



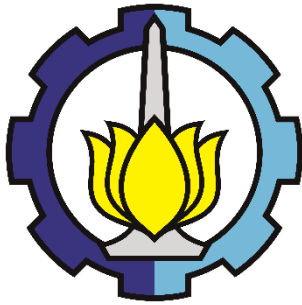
SKRIPSI – ME184834

ANALISIS RISIKO TUBRUKAN KAPAL KETIKA MELAKUKAN PEMASANGAN ANODA PADA PIPA GAS PT. PERTAMINA HULU ENERGI WEST MADURA OFFSHORE DI SEKITAR ALUR PELAYARAN BARAT SURABAYA (APBS)

**RONALD LUCAS PRATAMA
NRP. 0421154000020**

Dosen Pembimbing :
Dr. Eng. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc.
Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc..

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



SKRIPSI – ME184834

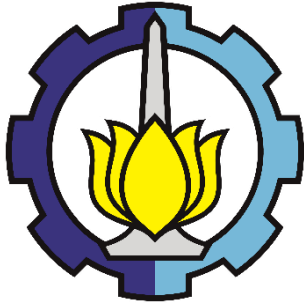
ANALISIS RISIKO TUBRUKAN KAPAL KETIKA MELAKUKAN PEMASANGAN ANODA PADA PIPA GAS PT. PERTAMINA HULU ENERGI WEST MADURA OFFSHORE DI SEKITAR ALUR PELAYARAN BARAT SURABAYA (APBS)

RONALD LUCAS PRATAMA
NRP. 0421154000020

Dosen Pembimbing :
Dr. Eng. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc.
Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



SKRIPSI – ME184834

RISK ASSESSMENT OF SHIP COLLISION DURING INSTALATION OF ANODES ON GAS PIPELINE OF PT. PERTAMINA HULU ENERGI WEST MADURA OFFSHORE LOCATED AROUND OF SURABAYA WEST ACCESS CHANNEL (APBS)

RONALD LUCAS PRATAMA
NRP. 0421154000020

Supervisors :
Dr. Eng. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc.
Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS RISIKO TUBRUKAN KAPAL KETIKA MELAKUKAN PEMASANGAN ANODA PADA PIPA GAS PT. PERTAMINA HULU ENERGI WEST MADURA OFFSHORE DI SEKITAR ALUR PELAYARAN BARAT SURABAYA (APBS)

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:

Ronald Lucas Pratama
NRP. 0421154000020

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Dr. Eng. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc.

Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc

()
()

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS RISIKO TUBRUKAN KAPAL KETIKA MELAKUKAN PEMASANGAN ANODA PADA PIPA GAS PT. PERTAMINA HULU ENERGI WEST MADURA OFFSHORE DI SEKITAR ALUR PELAYARAN BARAT SURABAYA (APBS)

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik pada Bidang Studi *Realibility, Availability, Management and Safety (RAMS)* Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Ronald Lucas Pratama
NRP. 0421154000020

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP. 197708022008011007

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISIS RISIKO TUBRUKAN KAPAL KETIKA MELAKUKAN PEMASANGAN ANODA PADA PIPA GAS PT. PERTAMINA HULU ENERGI WEST MADURA OFFSHORE DI SEKITAR ALUR PELAYARAN BARAT SURABAYA (APBS)

Nama Mahasiswa : Ronald Lucas Pratama
NRP : 0421154000020
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Eng. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc.
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Pipeline merupakan salah satu teknologi transportasi gas yang penting, sering digunakan karena dapat mengalirkan gas dalam jumlah yang sangat besar dan jarak yang jauh. Manfaat lain dari *pipeline* yaitu mudah dioperasikan, aman dan ekonomis bila dibandingkan dengan mode transportasi yang lain. Namun, ada salah satu kelemahan pada *pipeline* ini, yaitu karat, dikarenakan materialnya yang berupa logam sehingga tidak mampu untuk bertahan selamanya. Hingga saat ini sudah banyak upaya untuk melindungi pipa untuk menahan laju karat yang bisa sangat cepat terjadi. Seperti yang dilakukan oleh PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore (PHE WMO) menggunakan katoda proteksi sebagai upaya untuk memperlambat laju karat pada pipa gas bawah laut. Salah satu kelemahan sistem perlindungan karat ini yaitu perlu dilakukan penggantian anoda secara berkala dengan menggunakan kapal sebagai sarana akomodasinya. Namun, letak dari pipa yang berada di dekat Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) menimbulkan risiko kapal bisa tertabrak oleh kapal lain ketika sedang melakukan pemasangan. Dalam tugas akhir ini akan menyajikan analisis risiko tubrukan kapal ketika pemasangan anoda pada pipa gas milik PT. PHE WMO dengan hasil potensi tubrukan yang terjadi pada aktivitas ini yaitu *drifting collision*. Hasil analisa risiko tubrukan didapatkan dengan cara menginterpretasikan nilai dari frekuensi tubrukan dengan konsekuensi yang terjadi pada *risk matrix*. Metode yang digunakan untuk menghitung besarnya frekuensi tubrukan menggunakan metode CRASH (*Computerised Risk Assessment of Shipping Hazards*) dan *Traffic Based Model*. Konsekuensi akibat tubrukan dianalisis dengan menggunakan simulasi model 3D pada *software* ansys dan menghitung biaya pengeluaran akibat konsekuensi yang terjadi. Frekuensi terjadinya kecelakaan mencapai 0,1342 per tahun dan konsekuensi yang bisa berdampak pada biaya pengeluaran mencapai \$2.160.077,14. Dengan menginterpretasikan hasil dari frekuensi dengan konsekuensi pada *risk matrix Australia Standard Guidelines (AN/NZ 4360:1999)*, didapatkan hasil bahwa pekerjaan pemasangan anoda ini berada pada level *extreme*. Upaya pencegahan sangat dibutuhkan untuk mengurangi risiko yang terjadi dengan cara mempersiapkan kebutuhan keselamatan dengan baik sebelum berlayar, penempatan kapal pandu, hingga menginformasikan kegiatan tersebut untuk dimaklumkan dalam pelayaran.

Kata Kunci: anoda, APBS, frekuensi, konsekuensi, pipeline, risiko

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

RISK ASSESSMENT OF SHIP COLLISION DURING INSTALATION OF ANODES ON GAS PIPELINE OF PT. PERTAMINA HULU ENERGI WEST MADURA OFFSHORE LOCATED AROUND OF SURABAYA WEST ACCESS CHANNEL (APBS)

Name of Student : Ronald Lucas Pratama
NRP : 0421154000020
Department : Teknik Sistem Perkapalan
Supervisor 1 : Dr. Eng. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc.
Supervisor 2 : Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Pipeline is an important facility and pipeline is often used for gas transportation technology because it can transport gas in very large quantities, over long distances. Another benefit of the pipeline is easy to operate, safe and economical when compared to other modes of transportation. However, there is one disadvantage on pipeline, it uses the material from metal. Pipeline is not able to last forever it is caused by a rust. Until now, there have been many efforts to protect the pipe to withstand the rust rate which can occur very quickly. One of them is carried out by PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore (PHE WMO) which uses protection cathode as an effort to minimize the rate of corrosion on the subsea gas pipeline from offshore to onshore. One of the disadvantages of the corrosion protection system is the need to periodically change of anode by using the vessel as a means of accommodation. However, the location of the pipeline located in around of Surabaya West Access Channel (APBS) poses a risk of the ship being hit by another vessel while carrying anode installation on the pipe. In this final project, we will present a risk assessment of ship collisions during installing anodes on a gas pipeline owned by PT. PHE WMO. The potential collision that occurred in this activity is drifting collision. The results of collision risk assessment are obtained by interpreting the value of collision frequency with the consequence that occur in the risk matrix. The method used to calculate the frequency of collisions using the CRASH (Computerized Risk Assessment of Shipping Hazards) and Traffic Based Models. The consequence of collisions is analyzed by using 3D model simulations on the Ansys software and calculating expenditure costs of the consequence that occur. The frequencies of accidents are reach 0.1342 per year and the consequences that have an impact on expenditure costs are reach \$ 2,160,077.14. By interpreting the results of the frequencies with consequences for the risk matrix of the Australian Standard Guidelines (AN / NZ 4360: 1999), the result show that this anodes installation project is at the extreme level. Preventive efforts are needed to reduce the risks that occur by preparing good safety needs before sailing, placement of pilot ships, and inform the activities to be announced on the voyage.

Keywords: anode, APBS, consequences, frequency, pipeline, risk

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah kehadirat Allah S.W.T., yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Analisis Risiko Tubrukan Kapal Ketika Melakukan Pemasangan Anoda Pada Pipa Gas PT. PERTAMINA HULU ENERGI WEST MADURA OFFSHORE di Sekitar Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS)** dengan baik dan tepat waktu. Tugas akhir tersebut diajukan sebagai salah satu persyaratan kelulusan program studi sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir dan keberhasilan menempuh program studi sarjana, tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak di bawah ini, yang diantaranya:

1. Kedua orang tua penulis, ayah Roni dan mama Rina Susanti yang selalu memberikan dukungan, semangat, motivasi, dan doa kepada penulis disetiap kegiatan dan aktivitas penulis selama menempuh pendidikan/kuliah di Surabaya ini.
2. Seluruh keluarga besar penulis yang selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis.
3. Bapak Dr. Eng. Dhimas Widhi H., S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing pertama penulis dan juga sekaligus dosen wali penulis yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, masukan dan motivasi kepada penulis baik dalam menyelesaikan tugas akhir maupun membimbing dalam perkembangan akademik penulis.
4. Bapak Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing kedua penulis yang juga membimbing penulis dalam penulisan tugas akhir ini.
5. Bapak A. A. B. Dinariyana D. P., S.T., MES., Ph.D., Bapak Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc., Bapak Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph.D., dan Bapak Dr. Eng. Dhimas Widhi H., S.T., M.Sc., selaku dosen penguji sidang tugas akhir penulis dan juga selaku dosen Lab. RAMS yang telah memberikan pembelajaran, wawasan, serta masukan baik yang bersifat akademis maupun non akademik (pembelajaran hidup).
6. Bapak Rizvi, Bapak Ulika se-keluarga, dan Bu Maya selaku pegawai Perusahaan PT. PHE WMO yang telah membantu penulis memberikan izin untuk melakukan penelitian di perusahaan, memberikan data, dan juga bimbingan dalam menyelesaikan tugas akhir.
7. Seluruh kawan-kawan member RAMS yang telah menemani, berbagi dan sering saling memberikan semangat kepada penulis ketika mengerjakan tugas akhir di Lab.
8. Kawan-kawan seperjuangan SALVAGE '15 yang telah menjadi teman terdekat penulis di Jurusan

9. Terkhusus kawan sejurusan penulis: Mas Jangka, Aan, Martha, Alfius, dan Anson, serta kawan-kawan lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir penulis dan tugas-tugas kuliah lainnya.
10. Sahabat-sahabat terbaik penulis “Geng Kapak” sejak bangku sekolah: Agung, Reza, Evin, Dillah dan Alfi.
11. Kawan-kawan penulis dari UKM KSR PMI ITS, yang sudah penulis anggap seperti keluarga kedua penulis di Surabaya.
12. Teman-teman BPH KSR PMI ITS Kabinet Aksi Harmonis yang juga teman seperjuangan tugas akhir: Dewi, Shindy, Rauza, Magrid dan Zulqur, serta tak lupa mbak Astrid, Ayub, Aziz, Puspita dan Fitria.
13. Kawan-kawan seperantauan dari Rogojampi anggota KASUARI (Keluarga Mahasiswa Surabaya Alumni SMAN 1 Rogojampi).
14. Teman-Teman Kos Qur’an 9 periode 2016-2017 dan 2017-2018.
15. Bunda Arbailah dan juga seluruh anggota PALMAJARI.
16. Dan kepada pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, terimakasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini jauh dari sebuah kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran sangat terbuka untuk menjadikan karya yang lebih baik dan memberikan kebermanfaatan.

