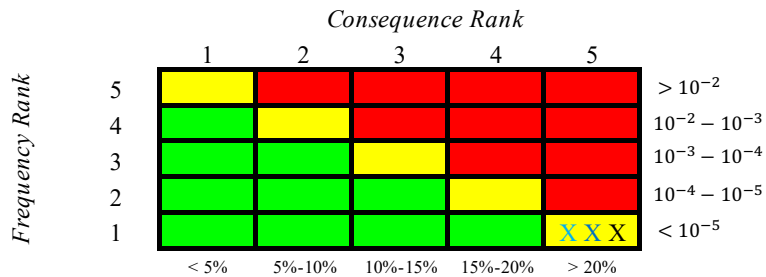
1. Tanker A



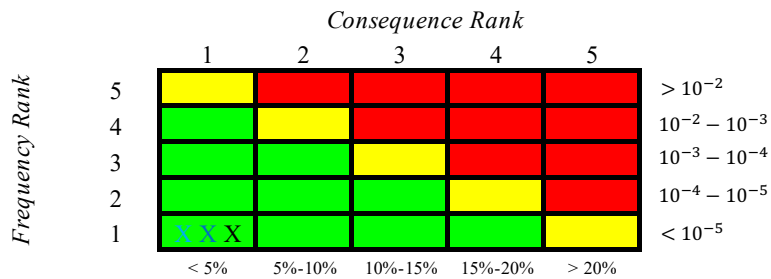
2. Tanker B



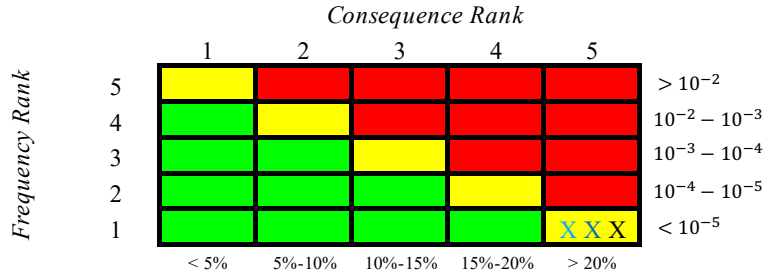
3. Tanker C



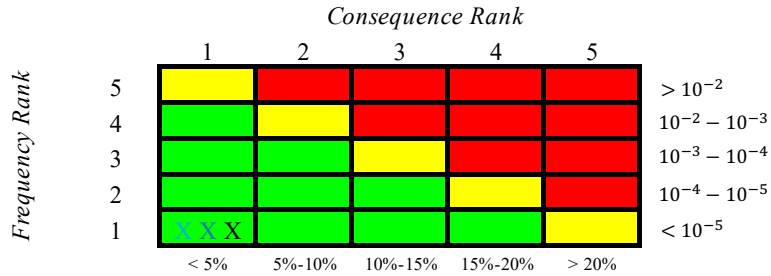
4. Tugboat



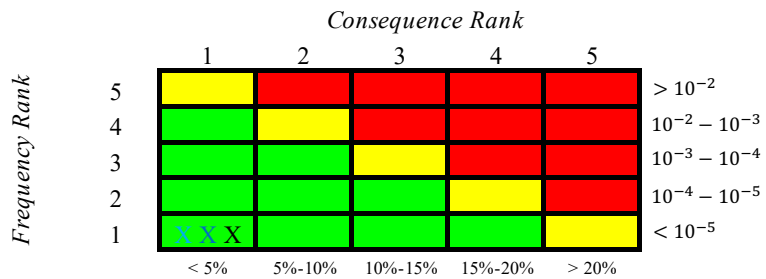
5. Bulk Carrier



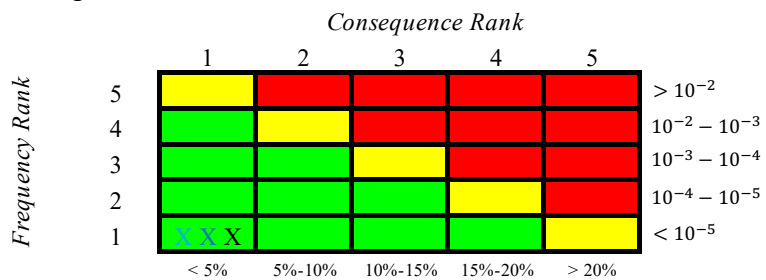
6. Passenger Ship



7. Container



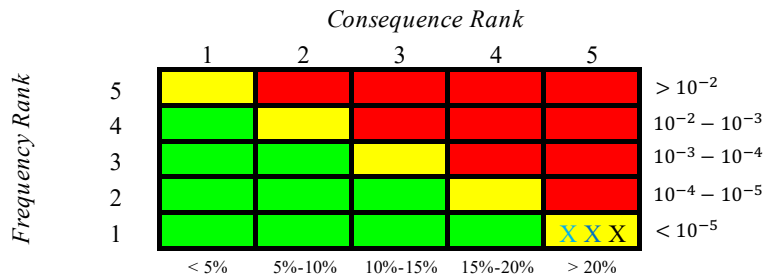
8. Fishing Vessel



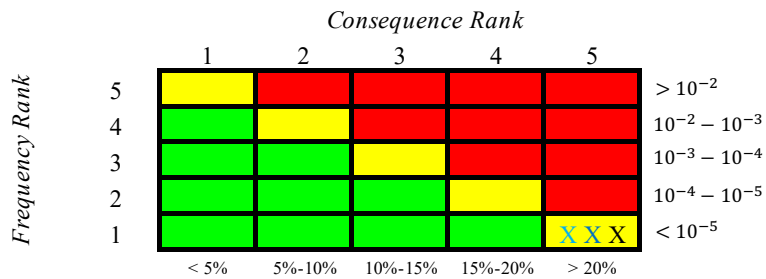
Risk Matrix Summary Dropped Anchor (Existing Condition)

Pipe Type : NPS 10

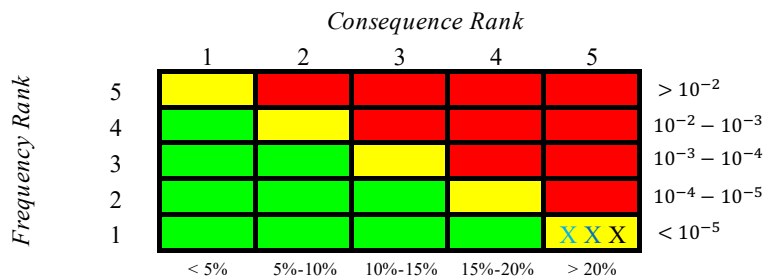
1. Tanker A



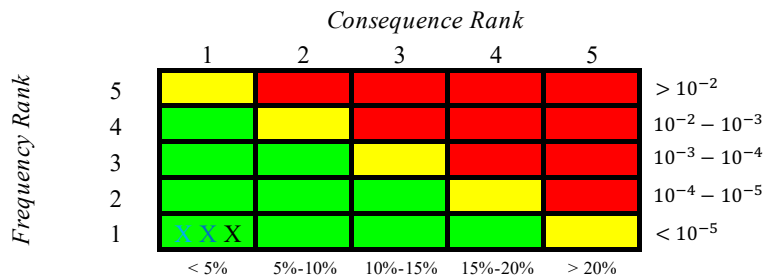
2. Tanker B



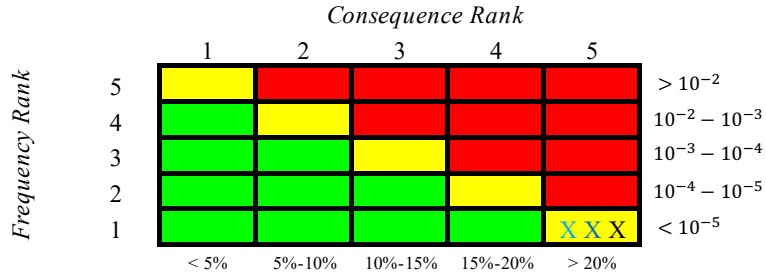
3. Tanker C



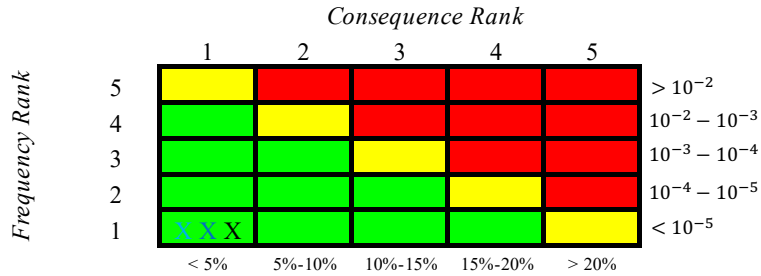
4. Tugboat



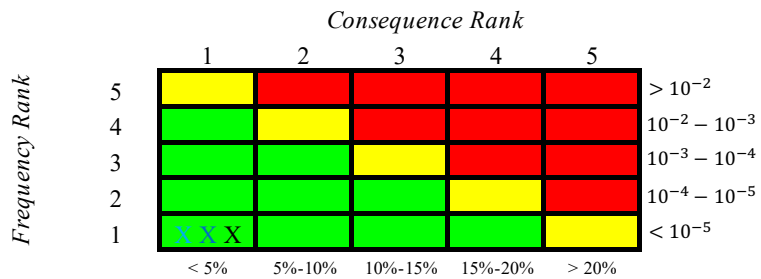
5. Bulk Carrier



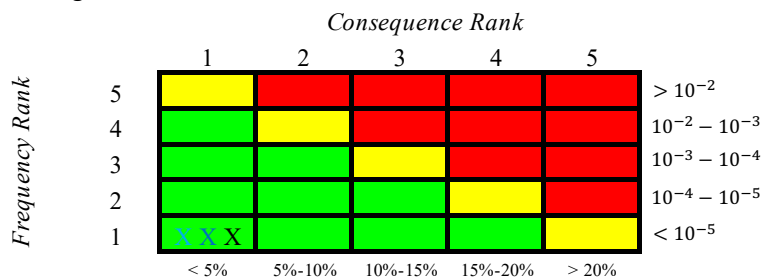
6. Passanger Ship



7. Container



8. Fishing Vessel



Keterangan :

X = Vessel Speed 2 Kn

X = Vessel Speed 4 kn

X = Vessel Speed 6 kn

Existing Condition – Ship Sinking

Ship Sinking Calculation (Existing Condition)

1. Absorbed Energy

Concrete Coating Absorbed Energy (E_k)

Y	Crushing strength	Mpa	120
b	Point load breadth	m	29
h	Point load depth	m	0,15
x_0	Concrete coating	mm	25
E_k	Concrete Coating Absorbed Energy	kJ	13050

Sand Impact Absorbed Energy (E_p)

-	Vessel Length	m	205
-	Vessel Breadth	m	29
A	Anchor Projected Area	m ²	5700
D	Diameter Of Object	m	117
G	Unit Weight of Fill Material	g	10
-	Bearing Capacity Coeficient	Ng	137
-	Bearing Capacity Coeficient	Nq	99
z	Penetration (Trench) Depth (z)	z	0
E_p	Concrete Coating Absorbed Energy	kJ	0,00

Tunnel Structure Absorbed Energy (E_i)

E_i	Total Structure Absorbed Energy	kJ	50,00
-------	---------------------------------	----	-------

Total Absorbed Energy

E	Total Absorbed Energy	kJ	13100,00
-----	-----------------------	----	----------

2. Terminal Energy & Terminal Velocity

m	Vessel Mass	kg	73123500
	Vessel Density	kg/m ³	2079
g	Gravity	m/s ²	9,81
V	Vessel Volume	m ³	35172,4387
ρ_{water}	Density of Seawater	kg/m ³	1025
CD	Drag Coefficient	----	1
L	Vessel Length	m	190
B	Vessel Breadth	m	30
A	Vessel Projected Area	m ²	5700
VT	Anchor Dropped Speed	m/s	11,1576231
ET	Terminal Velocity	J	4551665607
		kJ	4551665,61

3. Added Mass

V	Vessel Volume	m ³	35172,4387
ρ_{water}	Density of Seawater	kg/m ³	1025
C_a	Added Mass Coefficient	----	0,4
m_a	Added Mass	Kg	14420699,9

4. Impact Energy (E_E)

m	Vessel Mass	Kg	73123500
m_a	Added Mass	Kg	14420700
VT	Vessel Dropped Speed	m/s	11,1576231
E_E	Impact Energy	J	5449300479
		kJ	5449300,48

5. Damage Categories

D	Outside Diameter Pipa	m	0,1524
-----	-----------------------	---	--------

t	Wall Thickness	m	0,00711
$SMYS$	Specific minimum yield strength	N/m^2	358520000
m_p	Plastic Moment Capacity	N	4530,98472

6. Damage Classification

Level	Dent/Diameter	Range of Impact Energy			
Level 1	<5%	kj		<	0,48
Level 2	5% - 10%	kj	0,48	-	1,35
Level 3	10% - 15%	kj	1,35	-	2,48
Level 4	15% - 20%	kj	2,48	-	3,82
Level 5	>20%	kj	3,82	>	

7. Effect Impact Energy

Effective Impact Energy to Steel Pipeline after concrete absorption	kj	5436200,48
Consequence Rank	-----	5