Harapan penulis, karya ini dapat memberikan manfaat yang besar baik bagi penulis sendiri maupun bagi seluruh pembaca di kemudian hari.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	V
LEMBAR PENGESAHAN.....	VII
ABSTRAK	IX
ABSTRACT	XI
KATA PENGANTAR.....	XIII
DAFTAR ISI	XV
DAFTAR GAMBAR.....	XVIII
DAFTAR TABEL	XIX
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Alur Pelayaran Barat Surabaya.....	5
2.2. Potensi Kecelakaan Pelayaran di Sekitar APBS.....	5
2.3. Instalasi pipa	6
2.4. <i>Sacrificial Anode Cathodic Protection</i>	7
2.5. Pemasangan Anoda pada Pipa Gas Bawah Laut Menggunakan ROV (<i>Remotly Operated Vehicle</i>)	8
2.6. Konsep Dasar Risiko	11
2.7. Metode Frekuensi Perhitungan Tubrukan	12
2.7.1. Quantitative Risk Assessment	12
2.7.2. Traffic Based Models	14
2.8. Analisa Konsekuensi	19
2.9. <i>Standard Aceptance Atribut</i>	19
BAB III METODOLOGI	21

3.1.	Umum	22
3.2.	Studi Literatur	22
3.3.	Pengumpulan Data.....	22
3.4.	Skenario Proses Pemasangan Anoda Korban	22
3.5.	Perhitungan Frekuensi Tubrukan Kapal	22
3.6.	Analisa Konsekuensi Tubrukan Kapal	22
3.7.	Risk Matrix	23
3.8.	Mitigasi.....	23
3.9.	Kesimpulan dan Saran	23
BAB IV ANALISA HASIL & PEMBAHASAN.....		25
4.1.	Gambaran Umum	25
4.2.	Skenario Pemasangan Anoda Pipa PHE 16 Inch	26
4.3.	Perhitungan Frekuensi	29
4.3.1.	Perhitungan Frekuensi <i>Drifting Coliision</i> dengan <i>CRASH Model</i>	31
4.3.2.	Perhitungan Frekuensi <i>Drifting Coliision</i> dengan <i>Traffic Based Model</i>	42
4.3.3.	Total Nilai Frekuensi Seluruh Segmen.....	47
4.4.	Analisis Konsekuensi Dengan Menggunakan Simulasi ANSYS	48
4.4.1.	Kecepatan 3 knot	49
4.4.2.	Kecepatan 5 knot	50
4.4.3.	Kecepatan 9,5 knot	51
4.4.4.	Kecepatan 10,2 knot	52
4.4.5.	Perhitungan Konsekuensi Biaya Pengeluaran	53
4.4.5.1.	Perhitungan Harga Perbaikan Kapal Variasi Kecepatan 3 Knot.	54
4.4.5.2.	Perhitungan Harga Perbaikan Kapal Variasi Kecepatan 5 Knot.	54

4.4.5.3. Perhitungan Harga Perbaikan Kapal Variasi Kecepatan 9,5 Knot.....	55
4.4.5.4. Perhitungan Harga Perbaikan Kapal Variasi Kecepatan 10,2 Knot.....	55
4.5. <i>Risk Matrix</i>	56
4.6. Mitigasi.....	59
BAB V KESIMPULAN	61
5.1. Kesimpulan.....	61
5.2. Saran	62
DAFTAR PUSTAKA.....	63
LAMPIRAN	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Jalur pipa milik PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore.....	1
Gambar 1. 2. Alur Pelayaran Barat Surabaya yang terdapat pipa gas dibawahnya.....	2
Gambar 2. 1. Lokasi Investigasi Kecelakaan Perairan di Indonesia	6
Gambar 2. 2. Contoh proteksi katodik pada pipa bawah tanah	7
Gambar 2. 3. Desain anoda Mat Anode.....	9
Gambar 2. 4. Desain anoda Rigid Sub-Bottom Anode Sled Array	9
Gambar 2. 5. Desain anoda Deep Water Monitored Anode Pod Array	10
Gambar 2. 6. Clamp yang menghubungkan anoda dengan pipa	10
Gambar 2. 7. Pemasangan anoda menggunakan ROV	11
Gambar 2. 8. Powered vessel.....	13
Gambar 2. 9. Drifting Collision.....	14
Gambar 2. 10. Konsep terjadinya accident.....	14
Gambar 2. 11. Model Kecelakaan grounding.....	15
Gambar 2. 12 Model kecelakaan Stranding/driftng	16
Gambar 2. 13. Model kecelakaan Tubrukan Head On	17
Gambar 2. 14. Model kecelakaan Tubrukan Crossing collision.....	18
Gambar 3. 1. Diagram Alir Proses Penelitian	21
Gambar 4. 1. Area pemasangan anoda pipa	25
Gambar 4. 2. Kapal DSV DP2 MV. Catherine Queen	28
Gambar 4. 3. Gambar proyeksi pipa KP 37 – KP 38 dan APBS.....	30
Gambar 4. 4. Skenario drifting collision	31
Gambar 4. 5. Fault Tree Analysis untuk Drifting Collision	32
Gambar 4. 6. Fault Tree Analysis untuk Wind Blowing	33
Gambar 4. 7. Pemodelan Drifting Collision Traffic Based Model.....	42
Gambar 4. 8. Kapal Tanker MT. Sanga Sanga.....	48
Gambar 4. 9. Equivalent Stress variasi 3 knot.....	49
Gambar 4. 10. Directional Deformation variasi 3 knot	49
Gambar 4. 11. Total Deformation variasi 3 knot.....	50
Gambar 4. 12. Equivalent Stress variasi 5 knot.....	50
Gambar 4. 13. Directional Deformation variasi 5 knot	50
Gambar 4. 14. Total Deformation variasi 5 knot.....	51
Gambar 4. 15. Equivalent Stress variasi 9,5 knot.....	51
Gambar 4. 16. Directional Deformation variasi 9,5 knot	51
Gambar 4. 17. Total Deformation variasi 9,5 knot.....	52
Gambar 4. 18. Equivalent Stress variasi 10,2 knot.....	52
Gambar 4. 19. Directional Deformation variasi 10,2 knot	52
Gambar 4. 20. Total Deformation variasi 10,2 knot.....	53

DAFTAR TABEL

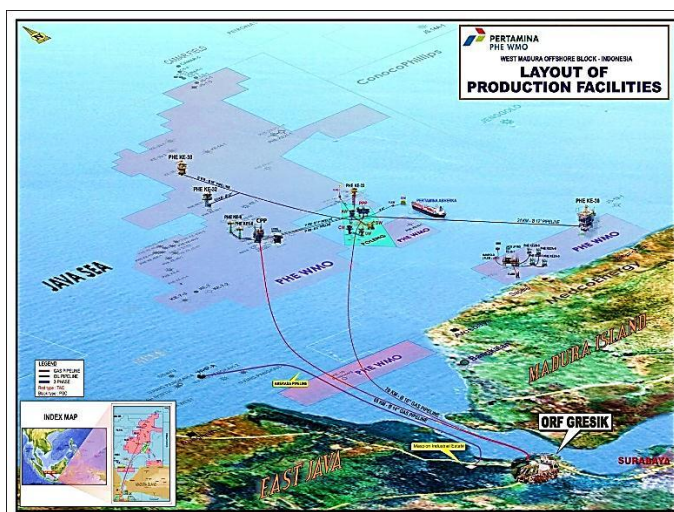
Tabel 2. 1. Data Investigasi Kecelakaan Pelayaran tahun 2012 – 2017.....	5
Tabel 2.2. Matriks Risiko.....	20
Tabel 4.1. Data Jumlah Kapal di APBS.....	26
Tabel 4.2. Data Pipa.....	26
Tabel 4.3. Data Persebaran Jumlah dan Posisi Anoda pada pipa 16 inch PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore.....	27
Tabel 4.4. Prosedur Pemasangan Anoda tiap Titik Lokasi.....	28
Tabel 4.5. Prediksi Jumlah Kapal Tahun 2018 – 2020.....	31
Tabel 4.6. Contoh Perhitungan Nilai Frekuensi Drifting Collision 10°.....	34
Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi Drifting Collision 10°.....	35
Tabel 4.8. Contoh Perhitungan Nilai Frekuensi Drifting Collision 30°.....	36
Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi Drifting Collision 30°.....	37
Tabel 4.10. Contoh Perhitungan Nilai Frekuensi Drifting Collision 45°.....	38
Tabel 4.11. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi Drifting Collision 45°.....	39
Tabel 4.12. Contoh Perhitungan Nilai Frekuensi Drifting Collision 60°.....	40
Tabel 4.13. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi Drifting Collision 60°.....	41
Tabel 4.14. Total Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi Drifting Collision metode CRASH KP 37 – KP 38.....	42
Tabel 4. 15. Tabel Data Kecelakaan Kapal di APBS Tahun 2015 – 2018.....	43
Tabel 4. 16. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi Drifting Collision Traffic Based Model 10°.....	43
Tabel 4. 17. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi Drifting Collision Traffic Based Model 30°.....	44
Tabel 4. 18. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi Drifting Collision Traffic Based Model 45°.....	45
Tabel 4. 19. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi Drifting Collision Traffic Based Model 60°.....	46
Tabel 4. 20. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi Drifting Collision Seluruh Segmen.....	47
Tabel 4. 21. Total luasan yang harus diperbaiki pada badan kapal.....	53
Tabel 4. 22. Harga Perbaikan Kapal Variasi Kecepatan 3 Knot.....	54
Tabel 4. 23. Harga Perbaikan Kapal Variasi Kecepatan 5 Knot.....	54
Tabel 4. 24. Harga Perbaikan Kapal Variasi Kecepatan 9,5 Knot.....	55
Tabel 4. 25. Harga Perbaikan Kapal Variasi Kecepatan 10,2 Knot.....	55
Tabel 4. 26. Hasil Nilai frekuensi per Tahun.....	56
Tabel 4. 27. Hasil analisis konsekuensi.....	56
Tabel 4. 28. Hasil Interpretasi Frekuensi dan Konsekuensi.....	57
Tabel 4. 29. Risk Matrix Drifting Collision.....	59
Tabel 5. 1. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi Drifting Collision.....	61
Tabel 5. 2. Hasil analisa konsekuensi menggunakan simulasi ansys.....	61
Tabel 5. 3. Hasil analisa konsekuensi biaya pengeluaran.....	61

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini kinerja industri hulu minyak dan gas bumi memiliki arti strategis bagi bangsa dan negara. Pasokan energi untuk domestik ini terus dijaga agar dapat meningkatkan ketahanan energi dan memberikan efek berantai pada industri serta ekonomi nasional. PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore merupakan salah satu yang mendukung ketahanan energi nasional baik dari sisi pemenuhan angka produksi minyak maupun gas bumi terutama di Jawa Timur. Selama tahun 2013, PHE WMO mampu mencatatkan produksi minyak dan gas sebesar 18.086 barel minyak per hari (BOPD) dan 114,5 juta kaki kubik per hari (MMSCFD). (Migas, 2012)



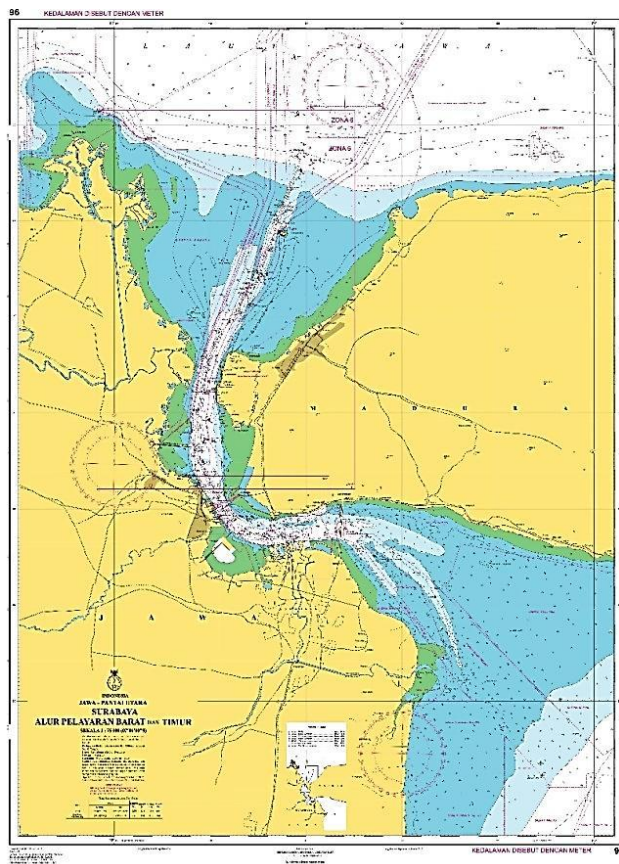
Gambar 1.1. Jalur pipa milik PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore
Sumber: Dokumen Perusahaan

Pipa merupakan suatu teknologi dalam mengalirkan suatu fluida seperti minyak, gas atau air dalam jumlah yang sangat besar dan jarak yang jauh melalui laut atau daerah tertentu, seperti pada Gambar 1.1. pipa pertamina yang berada sepanjang laut jawa hingga ke fasilitas darat yang ada di Gresik. Dalam upaya untuk menjaga optimasi kinerja pipa, maka pipa tersebut perlu dilakukan sebuah *maintenance* secara berkala. Karena medan yang dilalui saluran pipa sangat beragam, yakni mulai dari dalam laut, dataran rendah, lembah, dan didalam tanah, maka dalam pengoperasiannya akan banyak ditemukan berbagai macam persoalan kelelahan (*fatigue*), korosi (*corrosion*), maupun retak atau terputus. Dari ketiga permasalahan yang dialami oleh pipa, korosi menjadi persoalan yang harus diperhatikan karena akibat yang ditimbulkan bisa memperpendek dan memperburuk kualitas pipa, serta bisa mengakibatkan kebocoran dan ledakan.

Salah satu upaya untuk mengatasi korosi yaitu dengan cara *Sacrificial Anode Cathodic Protection*. Metode anoda sebagai korban menggunakan prinsip galvanik,

dimana logam yang ingin dilindungi dengan logam lain yang akan menjadi pelindung, dengan syarat logam pelindung tersebut bersifat lebih anodik (lebih negatif) dibandingkan dengan logam yang ingin dilindungi, sehingga logam yang ingin dilindungi akan bersifat katodik dan tidak terkorosi.

Maintenance terhadap kondisi pipa sangat perlu dilakukan dalam kurun waktu tertentu, terutama *maintenance* terhadap pergantian anoda korban pada pipa. Dalam upaya untuk pergantian anoda ini dibutuhkan kebutuhan-kebutuhan khusus seperti penyelam, anoda pengganti yang akan dipasang, serta kapal khusus yang memiliki teknologi tanpa *anchoring* ketika sedang melakukan pemasangan, dikarenakan akan sangat membahayakan apabila melempar jangkar pada area dekat dengan pipa gas bawah laut. Namun seperti yang diketahui, melakukan pergantian anoda dengan sebuah kapal yang berhenti cukup lama di lautan menimbulkan risiko kapal bisa tertabrak oleh kapal lain. Ditambah lagi letak geografis di selat Madura yang dijadikan sebagai alur pelayaran yang dikenal sebagai “Alur Pelayaran Barat Surabaya” (APBS).



Gambar 1.2. Alur Pelayaran Barat Surabaya yang terdapat pipa gas dibawahnya
Sumber: Dokumen Perusahaan

Untuk itu dalam tugas akhir ini akan dibahas mengenai analisa risiko tubrukan kapal ketika sedang melakukan pemasangan anoda pada pipa bawah laut, mengingat juga posisi pemasangan berada dekat dengan Alur Pelayaran Barat Surabaya

(APBS) seperti yang terlihat pada Gambar 1.2. diatas. Dengan mengetahui besar atau kecilnya frekuensi kemungkinan terjadinya tubrukan akan mampu menghindari kemungkinan terjadinya tubrukan dengan langkah mitigasi yang tepat.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan pokok pada Tugas Akhir ini antara lain:

1. Bagaimana analisis frekuensi tubrukan kapal ketika pemasangan anoda pada pipa gas PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore ?
2. Bagaimana konsekuensi yang terjadi akibat dari tubrukan kapal ketika pemasangan anoda pada pipa gas PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore ?
3. Bagaimana cara menentukan level risiko akibat dari tubrukan kapal ketika pemasangan anoda pada pipa gas PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore ?
4. Bagaimana menentukan mitigasi yang tepat dari bahaya yang ada agar risiko berada pada tingkat yang dapat diterima ?

1.3. Batasan Masalah

Untuk mengecilkan ruang lingkup penelitian dan memfokuskan untuk permasalahan yang akan dianalisa dalam tugas akhir ini, maka permasalahan akan dibatasi sebagai berikut:

1. Objek penelitian adalah pemasangan anoda pengganti sebagai sistem *Cathodic Protection* pipa 16 inch PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore.
2. Perhitungan frekuensi kapal dengan *Diving Support Vessel* hanya ketika sedang beroperasi dalam proses pemasangan anoda pada pipa gas bawah laut.
3. Perhitungan frekuensi tubrukan kapal hanya dilakukan pada lokasi pipa 16" KP 0 – KP 64 PHE WMO yang terletak pada area sekitar APBS.
4. Perhitungan frekuensi tubrukan kapal hanya akan menggunakan skenario tubrukan kapal dengan metode CRASH dan metode *Traffic Based Models*.
5. Dampak lingkungan akibat minyak yang tumpah diabaikan.
6. Kerusakan terhadap pipa diabaikan.

1.4. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penulisan Tugas Akhir ini diantaranya:

1. Dapat menentukan frekuensi tubrukan kapal ketika pemasangan anoda pada pipa gas bawah laut.
2. Dapat menentukan besarnya konsekuensi tubrukan kapal ketika pemasangan anoda pada pipa gas bawah laut.
3. Dapat menentukan level risiko akibat dari tubrukan kapal ketika pemasangan anoda pada pipa gas bawah laut.
4. Mendapatkan cara penanganan terhadap risiko yang telah diidentifikasi hingga berada pada tingkat yang dapat diterima.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian yang dilakukan dapat memberikan gambaran informasi mengenai tingkat risiko tubrukan kapal akibat pemasangan anoda pengganti sebagai sistem *Cathodic Protection*.
2. Dapat menghindari bahaya yang terjadi akibat dari tubrukan kapal ketika pemasangan anoda pada pipa gas PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Alur Pelayaran Barat Surabaya

Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) merupakan alur pelayaran yang menghubungkan kapal-kapal yang akan berlabuh di Pelabuhan Tanjung Perak dari Laut Utara Jawa. Alur Pelayaran Barat Surabaya ini memiliki lebar pelayaran 150 hingga 200 meter dan dengan kedalaman mencapai -16m LWS. Lalu lintas pelayaran di APBS sangatlah padat, dalam setahun bisa mencapai 58.000 pergerakan kapal.