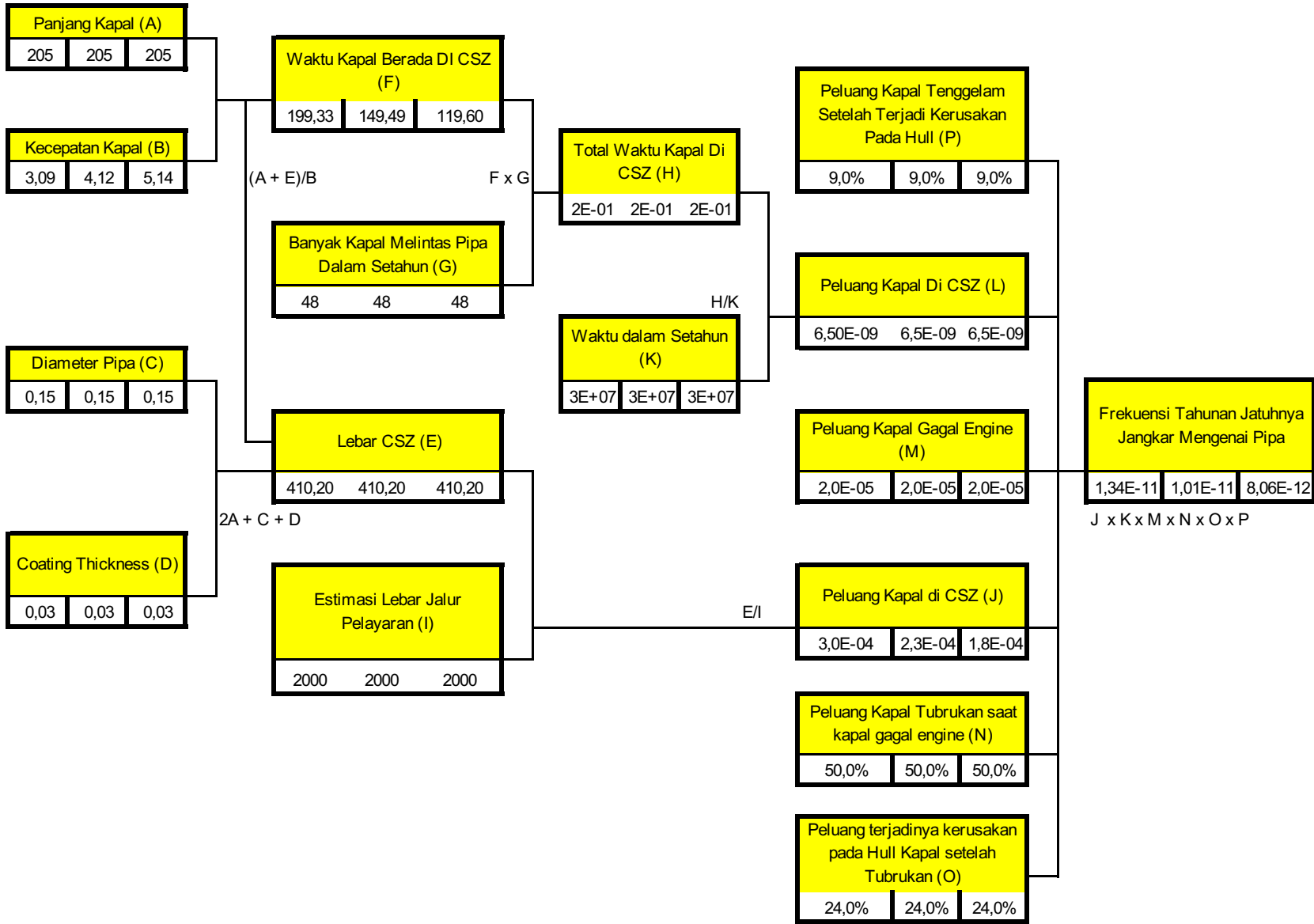
8. Calculation Summary

Pipe Type	Ship Type	Effective Impact Energy	Consequence Rank
NPS 6	TANKER A	5436200,48	5
	TANKER B	16701215,98	5
	TANKER C	6047589,02	5
	TUGBOAT	6976,98	5
	BULK CARRIER	1060145,19	5
	PASSANGER SHIP	221050,31	5
	CONTAINER	89169,54	5
	FISHING VESSEL	-2628,04	1
NPS 8	TANKER A	5436200,48	5
	TANKER B	16701215,98	5
	TANKER C	6047589,02	5
	TUGBOAT	6976,98	5
	BULK CARRIER	1060145,19	5
	PASSANGER SHIP	221050,31	5
	CONTAINER	89169,54	5
	FISHING VESSEL	-2628,04	1
NPS 10	TANKER A	5436200,48	5
	TANKER B	16701215,98	5
	TANKER C	6047589,02	5
	TUGBOAT	6976,98	5
	BULK CARRIER	1060145,19	5
	PASSANGER SHIP	221050,31	5
	CONTAINER	89169,54	5
	FISHING VESSEL	-2628,04	1

Perhitungan Frequency

No	Perhitungan	Persamaan	Keterangan	Satuan	Kecepatan Kapal		
					6 knot	8 knot	10 knot
1	A	-	Panjang Kapal	m	205	205	205
2	B	-	Kecepatan Kapal	m/s	3,08642	4,115226	5,144033
3	C	-	Diameter Pipa	m	0,1524	0,1524	0,1524
4	D	-	Tebal Lapisan Pipa (Concrete Thickness)	m	0,025	0,025	0,025
5	E	$2A + C + 2D$	Lebar CSZ (Critical Sinking Zone)	m	410,2024	410,2024	410,2024
6	F	$(A + E) / B$	Waktu Kapal berada di CSZ	s	199,3256	149,4942	119,5953
7	G	-	Banyak Kapal melintas pipa dalam setahun	-	48	48	48
8	H	$F \times G$	Total Waktu Kapal di CADZ	s	9567,628	7175,721	5740,577
9	I	-	Estimasi Lebar Jalur Pelayaran	m	2000	2000	2000
10	J	E / I	Peluang menjatuhkan jangkar di CADZ	-	0,205101	0,205101	0,205101
11	K	-	Waktu Dalam Setahun	s	31536000	31536000	31536000
12	L	H / K	Peluang Kapal di CADZ	-	0,000303	0,000228	0,000182
13	M		Peluang Kapal Gagal Engine	-	0,00002	0,00002	0,00002
14	N		Peluang Kapal Tubrukan saat kapal gagal engine	-	50%	50%	50%
15	O		Peluang terjadinya kerusakan pada Hull Kapal setelah Tubrukan	-	24%	24%	24%
16	P		Peluang Kapal Tenggelam Setelah Terjadi Kerusakan Pada Hull	-	9%	9%	9%
17	Q	$J \times K \times M \times N \times O \times P$	Peluang Total Kapal akan tenggelam di CSZ	-	1,34E-11	1,01E-11	8,06E-12
18	-		RANK	-	1	1	1

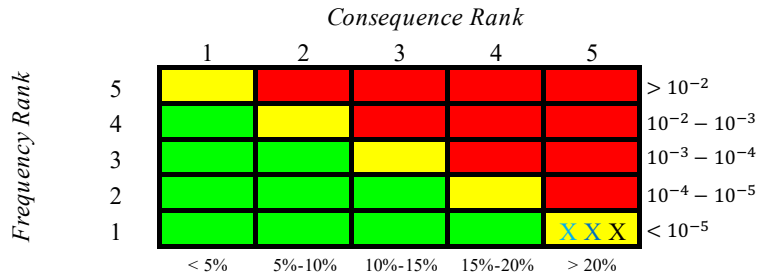
Event Tree Analysis Frequency Ship Sinking



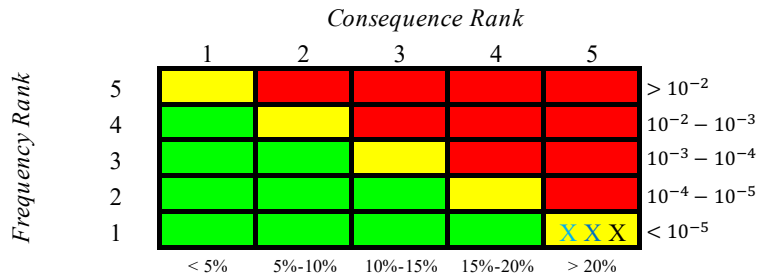
Risk Matrix Summary Ship Sinking (Existing Condition)

Pipe Type : NPS 6

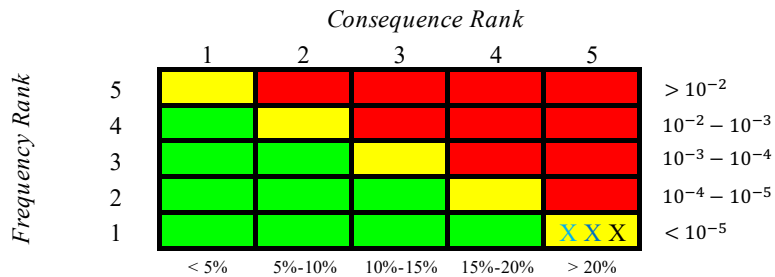
1. Tanker A



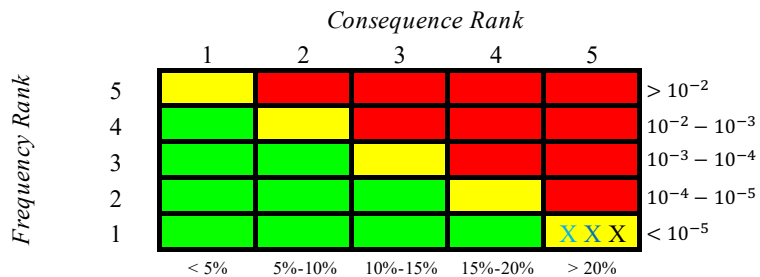
2. Tanker B



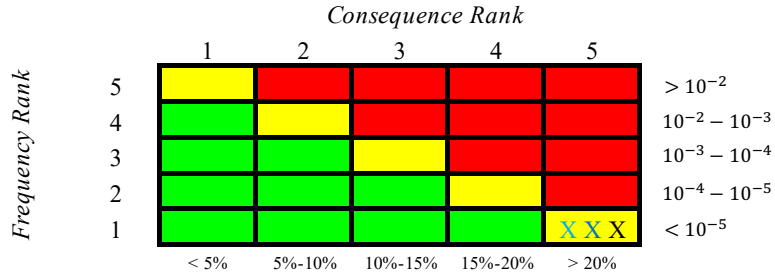
3. Tanker C



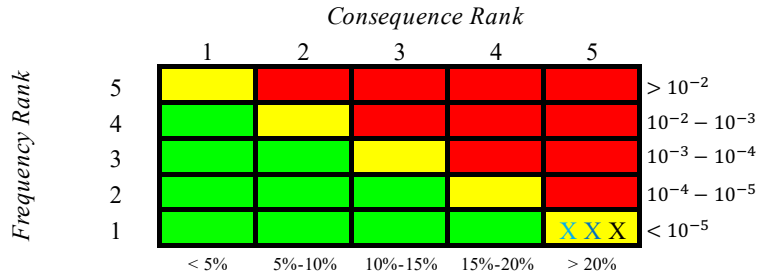
4. Tugboat



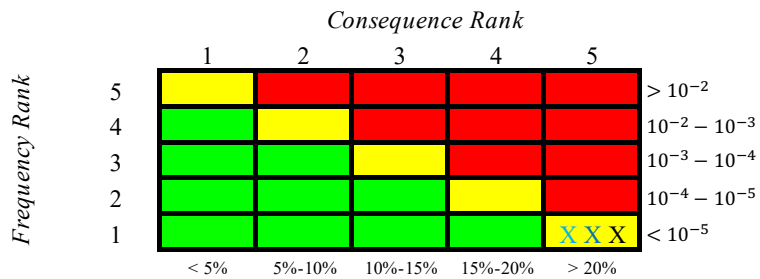
5. Bulk Carrier



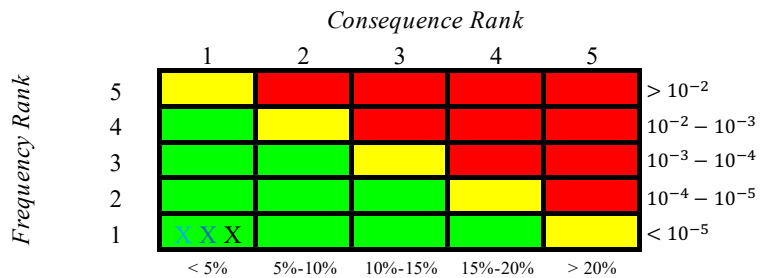
6. Passanger Ship



7. Container



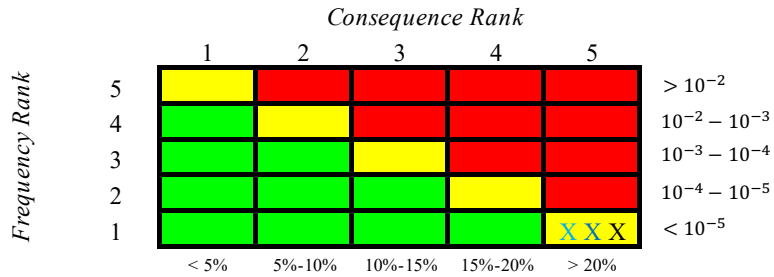
8. Fishing Vessel



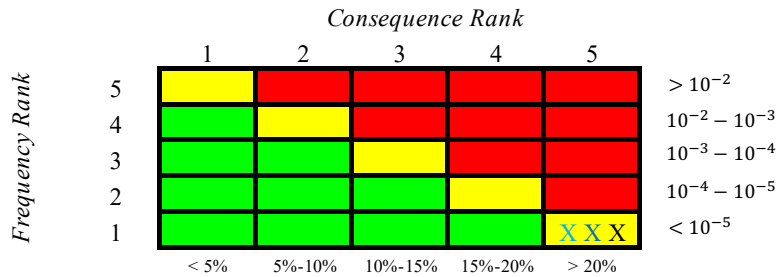
Risk Matrix Summary Dropped Anchor (Existing Condition)