2.2. Potensi Kecelakaan Pelayaran di Sekitar APBS

Kondisi geografis Indonesia yang merupakan negara kepulauan dan sebagian besar wilayahnya merupakan perairan membuat transportasi melalui jalur pelayaran menjadi salah satu pilihan mobilisasi barang maupun manusia dengan jumlah banyak dan harga yang lebih murah. Dengan kenyataan tersebut, banyak aktivitas kapal yang terjadi di seluruh perairan di Indonesia yang melayani rute baik domestik maupun internasional. Selain itu, program pemerintah untuk mengurangi disparitas harga komoditi di Indonesia bagian Barat dan Timur memperkuat peranan aktivitas pelayaran sebagai penghubung antar daerah Indonesia. Peningkatan jumlah pelayaran tersebut dibayangi pula dengan peningkatan potensi kecelakaan yang terjadi terhadap transportasi laut, khususnya di area sekitar APBS yang memiliki aktivitas pelayaran yang sangat padat, seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1. Data Investigasi Kecelakaan Pelayaran tahun 2012 – 2017

Tahun	Jumlah Kecelakaan	Jenis Kecelakaan					Korban Jiwa		Rekomendasi
		Tenggelam	Terbakar	Tubrukan	Kandas	Lain-Lain	Korban Meninggal/Hilang	Korban Luka-luka	
2012	4	0	2	2	0	0	13	10	28
2013	6	2	2	2	0	0	65	9	47
2014	7	2	3	2	0	0	22	4	41
2015	11	3	4	3	1	0	85	2	45
2016	18	6	4	3	3	2	46	18	7
2017	34	6	14	6	6	2	42	2	38
Total	107	29	40	24	10	4	931	631	567

Sumber : Media Release KNKT, 2017

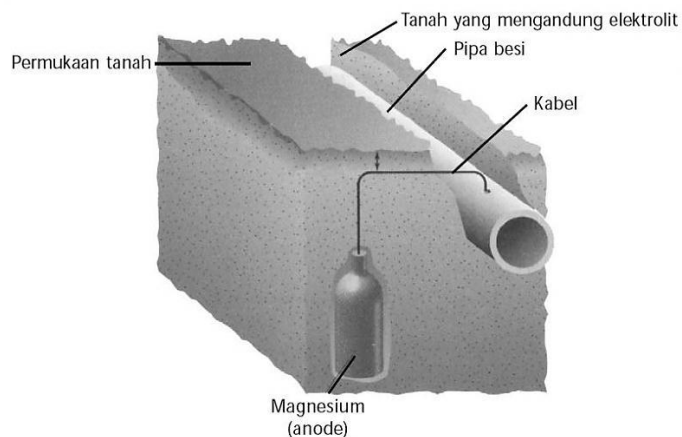
Peningkatan potensi kecelakaan pelayaran di Indonesia sejalan dengan peningkatan frekuensi pelayaran atau jumlah kapal yang beroperasi. KNKT atau Komite Nasional Keselamatan Transportasi merupakan lembaga negara yang dibentuk untuk melakukan investigasi terhadap kecelakaan transportasi darat, laut, maupun udara yang terjadi di Indonesia. KNKT memiliki wewenang untuk

Pipa sendiri di bedakan menjadi dua istilah, *piping* dan *pipeline*. *Piping* di gunakan untuk istilah pipa yang mengalirkan dari satu tempat ke tempat lain dalam jarak yang berdekatan, sedangkan pipa yang digunakan berukuran relatif kecil. Sedangkan *pipeline* istilah tersebut digunakan untuk mengalirkan fluida dari satu fasilitas (*plant*) ke *plant* yang lain, dan biasanya ukurannya sangat besar.

2.4. Sacrificial Anode Cathodic Protection

Untuk mengurangi bahkan menghindari kerugian yang diakibatkan oleh proses korosi, maka perlu dilakukan perlindungan terhadap korosi. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk memperlambat laju korosi, salah satunya dengan cara *Cathodic Protection* (Proteksi Katodik). Menurut Pierre R. Roberge (1999) proteksi merupakan salah satu cara perlindungan terhadap korosi yaitu dengan pemberian arus searah (DC) dari suatu sumber eksternal untuk melindungi permukaan logam dari korosi. Metode ini efektif dan berhasil melindungi logam dari korosi khusus di lingkungan yang terbenam air maupun di dalam tanah, seperti perlindungan pada kapal laut, instalasi pipa bawah tanah, dan sebagainya. Untuk memberikan arus searah dalam sistem proteksi katodik, terdapat dua cara yaitu dengan cara menerapkan anoda korban (*sacrificial anode*) atau dengan cara menerapkan arus tanding (*impressed current*).

Metode anoda korban menggunakan prinsip galvanik, dimana logam yang ingin dilindungi dengan logam lain yang akan menjadi pelindung, dengan syarat logam pelindung tersebut bersifat lebih anodik (lebih negatif) dibandingkan dengan logam yang ingin dilindungi, sehingga logam yang ingin dilindungi akan bersifat katodik dan tidak terkorosi, seperti yang digambarkan pada Gambar 2.2. dibawah ini.



Gambar 2.2. Contoh proteksi katodik pada pipa bawah tanah
Sumber: Chemistry: The Central Science, 2000

Berikut adalah kelebihan penerapan sistem proteksi katodik metode anoda korban (Mulyono, 2017):

1. Tidak memerlukan arus tambahan dari luar, karena arus proteksi berasal dari anodanya itu sendiri.
2. Pemasangan dilapangan relatif lebih sederhana.
3. Perawatannya mudah.

4. Ditinjau dari segi biaya, sistem ini lebih murah dibanding sistem arus tanding.
5. Kemungkinan menimbulkan efek interferensi kecil.
6. Kebutuhan material untuk sistem anoda korban relatif sedikit yaitu anoda, kabel dan *test box*.

Namun, metode ini juga mempunyai beberapa kekurangan sebagai berikut.

1. Keluaran arus terbatas.
2. Tidak efektif bila resistivitas elektrolit tinggi.
3. Tidak cocok untuk struktur besar yang perlu arus proteksi besar.

Sistem proteksi katodik anoda korban biasanya diterapkan pada perlindungan tangki dalam tanah, jaringan pipa dalam tanah, jaringan kabel listrik dan komunikasi dalam tanah, tangki air panas dan struktur kapal laut.

Dalam perancangan sistem proteksi katodik metode anoda korban, terdapat tiga kriteria yang ditetapkan oleh NACE (*National Association of Corrosion Engineers*), yaitu:

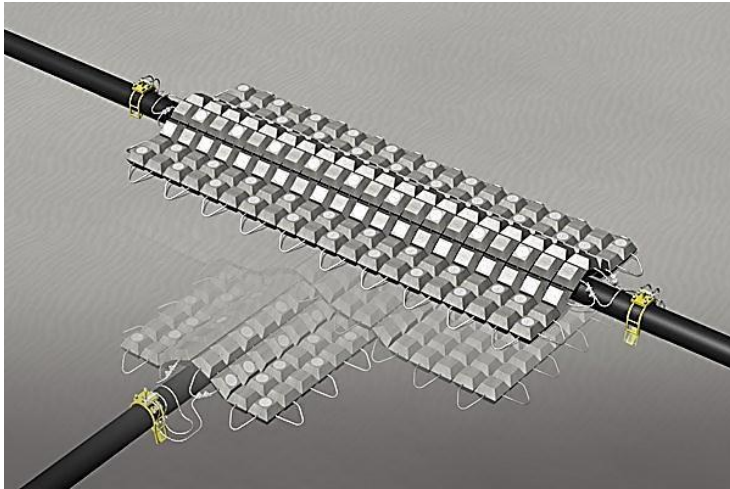
1. -850mV terhadap proteksi katodik yang diaplikasikan,
2. -850mV potensial polarisasi terhadap CSE,
3. Polarisasi minimum 100mV.

2.5. Pemasangan Anoda pada Pipa Gas Bawah Laut Menggunakan ROV (*Remotly Operated Vehicle*)

Jalur pipa yang sudah ada di dasar laut bukan berarti boleh dibiarkan terpasang begitu saja namun harus dilakukan inspeksi terhadap pipa di dasar laut tersebut. Menurut *Pipeline Safety Regulations* tahun 1996, kegiatan inspeksi terhadap pipa di dasar laut dilakukan untuk mengendalikan resiko yang akan terjadi pada pipa tersebut. Salah satunya yaitu melakukan pengecekan terhadap perlindungan korosi yang digunakan pada pipa tersebut. Pengecekan dilakukan untuk memeriksa apakah anoda yang terdapat pada pipa tersebut masih utuh atau sudah semakin habis karena terkoroosi ataupun mengalami kerusakan akibat aktivitas tertentu.

Pemasangan anoda korban pada pipa bawah laut ini menggunakan bantuan peralatan robot ROV sebagai pengganti manusia untuk melakukan penyelaman dan pemasangan anoda pada pipa bawah laut. Anoda yang digunakan berbeda dengan anoda yang dipasang dengan cara pengelasan. Seperti halnya penelitian yang pernah dilakukan di “Teluk Mexico”, anoda yang digunakan disusun dengan desain penyusunan anoda yang *retrofit* (Jim Britton dan Dick Baxter, 2008). Terdapat 3 jenis desain anoda yang digunakan, yaitu diantaranya “*Mat Anode*”, “*Rigid Sub-Bottom Anode Sled Array*”, dan “*Deep Water Monitored Anode Pod Array*”.

Desain anoda *Mat Anode* memiliki bentuk seperti selimut dengan anoda-anoda yang telah tersusun rapi. Pada desain anoda ini terdapat beton pada bagian bawahnya sebagai pemberat supaya anoda ini tidak mudah terbawa oleh arus laut. Bentuk anoda ini sangat fleksibel karena dari bentuk dan susunan anoda yang memperlihatkan anoda ini seperti jaring, sehingga dalam pemasangannya bisa langsung dipasang di atas pipa. Anoda ini cocok untuk dipasang pada pipa bawah laut apa saja, kecuali pada pipa yang tertimbun didalam *seabed*. Desain pemasangan anoda dapat dilihat pada penjelasan dari Gambar 2.3. sampai Gambar 2.7 berikut ini.



Gambar 2.3. Desain anoda Mat Anode

Sumber: *Extending the Life of Cathodic Protection Systems for Offshore Pipelines*, Jim Britton and Dick Baxter (2008)

Untuk desain anoda yang *Rigid Sub-Bottom Anode Sled Array*, berbeda dengan *Mat Anode* yang memiliki bentuk fleksibel, pada desain yang satu ini memiliki bentuk yang kaku dan keras. Desain anoda ini memiliki bentuk yang lebih sederhana. Anoda ditopang oleh beton yang membuat bentuk desainnya seperti berbentuk layaknya papan luncur.



Gambar 2.4. Desain anoda Rigid Sub-Bottom Anode Sled Array

Sumber: *Extending the Life of Cathodic Protection Systems for Offshore Pipelines*, Jim Britton and Dick Baxter (2008)

Bentuk desain anoda yang lain yaitu *Deep Water Monitored Anode Pod Array*, dimana pada anoda bentuk ini seperti halnya perpaduan antara *Mat Anode* dan *Rigid Sub-Bottom Anode Sled Array*, hanya saja ukuran dimensinya tidak terlalu panjang (lebih kearah berbentuk persegi) dan dilengkapi dengan *Pod* yang mampu menampilkan besaran arus electron yang berpindah pada anoda.



Gambar 2.5. Desain anoda *Deep Water Monitored Anode Pod Array*

Sumber: *Extending the Life of Cathodic Protection Systems for Offshore Pipelines*, Jim Britton and Dick Baxter (2008)

Anoda dikoneksikan ke pipa dengan cara menggunakan *clamp*. *Clamp* ini harus didesain dengan semudah mungkin dalam pemasangannya supaya mampu dipasang oleh ROV. Salah satu keunggulan menggunakan *clamp* sebagai penghubung ini yaitu dikarenakan mudah dan lebih hemat biaya. Sebagai penghubung antara *clamp* dengan anoda digunakan kabel tembaga yang terbukti baik dalam menghantarkan electron atau arus listrik. Beberapa jenis *clamp* ada yang berupa *clamp* manual ada juga *clamp* yang terdapat *pod* untuk mendeteksi arus pada anoda. Biasanya *clamp* yang tidak terdapat *pod* ini digunakan pada anoda dengan desain *Mat Anode* dan *Rigid Sub-Bottom Anode Sled Array*.