Pipe Type : NPS 8

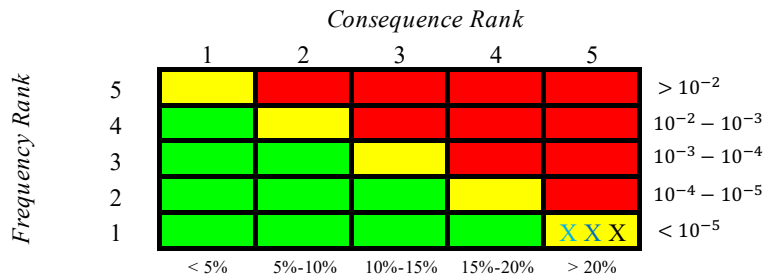
1. Tanker A



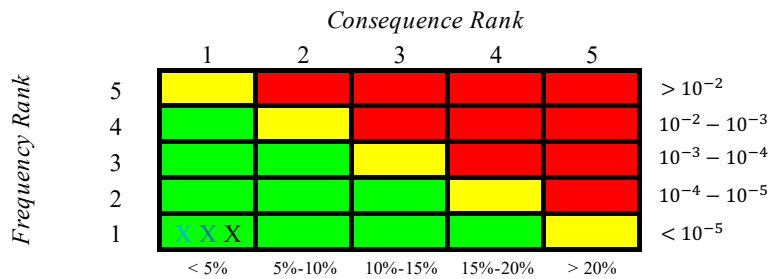
2. Tanker B



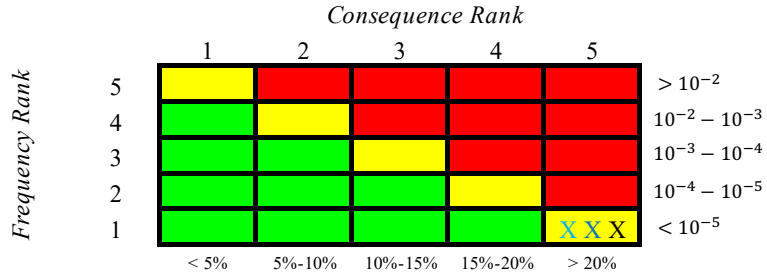
3. Tanker C



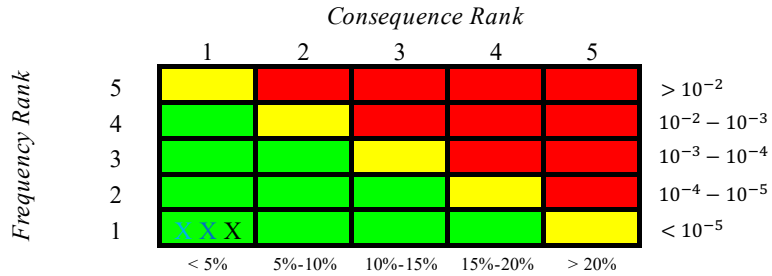
4. Tugboat



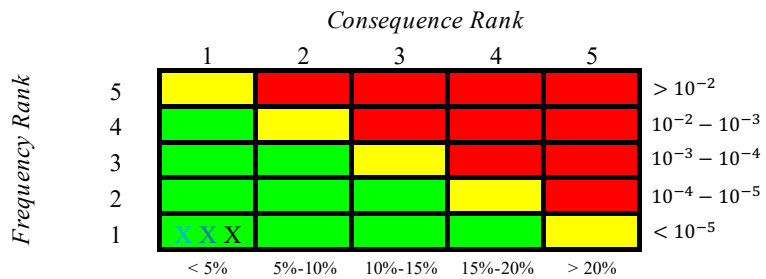
5. Bulk Carrier



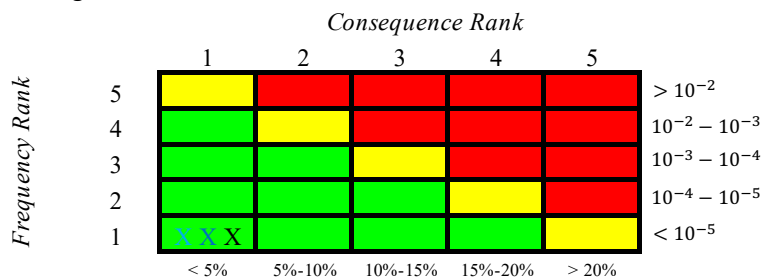
6. Passenger Ship



7. Container



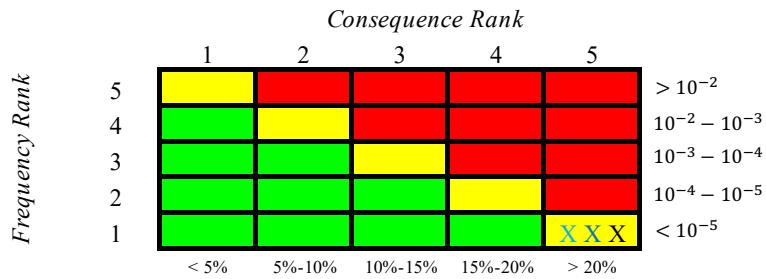
8. Fishing Vessel



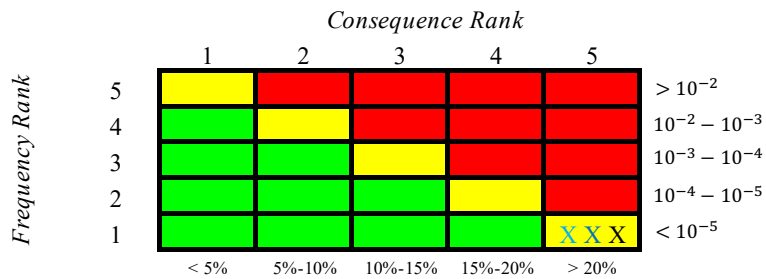
Risk Matrix Summary Dropped Anchor (Existing Condition)

Pipe Type : NPS 10

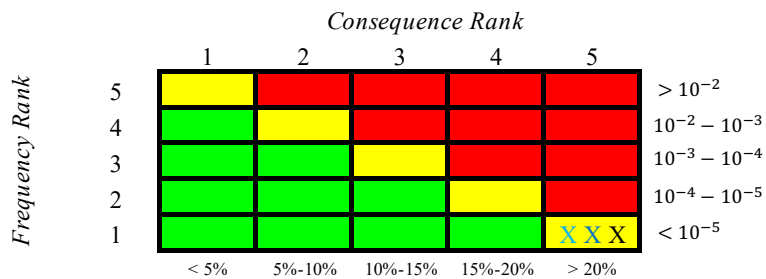
1. Tanker A



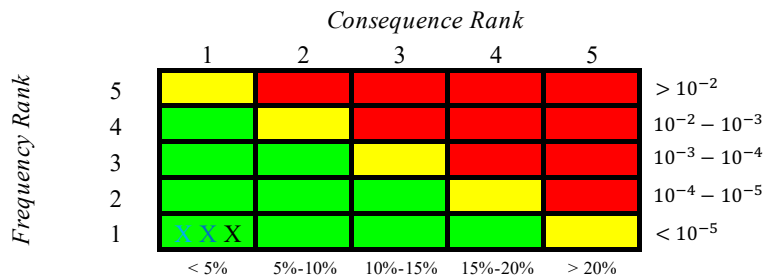
2. Tanker B



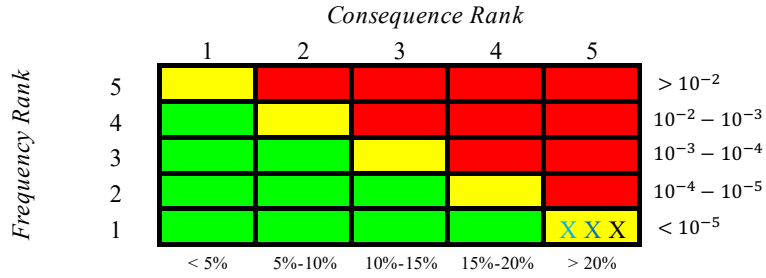
3. Tanker C



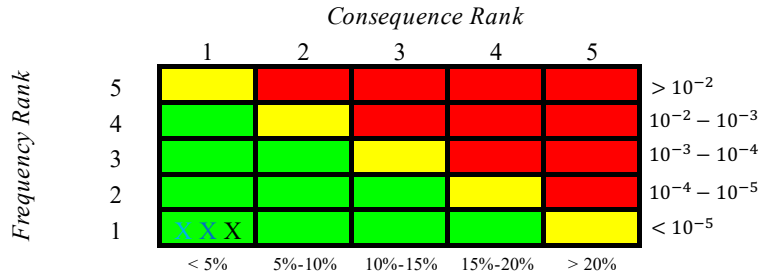
4. Tugboat



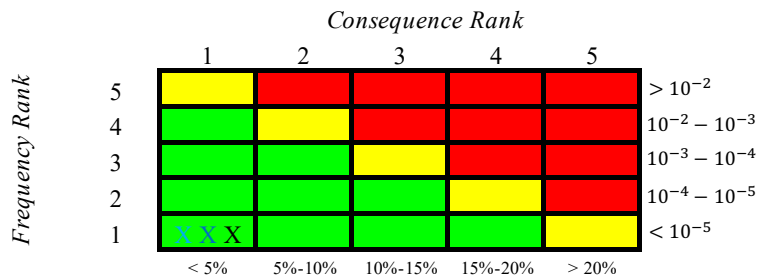
5. Bulk Carrier



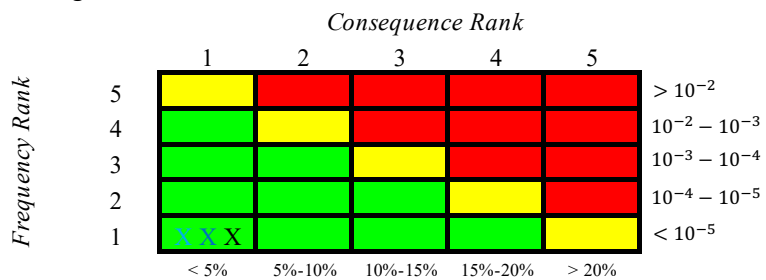
6. Passanger Ship



7. Container



8. Fishing Vessel



Keterangan :

X = Vessel Speed 0,25 kn

X = Vessel Speed 0,5 kn

X = Vessel Speed 0,75 kn

Future Condition – Dropped Anchor

Future Condition

Input Calculation Data (Ship & Pipe Data)

Ship Data :

No	Tipe Kapal	Deskripsi Kapal	Frequency /Year	Range DWT	Length (m)	Beam (m)	Berat Jangkar (Ton)	Draft (m)
1	TANKER A	Size Medium Range (MR)	152	50000	205	29	8,7	16
2	TANKER B	Size Aframax (LR)	152	80000	245	34	12,9	20
3	TANKER C	Size VLGC	76	55000	226	37	8,7	12
4	TUGBOAT	Tanker Tug	1142	1000	56	14	1	6
5	BULK CARRIER	Size Ultramax	152	62000	200	32	4,6	6,6
6	PASSANGER SHIP	Ferries	190	15000	146	24	2,5	5,6
7	CONTAINER	600 TEUs	114	8250	115	21	1,9	5,3
8	FISHING VESSEL	-	1523	< 50	25	6	0,48	3

Pipe Data :

PIPE DATA		
Pipe Description :	NPS 6	
Pipe Type :	5L-X52	
Pipe Diameter :	6	Inch
Wall Thickness :	7,11	mm
SYMS :	3,6E+08	N/m ²
Pipe Concrete Coating :	Fusion Bonded Epoxy	
Concrete Coating Thickness :	25	mm

PIPE DATA		
Pipe Description :	NPS 8	
Pipe Type :	5L-X52	
Pipe Diameter :	8	Inch
Wall Thickness :	8,18	mm
SYMS :	3,6E+08	N/m ²
Pipe Concrete Coating :	Fusion Bonded Epoxy	
Concrete Coating Thickness :	25	mm

PIPE DATA		
Pipe Description :	NPS 10	
Pipe Type :	5L-X52	
Pipe Diameter :	10	Inch
Wall Thickness :	8,74	mm
SYMS :	3,6E+08	N/m ²
Pipe Concrete Coating :	Fusion Bonded Epoxy	
Concrete Coating Thickness :	25	mm

<i>SMYS</i>	<i>Specific minimum yield strength</i>	<i>N/m²</i>	358520000
<i>m_p</i>	<i>Plastic Moment Capacity</i>	<i>N</i>	4530,98472

6. Damage Classification

Level	Dent/Diameter	Range of Impact Energy			
Level 1	< 5%	kJ		<	0,48
Level 2	5% - 10%	kJ	0,48	-	1,35
Level 3	10% - 15%	kJ	1,35	-	2,48
Level 4	15% - 20%	kJ	2,48	-	3,82
Level 5	> 20%	kJ	3,82	>	

7. Effect Impact Energy

Effective Impact Energy to Steel Pipeline after concrete absorption	kJ	314,65
<i>Consequence Rank</i>	-----	5

8. Calculation Summary

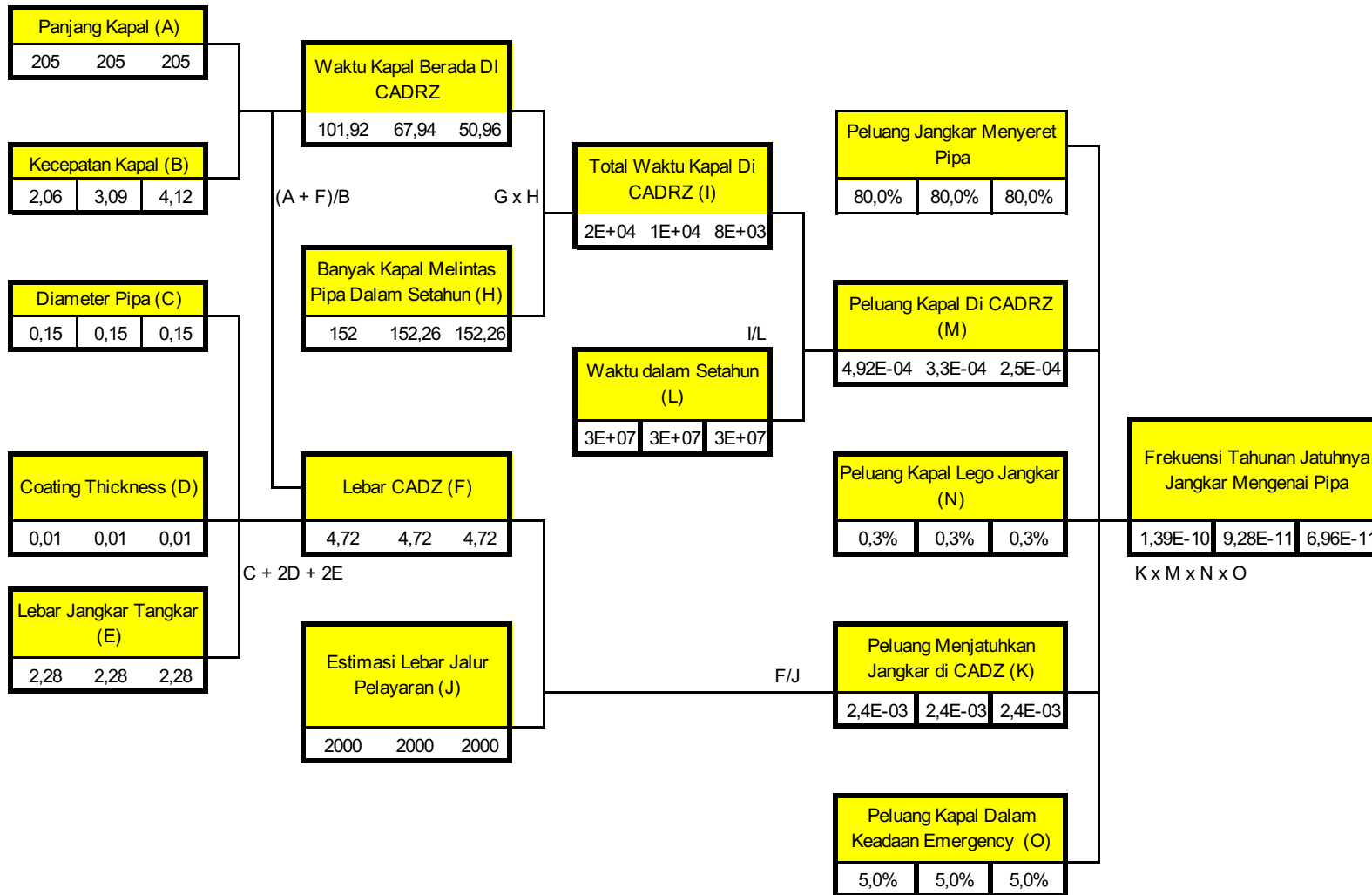
Pipe Type	Ship Type	Effective Impact Energy	Consequence Rank
NPS 6	TANKER A	314,65	5
	TANKER B	616,32	5
	TANKER C	314,65	5
	TUGBOAT	-58,98	1
	BULK CARRIER	84,81	5
	PASSANGER SHIP	-7,52	1
	CONTAINER	-31,65	5
	FISHING VESSEL	<i>No Anchor</i>	1
NPS 8	TANKER A	314,65	5
	TANKER B	616,32	5
	TANKER C	314,65	5
	TUGBOAT	-58,98	1
	BULK CARRIER	84,81	5
	PASSANGER SHIP	-7,52	1
	CONTAINER	-31,65	5
	FISHING VESSEL	<i>No Anchor</i>	1
NPS 10	TANKER A	314,65	5
	TANKER B	616,32	5
	TANKER C	314,65	5
	TUGBOAT	-58,98	1
	BULK CARRIER	84,81	5
	PASSANGER SHIP	-7,52	1
	CONTAINER	-31,65	5
	FISHING VESSEL	<i>No Anchor</i>	1

TANKER A - NPS 6

Frekuensi Dragged Anchor

No	Perhitungan	Persamaan	Keterangan	Satuan	Kecepatan Kapal		
					4 knot	6 knot	8 knot
1	A	-	Panjang Kapal	m	205	205	205
2	B	-	Kecepatan Kapal	m/s	2,05776	3,08664	4,11552
3	C	-	Diameter Pipa	m	0,1524	0,1524	0,1524
4	D	-	Tebal Lapisan Pipa (Concrete Thickness)	m	0,00711	0,00711	0,00711
5	E	-	Lebar Jangkar Tangkar	m	2,275	2,275	2,275
6	F	$C + 2D + 2E$	Lebar CADZ (Critical Anchor Damage Zone)	m	4,71662	4,71662	4,71662
7	G	$(A + F) / B$	Waktu Kapal berada di CADZ	s	101,915	67,94334	50,9575
8	H	-	Banyak Kapal melintas pipa dalam setahun	-	152	152	152
9	I	$G \times H$	Total Waktu Kapal di CADZ	s	15518	10345,33	7758,999
10	J	-	Estimasi Lebar Jalur Pelayaran	m	2000	2000	2000
11	K	F / J	Peluang menjatuhkan jangkar di CADZ	-	0,002358	0,002358	0,002358
12	L	-	Waktu Dalam Setahun	s	31536000	31536000	31536000
13	M	I / L	Peluang Kapal di CADZ	-	0,000492	0,000328	0,000246
14	N		Peluang kapal Lego jangkar	-	0,003	0,003	0,003
15	O		Peluang Jangkar Menyeret Pipa	-	0,8	0,8	0,8
16	P		Peluang kapal dalam keadaan emergency	-	5%	5%	5%
17	Q	$K \times M \times N \times O \times P$	Frekuensi tahunan jatuhnya jangkar mengenai pipa	-	1,39E-10	9,28E-11	6,96E-11
18			RANK	-	1	1	1

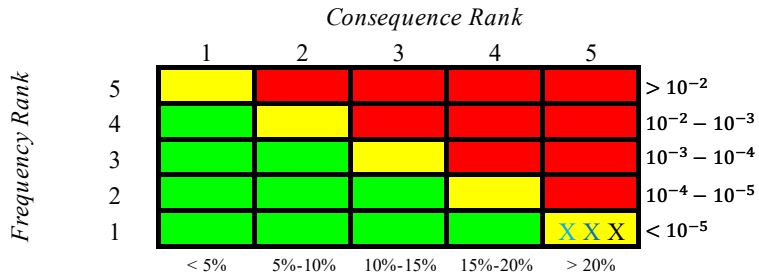
Event Tree Analysis Frequency Dropped Anchor (TANKER A)



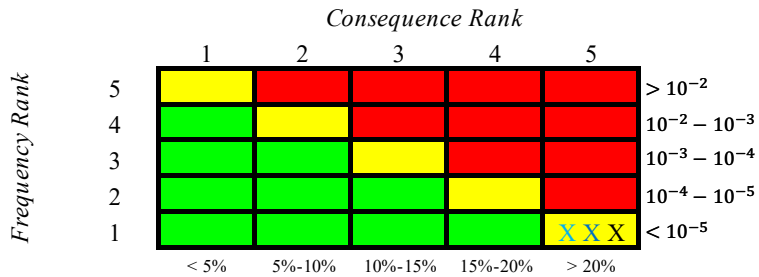
Risk Matrix Summary Dropped Anchor (Future Condition)

Pipe Type : NPS 6

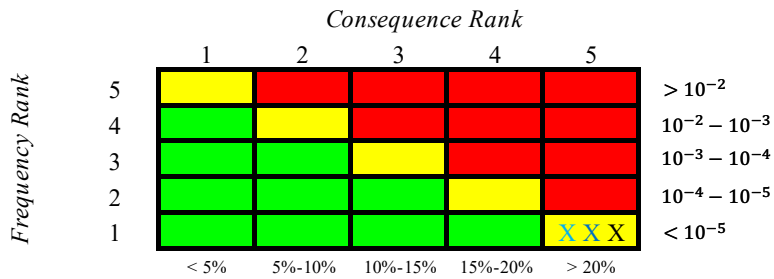
1. Tanker A



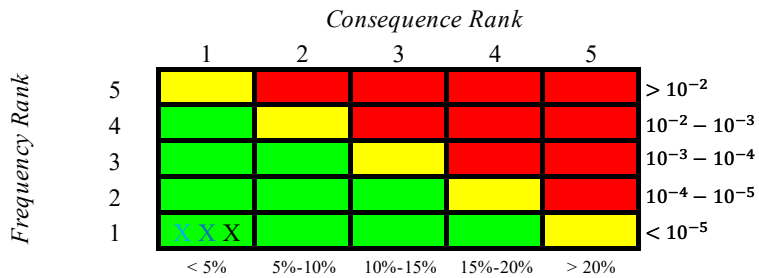
2. Tanker B



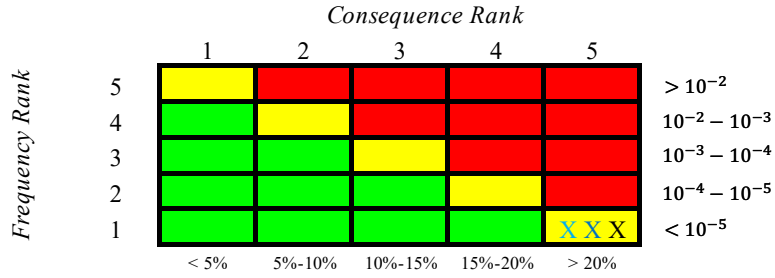
3. Tanker C



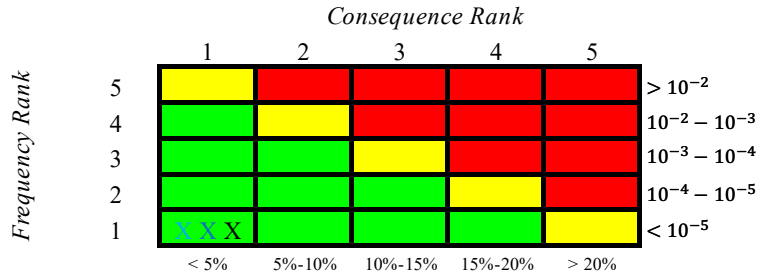
4. Tugboat



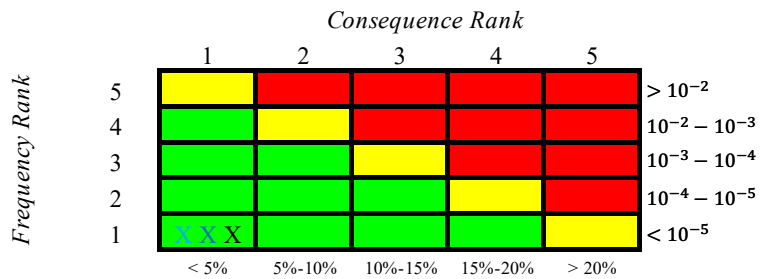
5. Bulk Carrier



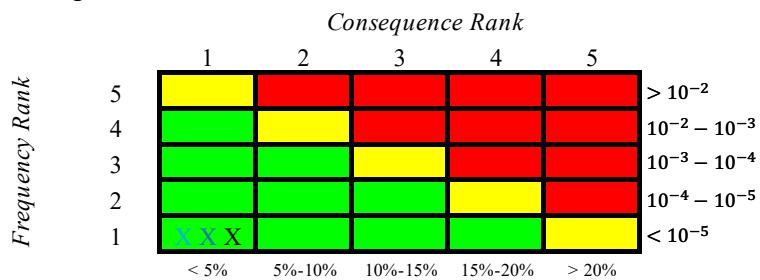
6. Passenger Ship



7. Container



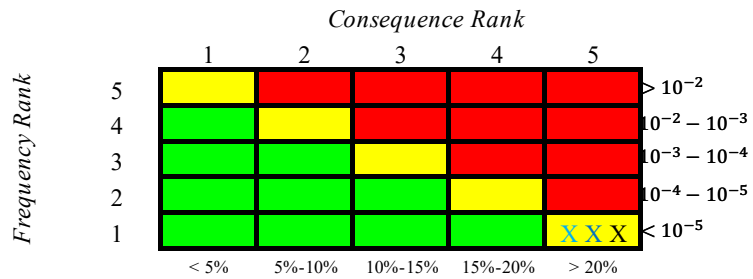
8. Fishing Vessel



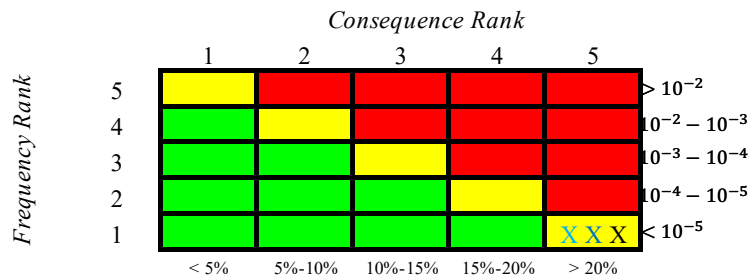
Risk Matrix Summary Dropped Anchor (Existing Condition)

Pipe Type : NPS 8

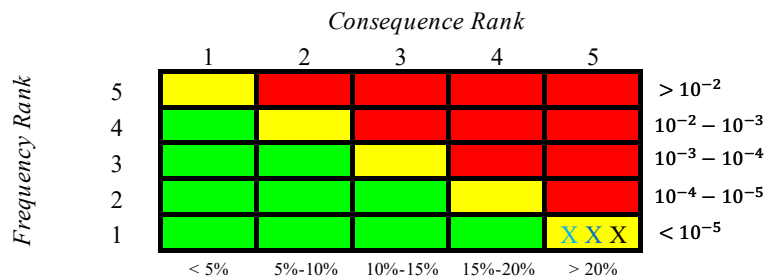
1. Tanker A



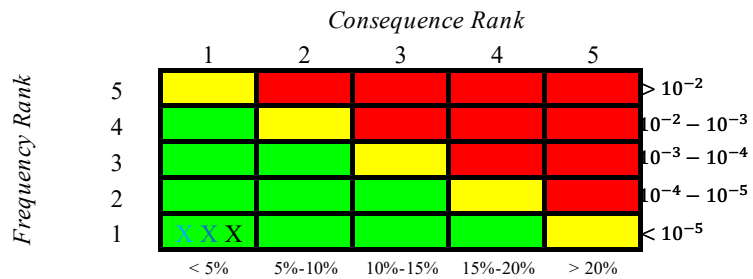
2. Tanker B



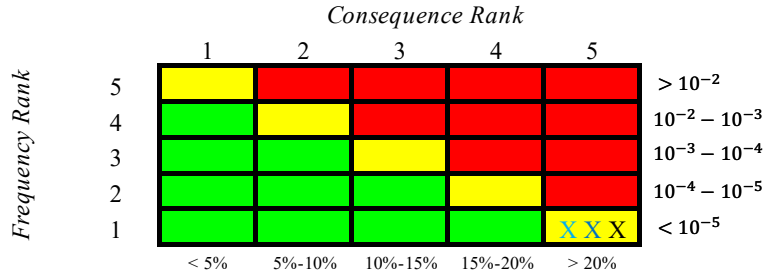
3. Tanker C



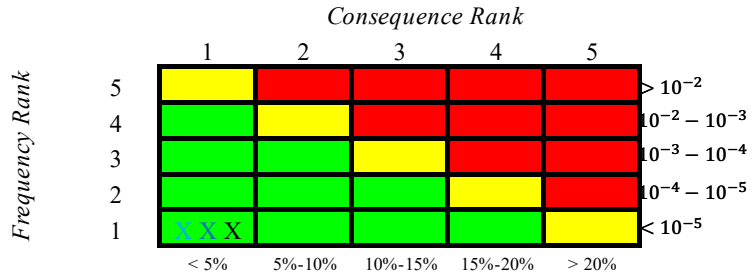
4. Tugboat



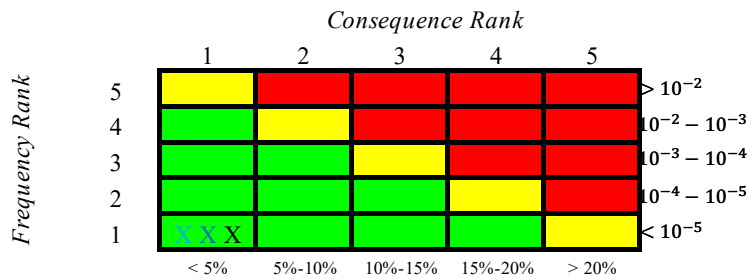
5. Bulk Carrier



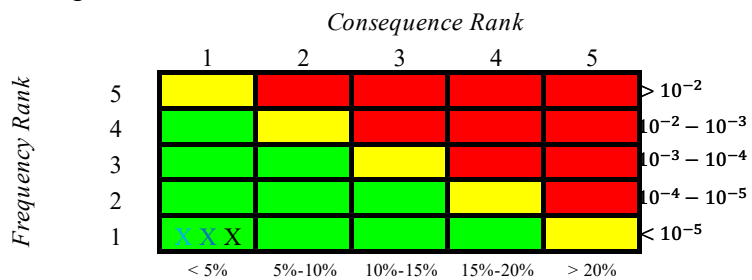
6. Passanger Ship



7. Container



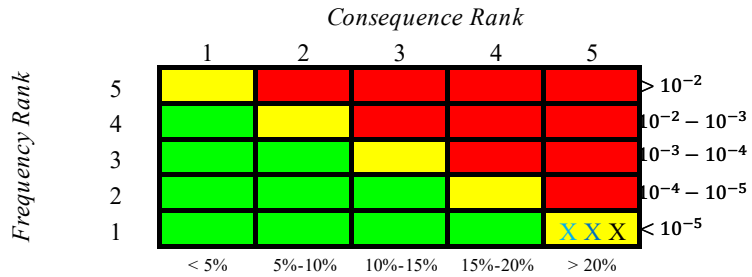
8. Fishing Vessel



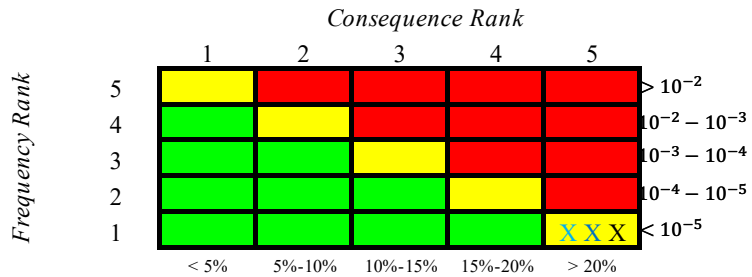
Risk Matrix Summary Dropped Anchor (Existing Condition)