Gambar 2.6. *Clamp* yang menghubungkan anoda dengan pipa

Sumber: *Extending the Life of Cathodic Protection Systems for Offshore Pipelines*, Jim Britton and Dick Baxter (2008)

Mekanisme pemasangan anoda dengan menggunakan ROV ini yaitu, sebelum anoda dimasukkan ke bawah laut anoda disusun sesuai dengan kondisi geografis letak pipa dan juga sesuai dengan desain *retrofit* anoda yang diinginkan. Selanjutnya, anoda dimasukkan ke laut dengan menggunakan bantuan *crane* yang ada pada kapal

DSV. Kemudian dari bawah permukaan air laut ROV dikendalikan untuk mengatur letak posisi anoda yang tepat. Setelah posisinya tepat selanjutnya ROV memasang clamp agar terhubung dengan pipa.



Gambar 2.7. Pemasangan anoda menggunakan ROV

Sumber: *Extending the Life of Cathodic Protection Systems for Offshore Pipelines*, Jim Britton and Dick Baxter (2008)

2.6. Konsep Dasar Risiko

Risk adalah probabilitas dari suatu peristiwa yang menyebabkan kerugian dan besarnya potensi kerugian itu sendiri. Dengan definisi ini, berarti jika risiko bertambah maka probabilitas juga akan bertambah. Transportasi produk dengan pipa adalah risiko karena menyebabkan kerusakan. Definisi yang paling umum untuk mendefinisikan risiko sering dinyatakan dengan hubungan matematika (Kent, 2014):

$$\text{Risk} = (\text{event likelihood}) \times (\text{event consequence})$$

Dimana:

Risk :Kemungkinan atau potensi untuk terjadinya kerusakan atau kerugian yang disebabkan adanya bahaya dan kegagalan.

Event likelihood :Frekuensi kemungkinan terjadinya kejadian yang tidak diinginkan per satuan waktu.

Event Consequence :Konsekuensi yang meliputi besar/tingkat dari kerusakan, kerugian, dan juga jumlah orang yang dipengaruhi karena adanya bahaya.

Penilaian Risiko (*Risk Assessment*) adalah sebuah metode yang sistematis untuk menentukan apakah suatu kegiatan mempunyai risiko dapat diterima atau tidak. *Risk Assessment* didefinisikan sebagai seluruh rangkaian proses identifikasi kerusakan dan estimasi risiko seperti: *likelihood*, *exposure*, konsekuensi, dan *safety level assessment* serta ketidak pastian yang juga dijadikan pertimbangan. Analisa dapat ditujukan dalam berbagai aspek seperti risiko keamanan, risiko keuangan, risiko lingkungan dan risiko lainnya. Analisa yang sesuai dapat memberikan informasi dan

sebuah kritik yang baik untuk membuat keputusan dan akamengklarifikasi keputusan tersebut. Proses penilaian terhadap risiko dilakukan untuk mengidentifikasi seluruh kemungkinan buruk yang mungkin dapat membahayakan kesehatan manusia, lingkungan, proses produksi, maupun peralatan karena aktivitas manusia dan teknologi.

Ada beberapa hal yang perlu dipahami sebelum mempelajari lebih lanjut mengenai *risk assasement*:

- *Hazard/Threats*, yaitu kondisi-kondisi yang ada dan mungkin menjadi potensi kejadian yang tidak diinginkan.
- *Control*, yaitu tindakan/langkah yang diberikan untuk mencegah *Hazard* dari penyebab kejadian-kejadian yang tidak diinginkan.
- *Event*, yaitu kejadian yang dihubungkan akibat. Ada beberapa tipe dari kemungkinan hasil dari kejadian awal yang mungkin pada range dalam tingkat kerusakan dari biasa sampai serius tergantung pada kondisi-kondisi yang dahulu dan penambahabn kejadian-kejadian
- *Risk*, yaitu terdiri dari dua elemen, frekuensi dan konsekuensi. Risk dapat diartikan sebagai produk dari frekuensi dan kejadian yang diantisipasi untuk terjadi dan konsekuensi dari hasil kejadian.

2.7. Metode Frekuensi Perhitungan Tubrukan

2.7.1. Quantitative Risk Assessment

a. *Powered vessel Model*

Analisis frekuensi untuk kasus *head-on collision* atau *powered vessel* ini menggunakan model perhitungan *Quantitative Risk Assessment* (QRA). Pada model ini diasumsikan bahwa frekuensi tubrukan adalah sesuai dengan jumlah kapal yang melewati *platform* pada area pemasangan anode (Spogue, 1999). Pada pembahasan ini *platform* diasumsikan sebagai *Diving Suppor Vessel* yang sedang beroperasi untuk pemasangan anoda pada pipa gas bawah laut.

Frekuensi tubrukan dihitung untuk setiap alur pelayaran yang melewati objek adalah sebagai berikut:

$$F_{CP} = N \times F_d \times P_1 \times P_2 \times P_3$$

dimana:

F_{CP} = frekuensi tubrukan kapal dengan objek

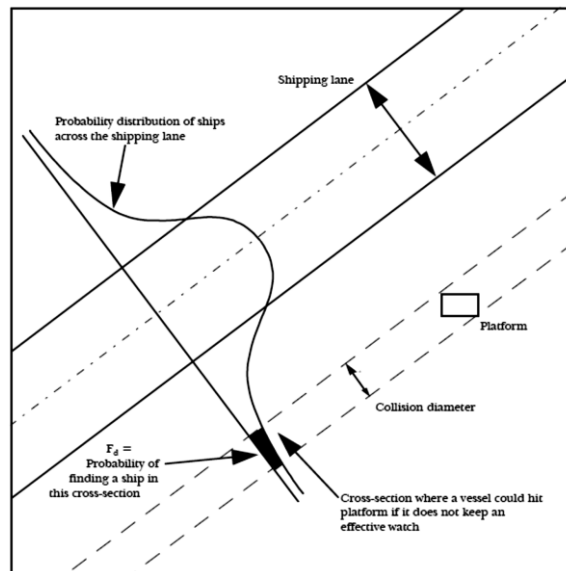
N = jumlah kapal yang melewati alur pelayaran

F_d = proporsi kapal yang melewati alur pelayaran dan menuju ke area proses pemindahan pipa yang terdapat objek

P_1 = Peluang kapal mengalami kegagalan dalam berlayar di alurnya

P_2 = Peluang kapal gagal dalam *watchkeeping*

P_3 = Peluang objek gagal dalam memberikan *alert* pada kapal yang berlayar untuk mencegah tubrukan



Gambar 2.8. *Powered vessel*

Sumber: Spouge, *A Guide to Quantitative Risk Assessment for Offshore Installations* (1999)

b. Drifting Vessel Collision Models

Tipe tubrukan lain yang mungkin terjadi selama pemasangan anoda ini adalah *drifting collision*. Kapal menyimpang dari alur dan menabrak *platform* (DSV). Hal ini terjadi karena apabila dalam kondisi berikut:

- Kapal mengalami kerusakan pada sistem propulsinya
- Arah angin yang membuat kapal menyimpang dari alur
- Ada kapal lain yang mencoba menarik tetapi tidak berhasil
- Kapal mengalami kegagalan dalam memperbaiki kerusakan pada kapal itu sendiri

Adapun perhitungan frekuensi metode ini yaitu:

$$F_{CD} = N_b \times P_B \times P_W \times D/BL$$

dimana:

F_{CD} = frekuensi tubrukan kapal karena drifting (per tahun)

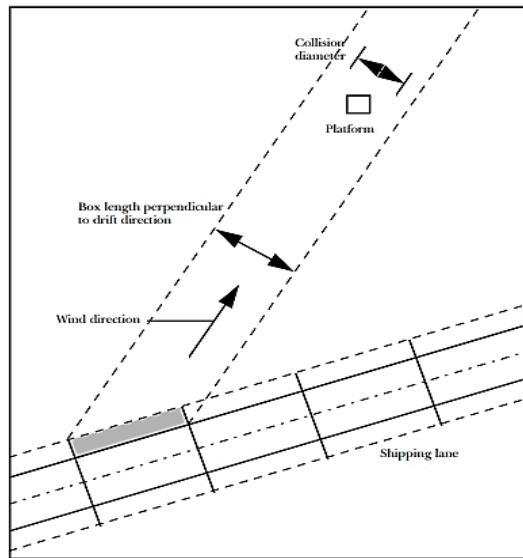
N = jumlah kapal yang melewati alur pelayaran (kapal/tahun)

P_B = Peluang kegagalan

P_W = Peluang angin bertiup

D = *Collision Diameter*

BL = Panjang garis lurus ke arah angin



Gambar 2.9. *Drifting Collision*

Sumber: Spouge, *A Guide to Quantitative Risk Assessment for Offshore Installations* (1999)

2.7.2. *Traffic Based Models*

Traffic Based Models merupakan pendekatan perhitungan frekuensi kecelakaan yang disesuaikan dengan standard teknis, kondisi lingkungan sekitar dan kepadatan lalu lintas kapal di suatu perairan tertentu (Kristiansen, 2005). Melalui metode ini dapat diestimasi frekuensi kecelakaan tubrukan, kandas dan juga persinggungan pada suatu daerah secara spesifik.

Berdasarkan teori dasar bahwa Angka kecelakaan per unit per satuan waktu pada suatu alur tertentu dapat dihitung dengan pendekatan:

$$C_m = \lambda_m \cdot N_m = P(C)m.N$$

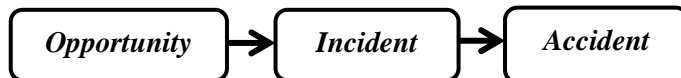
Dimana:

C_m = Angka kecelakaan di wilayah alur tertentu per satuan waktu

λ = jumlah kecelakaan per kapal lewat di alur/*fairway*

N_m = jumlah kapal yang lewat *per time unit*

$P(C)_m$ = *probability* dari kecelakaan ketika melalui *fairway*/alur



Gambar 2.10. Konsep terjadinya *accident*

Bahwa sebuah kapal dapat terjadi kecelakaan karena adanya kesempatan dan insiden, maka peluang dari sebuah kecelakaan dapat dirumuskan dengan:

$$P(A) = P(C) \cdot P(I/C)$$

Dimana:

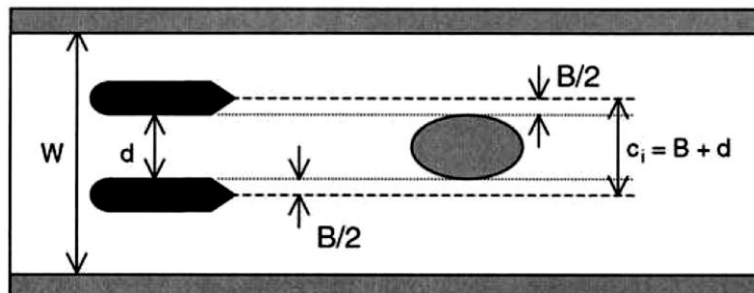
$P(A)$ = *probability* dari sebuah kecelakaan per jumlah kapal

$P(C)$ = peluang kapal kehilangan *control*

$P(I | C)$ = peluang kapal kehilangan control

a. *Grounding* (Kandas)

Sebuah kapal yang berlayar di daerah yang terbatas memiliki potensi mengalami kandas dan tubrukan. Zona pantai, karang, bebatuan serta objek lainnya yang tenggelam memiliki bahaya bagi kapal yang melewati daerah tersebut. Model yang digunakan untuk menghitung peluang kandas dapat dilihat pada Gambar 2.11. berikut



Gambar 2.11. Model Kecelakaan *grounding*
(Kristiansen, 2005)

Peluang kapal yang mengalami kandas, dapat dihitung dengan menggunakan rumus pendekatan, seperti pada rumus dibawah ini:

$$P_i = \frac{B + d}{W}$$

Dimana:

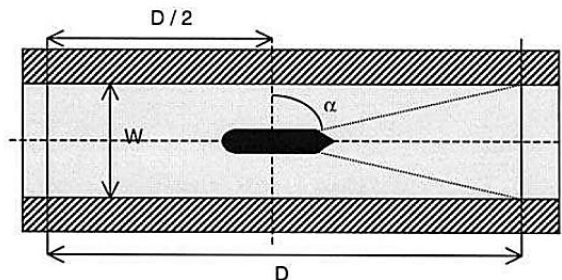
W = rata-rata lebar alur pelayaran (m)

D = lebar dari sebuah objek dilaut (m)

B = lebar kapal (m)

b. *Stranding* (Hanyut)

Stranding atau hanyut (*drifting*) terjadi ketika objek mengalami kegagalan navigasi dan terbawa oleh arus sehingga memungkinkan terjadinya kecelakaan akibat terhanyut. Pemodelan kecelakaan kapal akibat *stranding* diperlihatkan dalam gambar dibawah ini, dimana kapal berlayar dalam alur pelayaran dengan lebar W dan jarak relative pelayaran adalah D, seperti pada Gambar 2.12. berikut.



Gambar 2.12 Model kecelakaan *Stranding/drift*
(Kristiansen, 2005)

Probabilitas geometri terjadinya *stranding* dengan rasio sudut kritis (α) dari total sudut digambarkan ke satu arah:

$$P_i = \frac{\alpha}{\pi/2} = \frac{\text{arc. tan} \left(\frac{D/2}{W/2} \right)}{\pi/2}$$

Persamaan tersebut dapat disederhanakan dengan pendekatan:

$$P_i \approx 1 - \frac{2}{\pi} \cdot \frac{W}{D}$$

Dimana:

P_i = stranding geometrical *probability*

W = rata-rata lebar alur pelayaran (m)

$D/2$ = jarak kapal dengan objek pada sudut tertentu (m)

D = panjang alur kapal mulai mengalami kegagalan navigasi (m)

Maka probabilitas frekuensi kapal stranding akibat dari kegagalan navigasi:

$$P_c = \frac{P_a}{P_i}$$

Dimana:

P_a = *accident probability*

Adapun nilai P_a didapatkan dari:

$$P_a = \frac{N_a}{N_m}$$

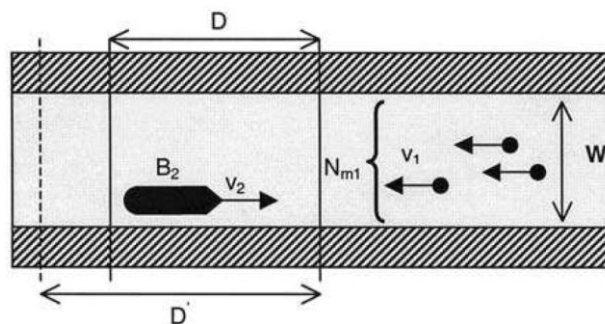
Dimana:

N_a = Jumlah kejadian kecelakaan dalam kurun waktu tertentu
 N_m = Jumlah kapal dalam kurun waktu tertentu

c. *Colission* (Tubrukan)

Tubrukan merupakan benturan yang terjadi antara dua objek yang bergerak. Perhitungan peluang terjadinya tubrukan dapat dimodelkan menjadi tiga jenis yaitu tubrukan antar haluan kapal (*Head on Collision*), tubrukan antara haluan dan lambung kapal (*Crossing Collision*), dan tubrukan antara haluan dan buritan kapal (*Overtaking Collision*).

Pada Gambar berikut, dapat dilihat permodelan kecelakaan kapal *head on collision*, yang menunjukkan bahwa kapal tersebut masuk dalam alur pelayaran dengan lebar W . Kapal tersebut melaju secara berhadapan dengan kapal-kapal lain, dengan arah yang berlawanan seperti yang terlihat pada Gambar 2.13. Hal tersebut memiliki potensi kecelakaan antar haluan kapal.



Gambar 2.13. Model kecelakaan Tubrukan *Head On* (Kristiansen, 2005)

Dimana:

B_1 = rata-rata lebar kapal (m)
 V_1 = rata-rata kecepatan kapal (Knot)
 B_2 = lebar kapal yang ditemui (m)
 V_2 = rata-rata kecepatan kapal yang ditemui (Knot)
 N_{m1} = Frekuensi kedatangan kapal yang ditemui (kapal / satuan waktu)
 D = Jarak pelayaran relatif (m)

Jumlah kapal yang ditemui dalam area persegi nautical mil dalam diukur berdasarkan kepadatan lalu lintas alur pelayaran, rumus yang digunakan untuk menghitung kepadatan alur pelayaran adalah:

$$\rho_s = \frac{N_{m1} + T}{(V_1 \cdot T) \cdot W} = \frac{N_{m1}}{V_1 \cdot W}$$

Dimana:

ρ_s = kepadatan lalu lintas yang ditemui kapal (kapal/nm²)

Rumus pendekatan yang digunakan untuk estimasi kecelakaan kapal yang melintasi pada daerah yang terbuka adalah:

$$N_i = A \cdot \rho_s$$

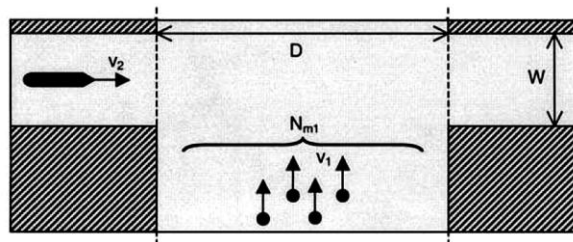
atau

$$N_i = A \cdot \rho_s = (B_1 + B_2) \cdot (v_1 + v_2) \cdot \frac{D}{v_2} \cdot D \cdot \rho_s$$

Dengan diketahui N_i , nilai probabilitas frekuensinya (P_a) dapat diketahui dengan rumus:

$$P_a = N_i \cdot P_c$$

Pada Gambar berikut, dapat dilihat permodelan kecelakaan kapal *crossing collision*, yang menunjukkan bahwa kapal tersebut saling berseberangan dan bertemu dalam alur pelayaran dengan lebar alur W dan panjang D . Kapal tersebut melaju secara melintang dengan kapal-kapal lain, dengan arah yang membentuk sudut terhadap alur. Hal tersebut memiliki potensi kecelakaan antar kapal dengan haluan, lambung maupun buritan dari kapal seperti pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Model kecelakaan Tubrukan *Crossing collision* (Kristiansen, 2005)

Density dari *crossing traffic* dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\rho_s = \frac{N_{m1} \cdot T}{(v_1 \cdot T) \cdot W} = \frac{N_{m1}}{v_1 \cdot W}$$

Jika kapal yang saling bertabrakan diasumsikan mempunyai karakteristik yang sama maka nilai P_i dapat dihitung dengan rumus:

$$P_i = \frac{N_{m1}}{v} \cdot 2 \cdot (B + L) = \rho_s \cdot 2 \cdot (B + L) \cdot D$$

Dimana:

B_1 = Lebar kapal 1 yang melakukan *crossing* (m)

L_1 = Panjang kapal yang melakukan *crossing* (m)

V_1	=kecepatan kapal yang melakukan <i>crossing</i> (knot)
B_2	=Lebar kapal yang jadi subjek <i>crossing</i> (m)
L_2	= Panjang kapal yang jadi subjek <i>crossing</i> (m)
V_2	= kecepatan kapal subjek <i>crossing</i> (knot)

Pada permodelan kecelakaan kapal *Overtaking collision*, disebabkan kapal tersebut saling melaju pada alur pelayaran dengan lebar W . Kapal tersebut melaju ke arah yang sama dengan kapal lain, dengan kecepatan yang berbeda serta adanya sudut dengan kapal lain sehingga memungkinkan terjadinya *overtaking*. Hal tersebut memiliki potensi kecelakaan antar haluan kapal dengan buritan kapal lain dan sebaliknya. Nilai *potential accidents* yang terjadi dapat didekati dengan menggunakan rumus:

$$N_i = \frac{(B_1 + B_2)}{W} \cdot \frac{(v_1 - v_2)}{v_1 \cdot v_2} \cdot D \cdot N_{m1}$$

$$N_i = \frac{(B_1 + B_2)}{W} \cdot D \cdot N_{m1} \sum fx \cdot fy \left(\frac{1}{vx - vy} \right)$$

2.8. Analisa Konsekuensi

Dalam menganalisa konsekuensi yang timbul dari tubrukan yang terjadi, hal ini memperhatikan beberapa kriteria, yaitu diantaranya kondisi korban jiwa atau manusia, kondisi harta yang dimiliki yang dalam hal ini dipilih kondisi kapal, pengaruh ke lingkungan, serta berpengaruh terhadap aktifitas pelabuhan dan pelayara atau tidak. Untuk menganalisa seberapa besar kerusakan yang terjadi pada kapal nantinya akan disimulasikan dengan software ANSYS.

2.9. Standard Aceptance Atribut

Kecelakaan kapal yang terjadi di APBS ini menjadi salah satu fokus utama dalam revitalisasi APBS. Dalam tugas akhir ini, standart dalam menentukan apakah frekuensi tubrukan kapal dengan DSV bisa diterima atau tidak adalah berdasarkan tujuan dari PT. Pertamina Hulu Energi bahwa di APBS ini nantinya tidak terjadi kecelakaan pelayaran. Sehingga frekuensi kecelakaan kapal harus kurang dari 1, jika lebih maka dalam tugas akhir ini nanti akan diberikan usulan mitigasi untuk mengurangi frekuensi kecelakaan kapal.