Pipe Type : NPS 10

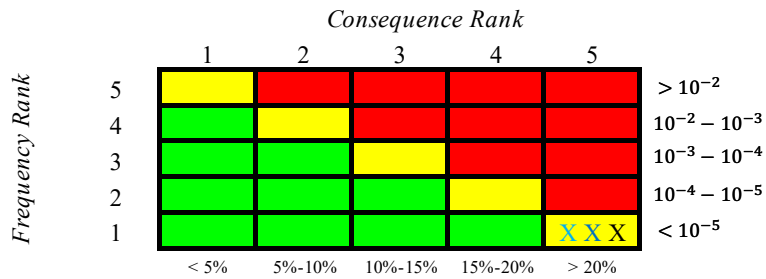
1. Tanker A



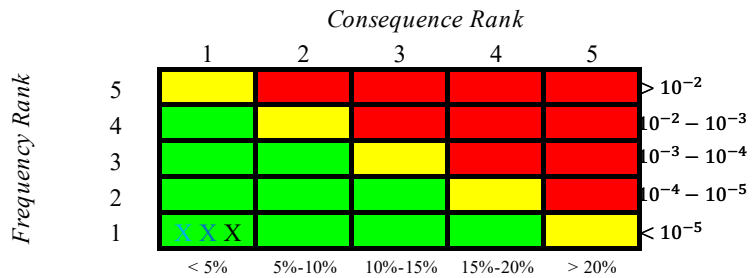
2. Tanker B



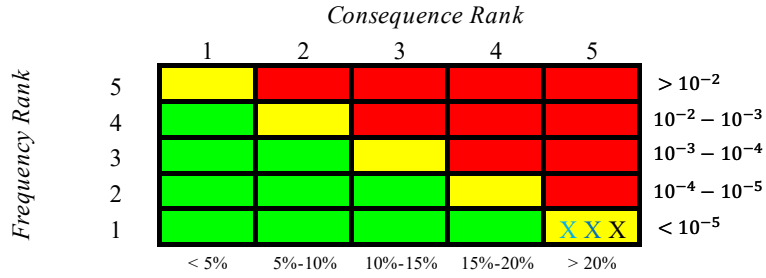
3. Tanker C



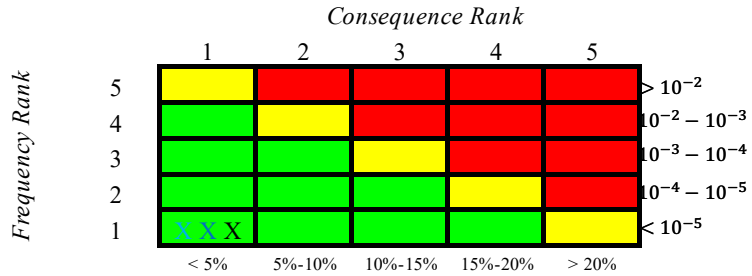
4. Tugboat



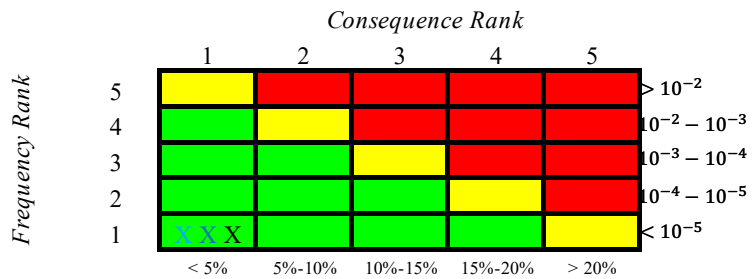
5. Bulk Carrier



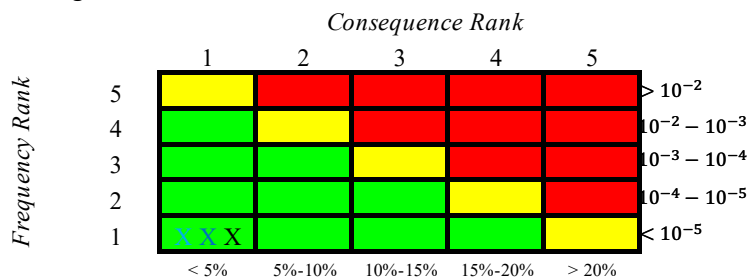
6. Passanger Ship



7. Container



8. Fishing Vessel



Keterangan :

X = Vessel Speed 0,25 kn

X = Vessel Speed 0,5 kn

X = Vessel Speed 0,75 kn

Future Condition – Dragged Anchor

Dragged Anchor Calculation (Future Condition)

Pipeline Dimension and Material			
Pipeline Dimension			
Outer Dimension, D (m)	=	0,1524	m
Wall Thickness, t_{nom} (m)	=	0,00711	m
Corrosion allowance, t_{corr} (m)	=	0,003	m
Steel Material			
Steel Quality	=	5L-X52	
SMYS	=	358520000	N/m ²
Coating			
Type	=	Concrete	
Thickness	=	0,025	m
Specific Weight	=	3044	kg/m ³
Content			
Content	=	Butane Gas	
Environmental Data			
Water Depth, d	=	24	m
Ambient Temperature	=	30	C
Soil Conditions			
Sand, Friction Degree	=	45	deg.
Fluid Category	=	B	
Location Class	=	1	
Safety Class	=	Normal	
Trawl Height	=	1,634	m
Steel Mass, mt	=	8700	Kg
Velocity, V	=	2	Knot
	=	1,03	m/s
Length, Lw	=	3.5 x d	shallow
	=	84	m

Analysis of impact energy caused by Impact, pull-over & Hooking

A. Impact energy of anchor

Hydrodynamic Mass	=	18618	kg
$m_a = 2.14 \times mt$			
Bending Stiffness, kb	=	10	M N/m
Impact Velocity Coefficient, C_h	=	0,85	
Steel Mass Associated, R_{fs}	=	1	
Added Mass Associated, R_{fa}	=	1	
Pipe Wall Thickness, t	=	0,00711	

Absorbed Impact Energy (E_s)

$$E_s = 3327,028789 \text{ Joule}$$

$$= 3,33 \text{ KJ}$$

Where :

$$S = V \times t$$

$$= 0,617328$$

$$E = Fz \times s$$

$$= 52289,21 \quad \text{Joule}$$

$$= 52,29 \quad \text{KJ}$$

C. Hooking

Trawl equipment, additional data for hooking calculation :

Load factor :

Lifting Height

$$H_l = 0,51868 \quad \text{m}$$

Besarnya energi yang bekerja pada saat hooking

$$E = E_p + E_k$$

$$= 104587,51 \quad \text{Joule}$$

$$= 104,59 \quad \text{KJ}$$

D. Total Energy of impact, pull-over & Hooking

$$E_{\text{total}} = E_{\text{impact}} + E_{\text{pull-over}} + E_{\text{hooking}}$$

$$= 164,00 \quad \text{KJ}$$

3. Impact Energy caused by Main Engine

Ship Power data

$$T = \frac{R}{(1 - t)}$$

T = Thrust Horse Power

$$t = 0.5 C_p - 0.12$$

(for single propeller)

Parameter		Units
Cp	=	0,82
t	=	0.5 Cp - 0.12
		0,29
Cb	=	0,82
w	=	0.5 Cb - 0.05
		0,36
V drag	=	1,03 m/s
Lpp	=	205 m
Lwl	=	213,2 m
B	=	29 m
T	=	16 m
H	=	18 m
Vs	=	14 Knot

		Hull Efficiency
--	--	-----------------

Damage Categories

D	Outside Diameter Pipa	m	0,1524
t	Wall Thickness	m	0,00711
$SMYS$	Specific minimum yield strength	N/m^2	358520000
m_p	Plastic Moment Capacity	N	4530,98472

Damage Classification

Level	Dent/Diameter	Range of Impact Energy			
Level 1	< 5%	kJ		<	0,48
Level 2	5% - 10%	kJ	0,48	-	1,35
Level 3	10% - 15%	kJ	1,35	-	2,48
Level 4	15% - 20%	kJ	2,48	-	3,82
Level 5	> 20%	kJ	3,82	>	

Effect Impact Energy

Effective Impact Energy	kJ	1110,50
Consequence Rank	-----	5

Calculation Summary

1. Consequence Dragged Anchor NPS 6

Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Effective Energy	Rank
TANKER A	2	1110,499669	5
	4	1318,290192	5
	6	1664,607732	5
TANKER B	2	1309,710996	5
	4	1576,232833	5
	6	2020,435893	5
TANKER C	2	1110,499669	5
	4	1318,290192	5
	6	1664,607732	5
TUGBOAT	2	119,4175012	5
	4	178,4538176	5
	6	276,8476783	5
BULK CARRIER	2	1058,466343	5
	4	1199,456151	5
	6	1434,439166	5
PASSANGER VESSEL	2	520,3607355	5
	4	619,0836303	5
	6	783,6217883	5
CONTAINER	2	400,8143651	5
	4	485,2433145	5
	6	625,9582302	5
FISHING VESSEL	2 ---		1
	4 ---		1
	6 ---		1

2. Consequence Dragged Anchor NPS 8

Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Effective Energy	Rank
TANKER A	2	1108,807672	5
	4	1319,872626	5
	6	1671,647548	5
TANKER B	2	1306,912853	5
	4	1577,421916	5
	6	2028,270354	5
TANKER C	2	1108,807672	5
	4	1319,872626	5
	6	1671,647548	5
TUGBOAT	2	119,467607	5
	4	179,6140591	5
	6	279,8581459	5
BULK CARRIER	2	1057,78828	5
	4	1201,159064	5
	6	1440,110372	5
PASSANGER VESSEL	2	520,1459799	5
	4	620,6241533	5
	6	788,0877756	5
CONTAINER	2	400,7165523	5
	4	486,6757181	5
	6	629,9409945	5
FISHING VESSEL	2	---	1
	4	---	1
	6	---	1

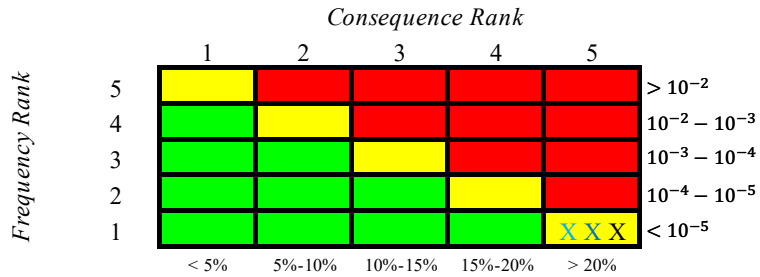
3. Consequence Dragged Anchor NPS 10

Type Of Vessel	Vessel Speed (Knot)	Effective Energy	Rank
TANKER A	2	1108,807672	5
	4	1319,872626	5
	6	1671,647548	5
TANKER B	2	1306,912853	5
	4	1577,421916	5
	6	2028,270354	5
TANKER C	2	1108,807672	5
	4	1319,872626	5
	6	1671,647548	5
TUGBOAT	2	119,467607	5
	4	179,6140591	5
	6	279,8581459	5
BULK CARRIER	2	1057,78828	5
	4	1201,159064	5
	6	1440,110372	5
PASSANGER VESSEL	2	520,1459799	5
	4	620,6241533	5
	6	788,0877756	5
CONTAINER	2	400,7165523	5
	4	486,6757181	5
	6	629,9409945	5
FISHING VESSEL	2	---	1
	4	---	1
	6	---	1

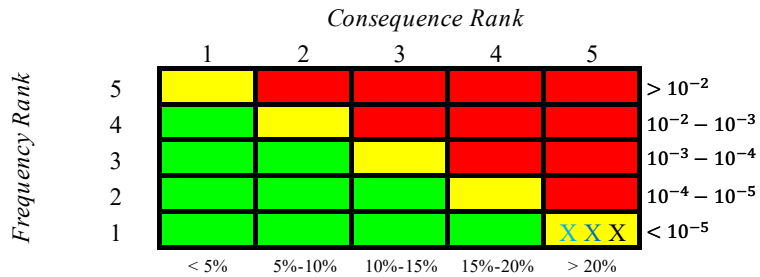
Risk Matrix Summary Dragged Anchor (Future Condition)

Pipe Type : NPS 6

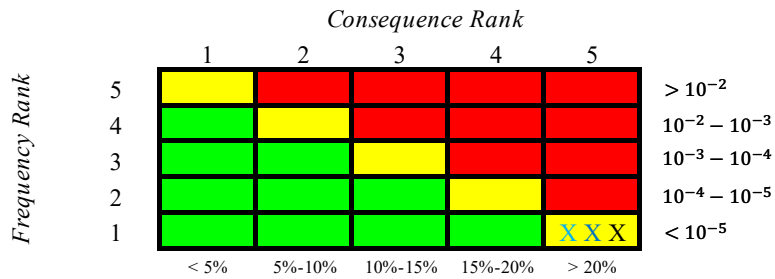
1. Tanker A



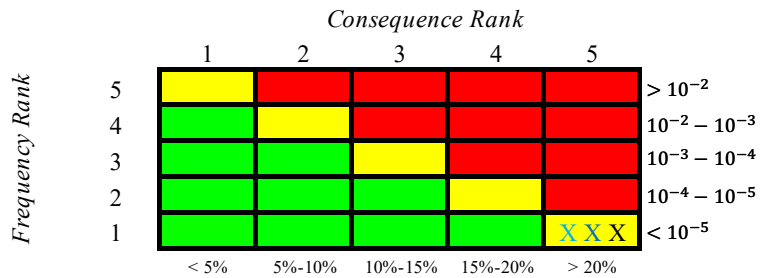
2. Tanker B



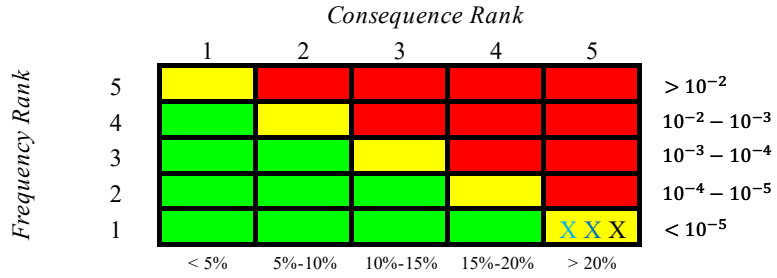
3. Tanker C



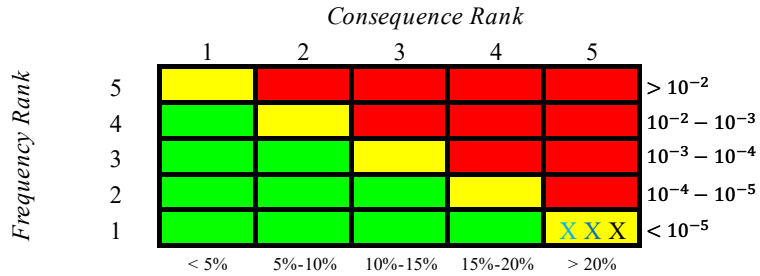
4. Tugboat



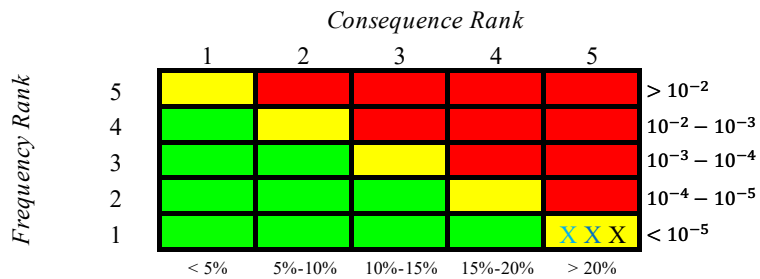
5. Bulk Carrier



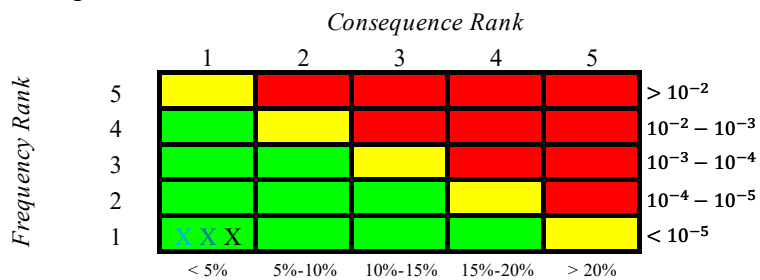
6. Passanger Ship



7. Container



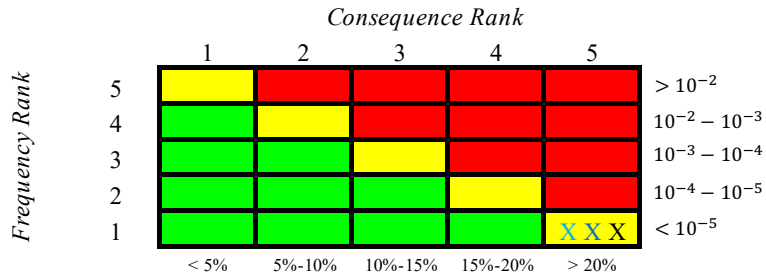
8. Fishing Vessel



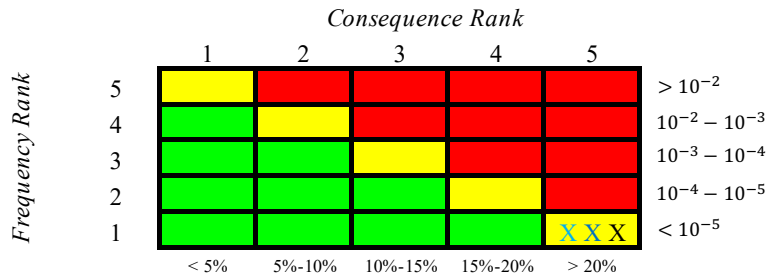
Risk Matrix Summary Dropped Anchor (Existing Condition)

Pipe Type : NPS 8

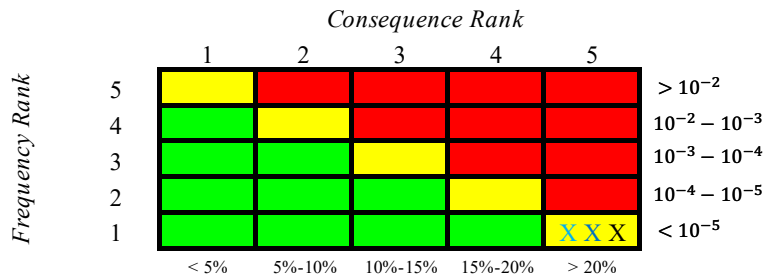
1. Tanker A



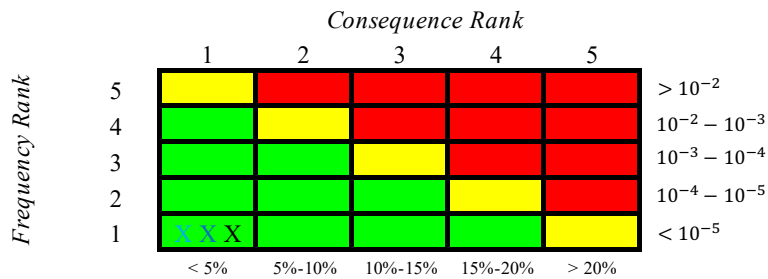
2. Tanker B



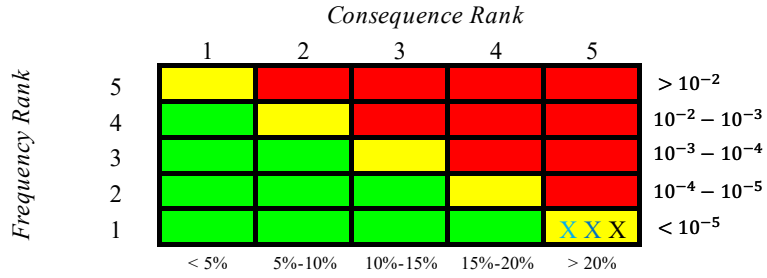
3. Tanker C



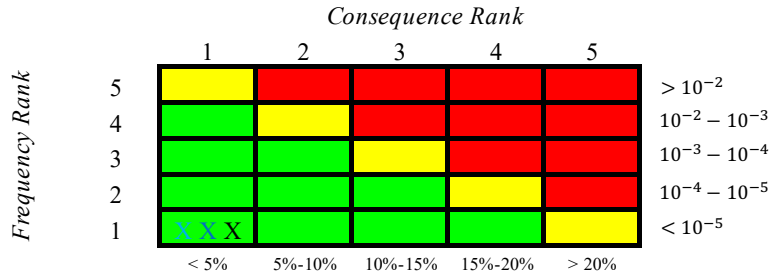
4. Tugboat



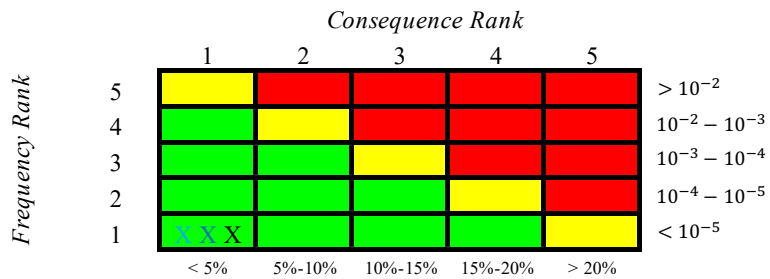
5. Bulk Carrier



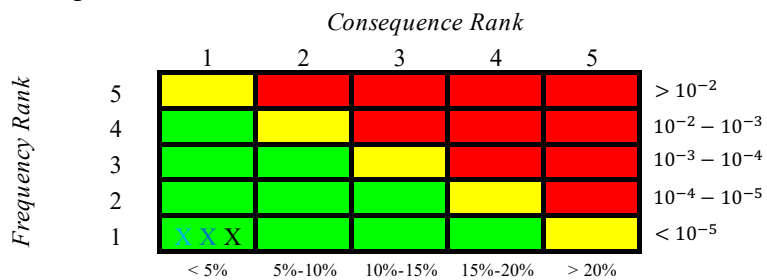
6. Passenger Ship



7. Container



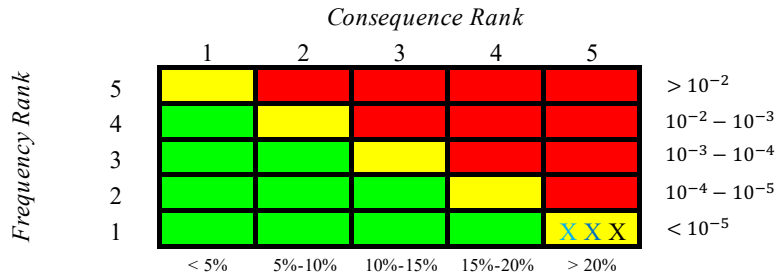
8. Fishing Vessel



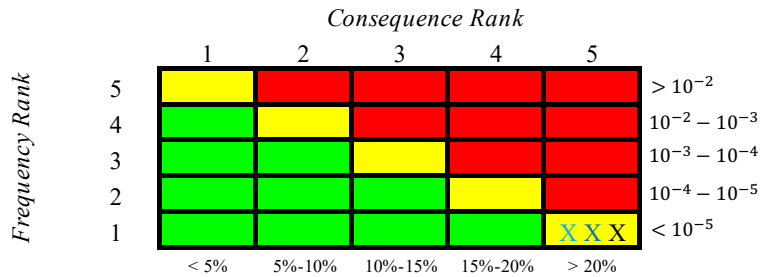
Risk Matrix Summary Dropped Anchor (Existing Condition)

Pipe Type : NPS 10

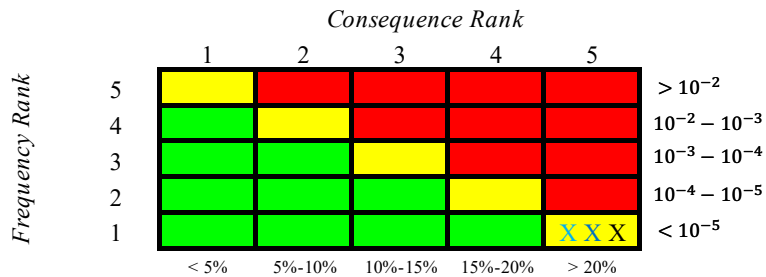
1. Tanker A



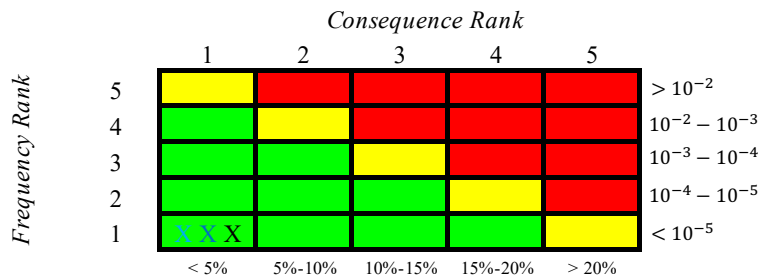
2. Tanker B



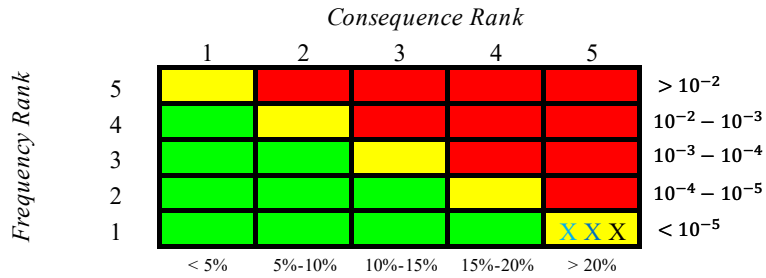
3. Tanker C



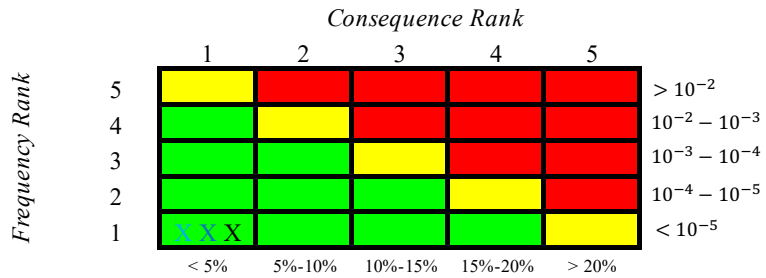
4. Tugboat



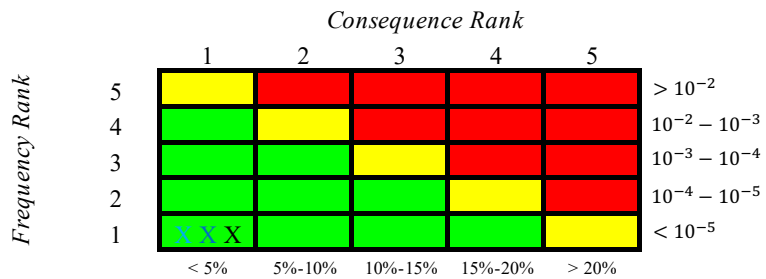
5. Bulk Carrier



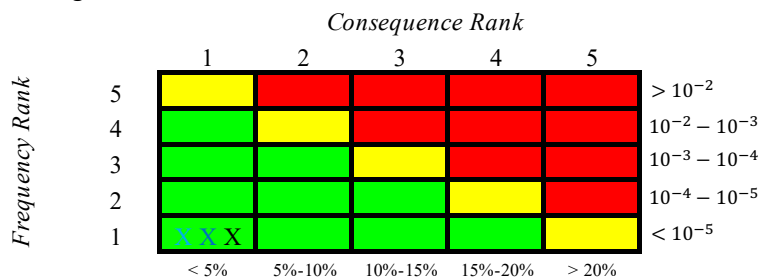
6. Passanger Ship



7. Container



8. Fishing Vessel



Keterangan :