Metode yang digunakan yaitu dengan *risk matrix* dengan standard dari *Australia Standard Guidelines* (AN/NZ 4360:1999). Metode ini bisa dilakukan untuk menganalisis risiko baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis risiko dilakukan dengan cara menggabungkan kemungkinan (frekuensi dari suatu kejadian) dan konsekuensi (dampak dari risiko).

Tabel 2.2. Matriks Risiko

Risk Matrix AN/NZ 4360:1999			Consequence				
			1	2	3	4	5
			Loss Below \$5.000	Loss \$5.000 to \$50.000	Loss \$50.000 to \$1.000.000	Loss \$1.000.000 to \$10.000.000	Loss above \$10.000.000
Frequency	1	10 ⁻¹ per year	H	H	E	E	E
	2	10 ⁻² per year	M	H	H	E	E
	3	10 ⁻³ per year	L	M	H	E	E
	4	10 ⁻⁴ per year	L	L	M	H	E
	5	10 ⁻⁵ per year	L	L	M	H	H

Sumber: *Risk matrix AN/NZ 4360:1999*

Keterangan gambar:

L = *Low*, diatasi dengan prosedur rutin

M = *Moderate*, tanggung jawab manajemen harus ditentukan

H = *High*, perlu diperhatikan oleh pihak manajemen

E = *Extreme*, diperlukan tindakan segera

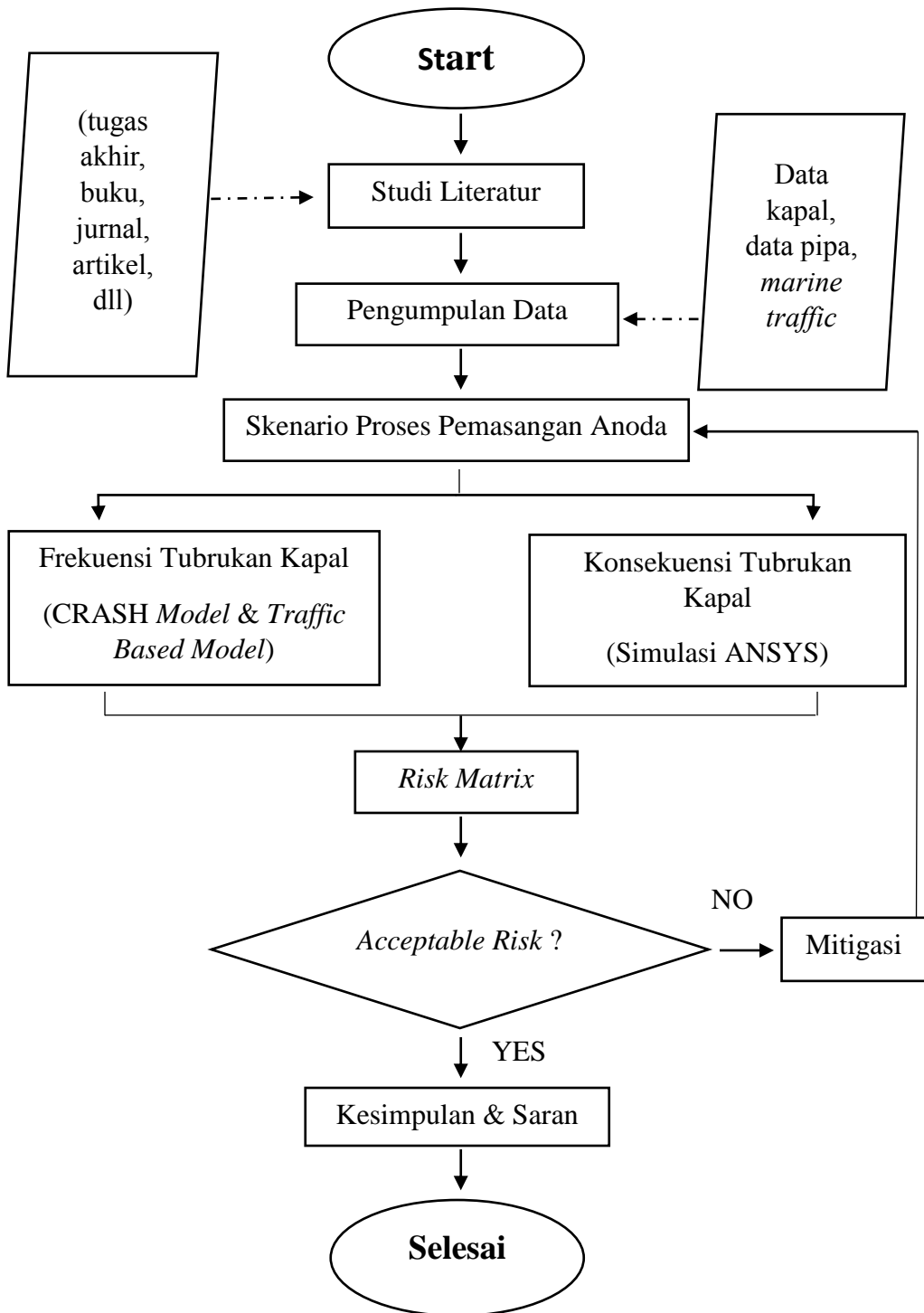
Risk matrix ini menggabungkan frekuensi dengan konsekuensi dengan kriteria yang telah ditentukan (Fahrirsozan, 2019). Frekuensi tersebut dibedakan menjadi 5 kriteria:

1. Satu kejadian dalam satu tahun
2. Satu kejadian dalam sepuluh tahun
3. Satu kejadian dalam seribu tahun
4. Satu kejadian dalam seribu tahun
5. Satu kejadian dalam ratusan ribu tahun

Penentuan kriteria konsekuensi didasarkan pada 5 kriteria, seperti:

1. Kerugian dibawah \$5,000
2. Kerugian \$5,000 sampai \$50,000
3. Kerugian \$50,000 sampai \$1,000,000
4. Kerugian \$1,000,000 sampai \$10,000,000
5. Kerugian diatas \$10,000,000

BAB III METODOLOGI



Gambar 3.1. Diagram Alir Proses Penelitian

3.1. Umum

Pada bab ini akan diuraikan langkah-langkah sistematis yang dilakukan dalam perhitungan dan analisis. Metodologi merupakan kerangka dasar dari penyelesaian tugas akhir, yang mencakup semua kegiatan yang dilaksanakan untuk memecahkan permasalahan dari proses analisa hingga menarik suatu kesimpulan terhadap tugas akhir.

3.2. Studi Literatur

Pada tahap ini, dilakukan studi terhadap referensi yang berasal dari jurnal/paper, internet, peraturan-peraturan pemerintah maupun organisasi yang mengatur tentang kapal dan buku-buku materi penunjang. Studi literature ini dilakukan untuk mempelajari tentang teori-teori dasar permasalahan yang berhubungan dengan *probability of maritime* dan faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya tubrukan kapal, serta teori tentang proses pemasangan anoda korban pada pipa.

3.3. Pengumpulan Data

Data-data yang dibutuhkan dalam pengerjaan tugas akhir:

1. Data pipa yang akan dipasang anoda korban.
2. Data lingkungan tempat pipa terpasang
3. Data kapal DSV, data kapal ini meliputi *displacement* dari kapal, spesifikasi jangkar kapal, data *girder* dan *power engine* kapal yang digunakan untuk menghitung konsekuensi kejadian pada masing-masing segmen.
4. Data *marine traffic*

3.4. Skenario Proses Pemasangan Anoda Korban

Pemasangan anoda korban pada pipa bawah laut ini menggunakan peralatan robot ROV sebagai pengganti manusia untuk melakukan penyelaman dan pemasangan anoda pada pipa bawah laut. Anoda nantinya akan dipasang menggunakan *clamp* sehingga tidak diperlukan pengelasan pada pipa.

3.5. Perhitungan Frekuensi Tubrukan Kapal

Ada dua metode yang digunakan yang digunakan dalam perhitungan frekuensi tubrukan kapal dengan DSV yakni metode CRASH (*Computerised Risk Assessment of Shipping Hazards*) dan *Traffic Based Model*. Hasil dari perhitungan kedua metode ini akan dibandingkan. Tipe tubrukan dipertimbangkan dalam perhitungan frekuensi ini adalah *drifting collision*.

3.6. Analisa Konsekuensi Tubrukan Kapal

Menganalisa konsekuensi berdasarkan kriteria, yaitu diantaranya kondisi korban jiwa atau manusia, kondisi kapal, pengaruh ke lingkungan, serta pengaruh terhadap aktifitas pelabuhan dan pelayara atau tidak. Untuk menganalisa seberapa besar kerusakan yang terjadi pada kapal nantinya akan disimulasikan dengan software ANSYS.

3.7. Risk Matrix

Berdasarkan hasil perkiraan frekuensi dan perkiraan konsekuensi yang sudah didapatkan, maka selanjutnya hasil tersebut diplotkan kedalam *risk matrix*. Risiko tersebut akan ditentukan dalam *risk matrix* apakah dapat diterima atau tidak.

3.8. Mitigasi

Usulan mitigasi diberikan ketika hasil perhitungan menunjukkan frekuensi tubrukan kapal tidak bisa diterima oleh *acceptance atribut* yang digunakan sebagai acuan. Mitigasi ini berfungsi untuk mengurangi frekuensi tubrukan.