X = Vessel Speed 2 kn

X = Vessel Speed 4 kn

X = Vessel Speed 6 kn

Future Condition – Ship Sinking

Ship Sinking Calculation (Future Condition)

1. Absorbed Energy

Concrete Coating Absorbed Energy (E_k)

Y	Crushing strength	Mpa	120
b	Point load breadth	m	29
h	Point load depth	m	0,15
x_0	Concrete coating	mm	25
E_k	Concrete Coating Absorbed Energy	kJ	13050

Sand Impact Absorbed Energy (E_p)

-	Vessel Length	m	0
-	Vessel Breadth	m	0
A	Anchor Projected Area	m ²	5700
D	Diameter Of Object	m	0
G	Unit Weight of Fill Material	g	10
-	Bearing Capacity Coeficient	Ng	137
-	Bearing Capacity Coeficient	Nq	99
z	Penetration (Trench) Depth (z)	z	0
E_p	Concrete Coating Absorbed Energy	kJ	0,00

Tunnel Structure Absorbed Energy (E_i)

E_i	Total Structure Absorbed Energy	kJ	50,00
-------	---------------------------------	----	-------

Total Absorbed Energy

RE	Total Absorbed Energy	kJ	13100,00
------	-----------------------	----	----------

2. Terminal Energy & Terminal Velocity

m	Vessel Mass	kg	73123500
	Vessel Density	kg/m ³	2079
g	Gravity	m/s ²	9,81
V	Vessel Volume	m ³	35172,4387
ρ_{water}	Density of Seawater	kg/m ³	1025
CD	Drag Coefficient	----	1
L	Vessel Length	m	190
B	Vessel Breadth	m	30
A	Vessel Projected Area	m ²	5700
VT	Anchor Dropped Speed	m/s	11,1576231
ET	Terminal Velocity	J	4551665607
		kJ	4551665,61

3. Added Mass

V	Vessel Volume	m ³	35172,4387
ρ_{water}	Density of Seawater	kg/m ³	1025
C_a	Added Mass Coefficient	----	0,4
m_a	Added Mass	Kg	14420699,9

4. Impact Energy (E_E)

m	Vessel Mass	Kg	73123500
m_a	Added Mass	Kg	14420700
VT	Vessel Dropped Speed	m/s	11,1576231
E_E	Impact Energy	J	5449300479
		kJ	5449300,48

5. Damage Categories

D	Outside Diameter Pipa	m	0,1524
-----	-----------------------	---	--------

t	Wall Thickness	m	0,00711
$SMYS$	Specific minimum yield strength	N/m^2	358520000
m_p	Plastic Moment Capacity	N	4530,98472

6. Damage Classification

Level	Dent/Diameter	Range of Impact Energy			
Level 1	< 5%	kj		<	0,48
Level 2	5% - 10%	kj	0,48	-	1,35
Level 3	10% - 15%	kj	1,35	-	2,48
Level 4	15% - 20%	kj	2,48	-	3,82
Level 5	> 20%	kj	3,82	>	

7. Effect Impact Energy

Effective Impact Energy to Steel Pipeline after concrete absorption	kj	5436200,48
Consequence Rank	----	5

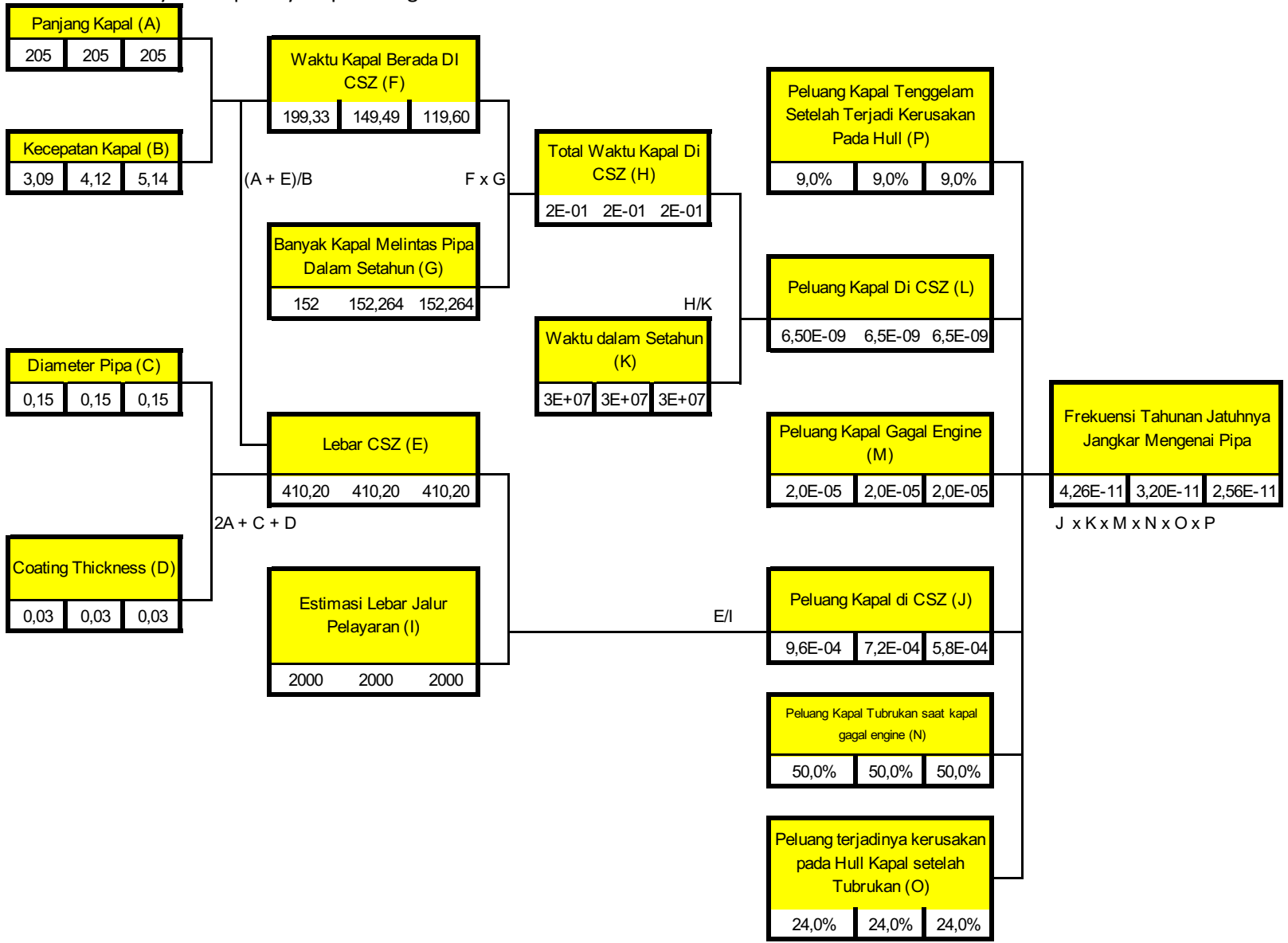
8. Calculation Summary

Pipe Type	Ship Type	Effective Impact Energy	Consequence Rank
NPS 6	TANKER A	5436200,48	5
	TANKER B	16701215,98	5
	TANKER C	6047589,02	5
	TUGBOAT	6976,98	5
	BULK CARRIER	1060145,19	5
	PASSANGER SHIP	221050,31	5
	CONTAINER	89169,54	5
	FISHING VESSEL	-2628,04	1
NPS 8	TANKER A	5436200,48	5
	TANKER B	16701215,98	5
	TANKER C	6047589,02	5
	TUGBOAT	6976,98	5
	BULK CARRIER	1060145,19	5
	PASSANGER SHIP	221050,31	5
	CONTAINER	89169,54	5
	FISHING VESSEL	-2628,04	1
NPS 10	TANKER A	5436200,48	5
	TANKER B	16701215,98	5
	TANKER C	6047589,02	5
	TUGBOAT	6976,98	5
	BULK CARRIER	1060145,19	5
	PASSANGER SHIP	221050,31	5
	CONTAINER	89169,54	5
	FISHING VESSEL	-2628,04	1

Perhitungan Frequency

No	Perhitungan	Persamaan	Keterangan	Satuan	Kecepatan Kapal		
					6 knot	8 knot	10 knot
1	A	-	Panjang Kapal	m	205	205	205
2	B	-	Kecepatan Kapal	m/s	3,08642	4,115226	5,144033
3	C	-	Diameter Pipa	m	0,1524	0,1524	0,1524
4	D	-	Tebal Lapisan Pipa (Concrete Thickness)	m	0,025	0,025	0,025
5	E	$2A + C + 2D$	Lebar CSZ (Critical Sinking Zone)	m	410,2024	410,2024	410,2024
6	F	$(A + E) / B$	Waktu Kapal berada di CSZ	s	199,3256	149,4942	119,5953
7	G	-	Banyak Kapal melintas pipa dalam setahun	-	152,2641	152,2641	152,2641
8	H	$F \times G$	Total Waktu Kapal di CADZ	s	30350,13	22762,6	18210,08
9	I	-	Estimasi Lebar Jalur Pelayaran	m	2000	2000	2000
10	J	E / I	Peluang menjatuhkan jangkar di CADZ	-	0,205101	0,205101	0,205101
11	K	-	Waktu Dalam Setahun	s	31536000	31536000	31536000
12	L	H / K	Peluang Kapal di CADZ	-	0,000962	0,000722	0,000577
13	M		Peluang Kapal Gagal Engine	-	0,00002	0,00002	0,00002
14	N		Peluang Kapal Tubrukan saat kapal gagal engine	-	50%	50%	50%
15	O		Peluang terjadinya kerusakan pada Hull Kapal setelah Tubrukan	-	24%	24%	24%
16	P		Peluang Kapal Tenggelam Setelah Terjadi Kerusakan Pada Hull	-	9%	9%	9%
17	Q	$J \times K \times M \times N \times O \times P$	Peluang Total Kapal akan tenggelam di CSZ	-	4,26E-11	3,2E-11	2,56E-11
18	-		RANK	-	1	1	1

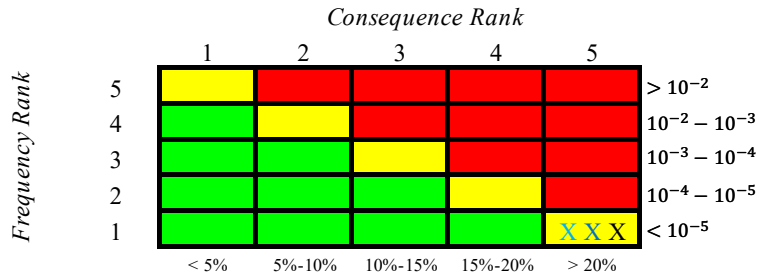
Event Tree Analysis Frequency Ship Sinking



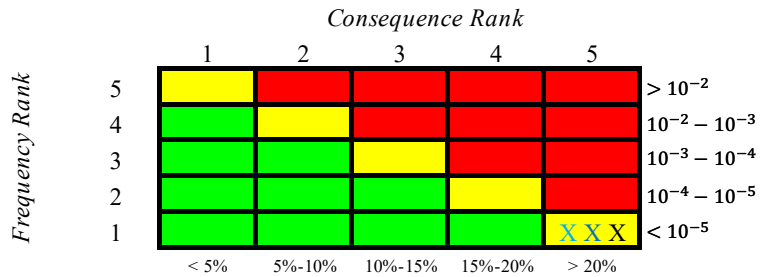
Risk Matrix Summary Ship Sinking (Future Condition)

Pipe Type : NPS 6

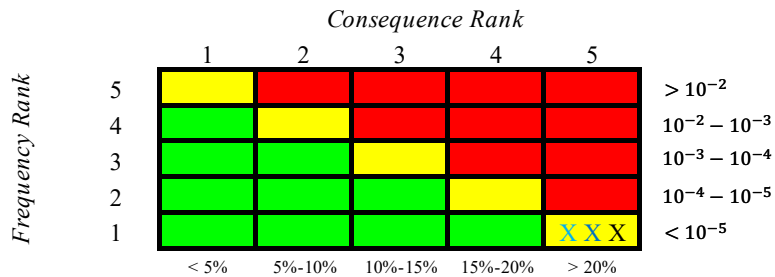
1. Tanker A



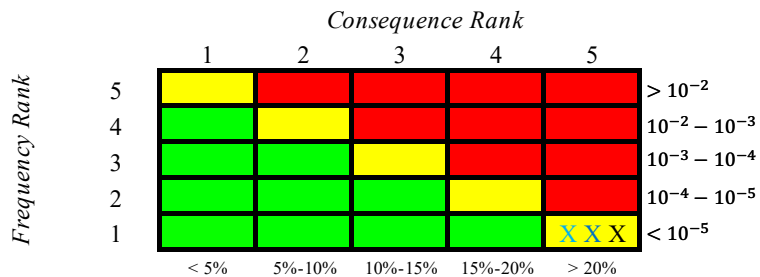
2. Tanker B



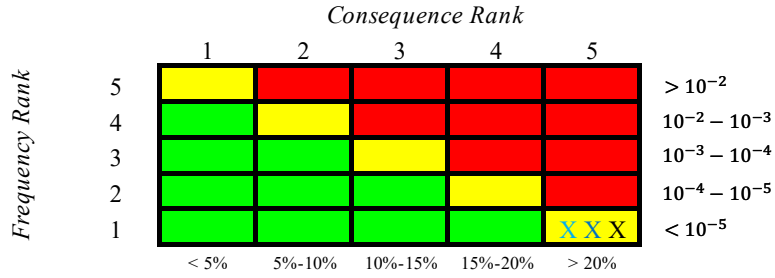
3. Tanker C



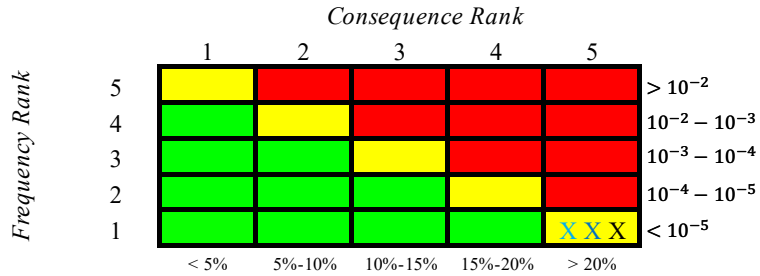
4. Tugboat



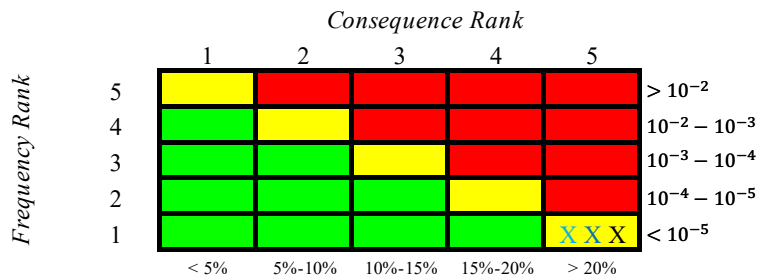
5. Bulk Carrier



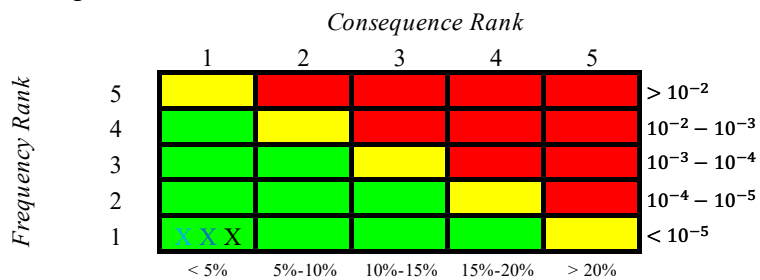
6. Passanger Ship



7. Container



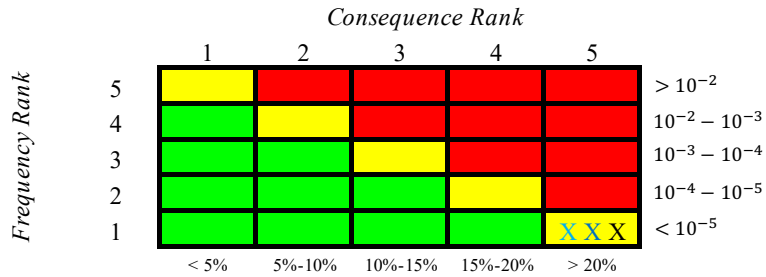
8. Fishing Vessel



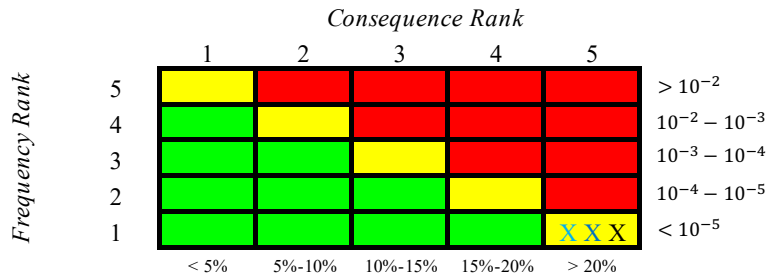
Risk Matrix Summary Dropped Anchor (Existing Condition)

Pipe Type : NPS 8

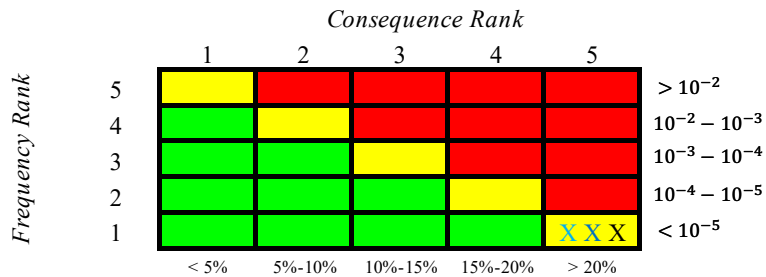
1. Tanker A



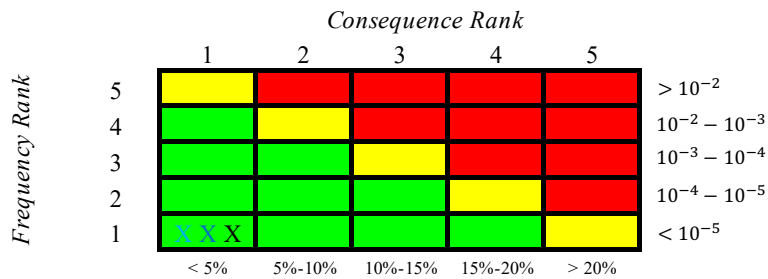
2. Tanker B



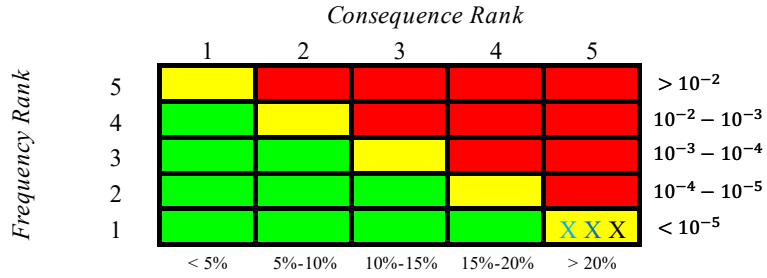
3. Tanker C



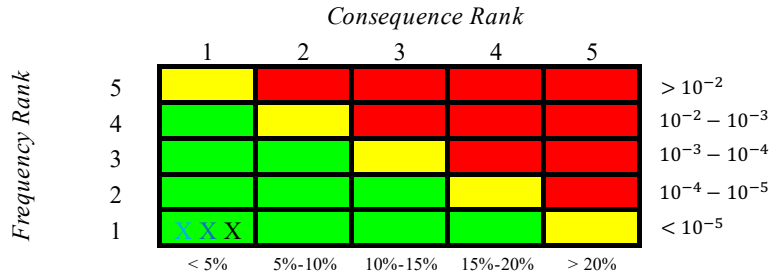
4. Tugboat



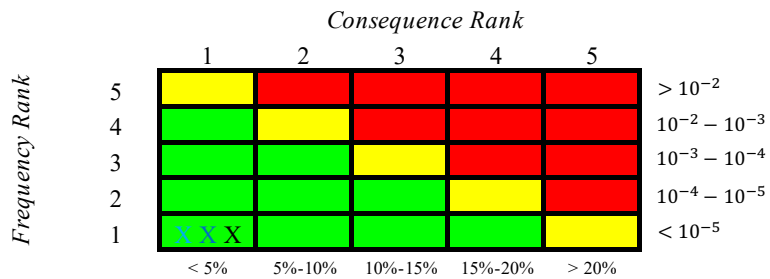
5. Bulk Carrier



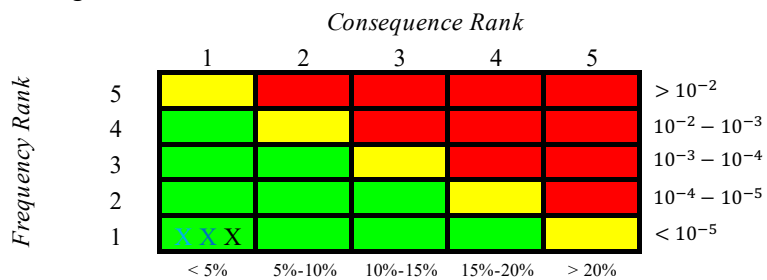
6. Passenger Ship



7. Container



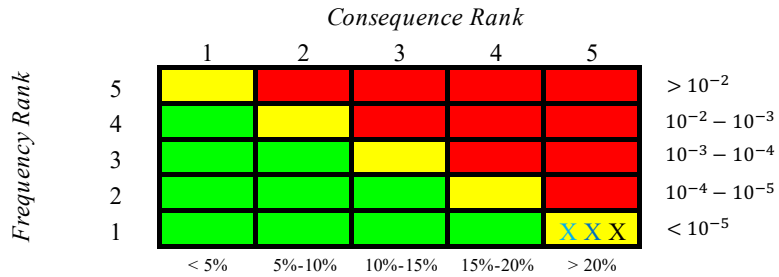
8. Fishing Vessel



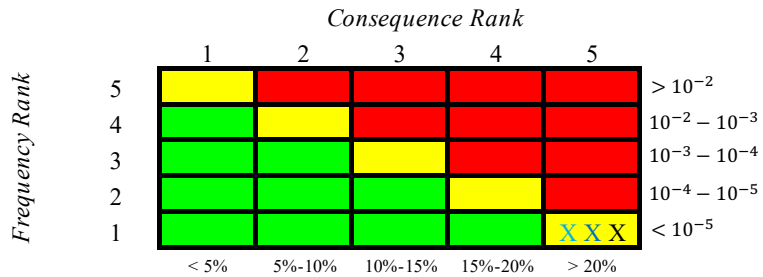
Risk Matrix Summary Dropped Anchor (Existing Condition)

Pipe Type : NPS 10

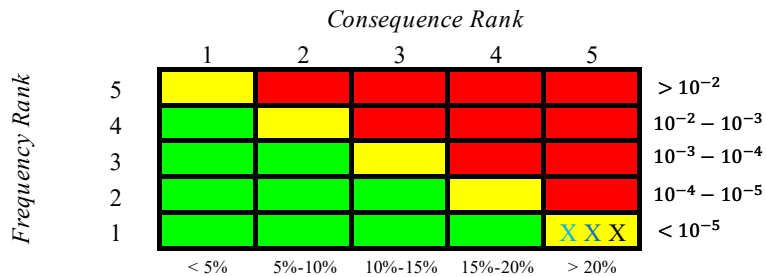
1. Tanker A



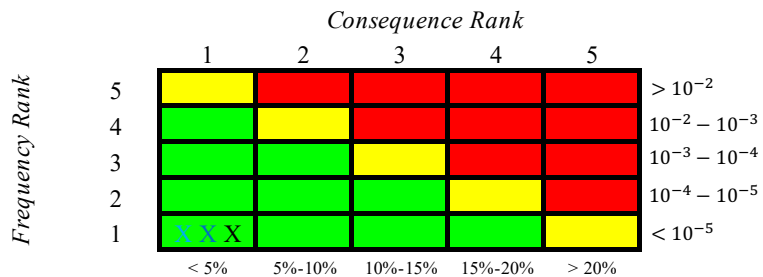
2. Tanker B



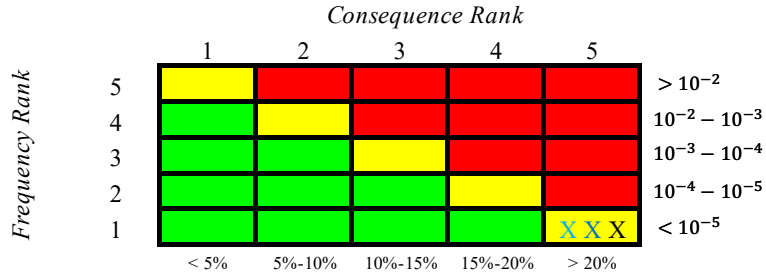
3. Tanker C



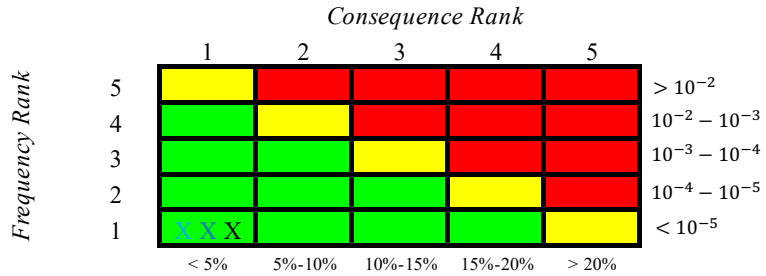
4. Tugboat



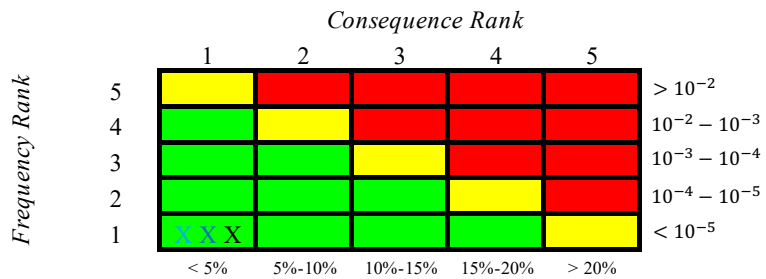
5. Bulk Carrier



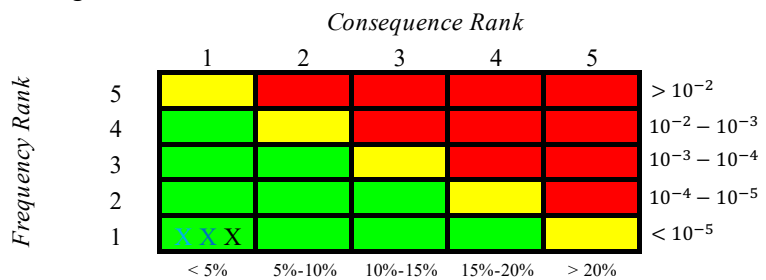
6. Passenger Ship



7. Container



8. Fishing Vessel



Keterangan :

X = Vessel Speed 0,25 kn

X = Vessel Speed 0,5 kn

X = Vessel Speed 0,75 kn

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Rakaditya Pandu Waskito. Lahir di Jakarta pada tanggal 1 September 1998. Penulis merupakan putra kedua dari dua bersaudara dari pasangan suami istri Bapak Iserbudi Leksono dan Ibu Premi Wirastuti. Sampai saat ini penulis telah menampung jenjang pendidikan formal mulai dari SD Pembangunan Jaya, SMP Pembangunan Jaya, SMA Al – Azhar Pusat Jakarta dan melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Sistem

Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan bidang *Reliability, Availability, Management and safety (RAMS)*. Selama menjalani masa perkuliahaan, Penulis pernah menjalankan *on the job training* di beberapa perusahaan yaitu PT. PAL Indonesia (Persero) Surabaya dan PT.GMF Aeroasia Jakarta. Selain menjalankan aktivitas akademik, penulis juga aktif tergabung dalam beberapa aktivitas organisasi di dalam kampus. Penulis juga aktif dalam kegiatan Laboratorium *Reliability, Availability, Management and safety (RAMS)* dengan menjadi panitia MASTIC (Maritime Safety International Conference).

Rakaditya Pandu Waskito

Pandu1998w@gmail.com