3.9. Kesimpulan dan Saran

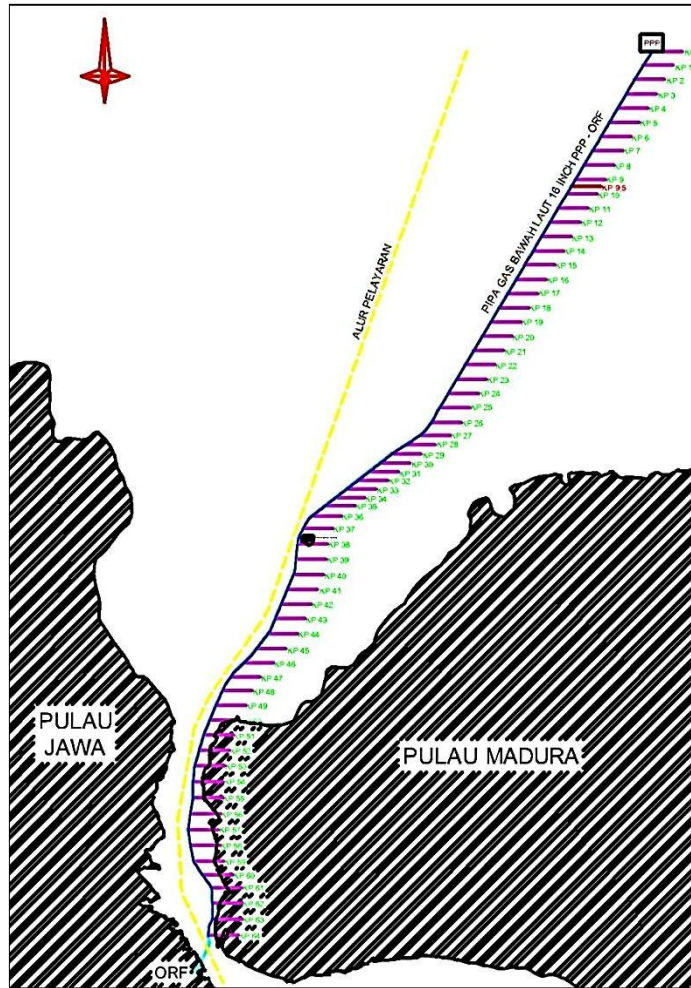
Langkah terakhir adalah membuat kesimpulan dari keseluruhan proses yang telah dilakukan sebelumnya serta memberikan jawaban atas permasalahan yang ada. Selanjutnya setelah membuat kesimpulan adalah memberikan saran berdasarkan hasil dari analisis untuk dijadikan dasar pada penelitian selanjutnya, baik terkait secara langsung pada skripsi ini ataupun pada data-data dan metodologi yang nantinya akan direferensi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV ANALISA HASIL & PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum

Pada tugas akhir ini, penulis menganalisis risiko tubrukan yang terjadi pada kapal DSV yang sedang melakukan penggantian anoda pipa milik PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore. Daerah yang dilakukan penelitian yaitu seluruh segmen pipa 16 inch yang ada di tengah laut, khususnya pada anoda yang ada di posisi KP 0 hingga KP 64 (64 Km panjang pipa) seperti Gambar 4.1. berikut.



Gambar 4.1. Area pemasangan anoda pipa
Sumber: Dokumen Perusahaan

Data yang diperlukan untuk pengerjaan tugas akhir ini antara lain jumlah kapal per tahun yang melewati APBS, data ukuran kapal (Panjang dan lebar kapal), kecepatan kapal, serta riwayat kecelakaan kapal yang pernah terjadi. Data ini diperlukan untuk perhitungan frekuensi tubrukan kapal. Tabel 4.1 berikut ini

menunjukkan jumlah kapal yang berlayar di APBS dalam kurun waktu 10 tahun terakhir, dari tahun 2008 – 2017.

Tabel 4.1. Data Jumlah Kapal di APBS

Tahun	Jumlah Kapal
2008	20951
2009	20834
2010	19847
2011	19742
2012	20624
2013	24093
2014	19895
2015	19115
2016	23352
2017	26901

Sumber: PT. Pelindo III, KSOP, VTS Surabaya

Setelah diketahui semua data yang digunakan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini, maka selanjutnya akan dilakukan langkah-langkah pengerjaan untuk memperoleh frekuensi tubrukan kapal. Setelah menghitung frekuensi tubrukan kapal, langkah selanjutnya yaitu menganalisa konsekuensi yang terjadi ketika tubrukan dengan mensimulasikan menggunakan *software ANSYS workbench explicit dynamic*.

Sesuai dengan perumusan masalah yang telah ditentukan sebelumnya, pokok bahasan yang ada dalam tugas akhir ini antara lain:

1. Melakukan perhitungan frekuensi tubrukan kapal dengan metode CRASH Model dan *Traffic Based Model*.
2. Menganalisa konsekuensi tubrukan kapal melalui simulasi pada *software ANSYS workbench explicit dynamic*.
3. Menginterpretasikan hasil perhitungan frekuensi dan analisa konsekuensi pada *risk matrix*.

4.2. Skenario Pemasangan Anoda Pipa PHE 16 Inch

Pipa 16 *inch* milik PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore merupakan fasilitas transportasi yang digunakan oleh perusahaan untuk memindahkan hasil produksi pengeboran minyak yang berada di Laut Jawa berupa gas alam. Tabel 4.2. Berikut adalah penjelasan data pipa 16 *inch* milik PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore:

Tabel 4.2. Data Pipa

Information	Value
Outside Diameter	16 inch
Pipe Length	66046 m

Lanjutan tabel ada di halaman selanjutnya

Lanjutan tabel dari halaman sebelumnya

Information	Value
External Corrosion Coating	Asphalt Enamel
Concrete Weight Coating thickness	1 inch
Anode	Alumunium Bracelet type

Sumber: Dokumen Perusahaan

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, dalam proses penggantian anode ini hanya menggunakan kapal DSV. Ketika sedang melakukan pemasangan, DSV berada di atas permukaan laut dari posisi pipa sampai pemasangan anode selesai dilakukan. Pemasangan anoda ini dilakukan sepanjang area pada pipa 16 *inch* (KP 0 – KP 64) yang memiliki lebih dari 1000 titik anoda. Adapun data persebaran titik anoda terdapat pada Tabel 4.3. berikut:

Tabel 4.3. Data Persebaran Jumlah dan Posisi Anoda pada pipa

Pipe Section	Jarak Anoda (m)	Jumlah Anoda
KP 0 - KP 9,5	44	216
KP 9,5 - KP 29	44	443
KP 29 - KP 64	44	795
KP 64 - KP 66,046	44	47

Sumber: Dokumen Perusahaan

Pada tugas akhir ini hanya dilakukan pada area pipa mulai dari KP 0 sampai dengan KP 64, dikarenakan pada area KP 64 - KP 66,046 posisi pipa terkubur dalam di bawah tanah (*HDD Section*) dan letaknya bersebrangan dengan jalur utama APBS, sangat tidak diperbolehkan melakukan suatu proyek di Area tersebut dikarenakan dapat menyebabkan lalu lintas pelayaran terhambat total. Posisi pipa pada area KP 29 – KP 64 berada lebih dekat dengan APBS daripada posisi pipa pada area KP 0 – KP 29. Dari data anoda tersebut dapat diketahui total anoda yang akan difokuskan pada pengerjaan tugas akhir ini yaitu sebanyak 1454 anoda. Akan tetapi 1 titik anoda yang berada di KP 0 tidak dimasukkan dalam pembahasan tugas akhir ini dikarenakan anoda tersebut berada di titik awal terletak pada *Poleng Processing Platform* (PPP), sehingga jumlah anoda yang akan dianalisa yaitu sebanyak 1453.

Kondisi APBS saat ini memiliki lebar 200 meter. Jarak antar anoda yang terpasang pada pipa yaitu sebesar 44 meter. Dalam melakukan aktivitas pemasangan anoda yang berada diatas laut, pihak perusahaan menggunakan kapal DSV. Kapal DSV yang digunakan memiliki fasilitas seperti ROV dan *dynamic positioning system* yang mampu membuat DSV diam berada pada posisi yang telah ditentukan. Alasan mengapa harus menggunakan kapal dengan teknologi yang canggih sekelas DSV ini yaitu dikarenakan area yang sedang digunakan untuk melakukan pemasangan anoda merupakan area terbatas untuk tidak melempar jangkar sembarangan. Untuk itulah pihak perusahaan menggunakan kapal DSV yang memiliki kemampuan mampu berdiam diri dalam posisi yang ditentukan tanpa

melempar jangkar ke dasar laut yang berpotensi akan merusak pipa gas. Ukuran kapal DSV berpengaruh pada perhitungan frekuensi. Kapal DSV yang sering digunakan oleh PHE WMO yang biasa digunakan untuk pengerjaan *pipeline* yaitu MV. Catherine Queen, yang memiliki spesifikasi dan penampakan pada Gambar 4.2. sebagai berikut:

Length	=	65	m
Breadth	=	15,8	m
Draft	=	4,8	m

DP 2 *Dynamic Positioning System*



Gambar 4.2. Kapal DSV DP2 MV. Catherine Queen
Sumber: marinetraffic.com

Jumlah tubrukan yang terjadi selama proses penggantian anode akan dihitung berdasarkan lamanya waktu aktifitas DSV di sekitar alur. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Jim Britton dan Dick Baxter, *Extending the Life of Cathodic Protection Systems for Offshore Pipelines* (2008), durasi untuk melakukan penggantian anoda ini menghabiskan waktu 4 hingga 18 jam seriap titik lokasi anoda. Lama tidaknya proses penggantian ini disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya seperti kedalaman pipa dan apakah pipa terkubur atau tidak di dasar laut. Untuk pipa PHE WMO 16 *inch*, khususnya pada pipa area KP 0 – KP 64 ini tidak terkubur atau berada diatas *seabed*, jadi tidak terlalu dibutuhkan upaya yang rumit dan tidak menghabiskan banyak waktu. Tabel 4.4. berikut merupakan ringkasan estimasi durasi penggantian anoda tiap titik lokasi anodanya.

Tabel 4.4. Prosedur Pemasangan Anoda tiap Titik Lokasi

No.	Aktifitas Penggantian Anoda Pipa	Durasi
1	<i>Expose pipe</i>	1 jam
2	<i>Set up lokasi</i>	1 jam
3	Preparasi pipa yang akan di- <i>repair</i>	4 jam
4	Persiapan penurunan anoda yang akan dipasang	1 jam
5	Pemasangan & <i>positioning</i> anoda yang baru	2 jam
TOTAL		9 jam

Sumber: Hasil wawancara dengan ahli FEI (*Facility Engineering Integrity*) PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore

Expose pipe, langkah awal untuk melakukan pekerjaan ini yaitu harus mengidentifikasi letak dan posisi pipa terlebih dahulu. Kapal DSV harus diposisikan tepat diatas letak anoda pipa yang akan dilakukan pemasangan anoda baru. Setelah memosisikan badan kapal, barulah melakukan langkah selanjutnya.

Set up lokasi, setelah kapal tepat berada posisi yang telah ditentukan, selanjutnya yaitu merancang perkiraan tempat dan lokasi yang akan ditempati oleh komponen-komponen pemasangan anoda ini, seperti *set up* posisi anoda beserta *concrete*-nya, posisi ROV, dan lain-lain.

Preparasi pipa yang akan di-*repair*, kegiatan ini dilakukan dengan tujuan menyiapkan kondisi pipa sebelum dilakukan pemasangan anoda. Persiapan ini salah satunya seperti membersihkan lapisan luar pipa apabila terdapat benda-benda asing yang menempel diatasnya seperti tanah, batu, ataupun karang.

Persiapan penurunan anoda yang akan dipasang, setelah semua persiapan telah dilakukan barulah anoda baru yang akan dipasang diturunkan secara perlahan dengan menggunakan *crane* menuju ke tempat yang telah di *set* sebelumnya. Ketika telah berada di dalam air, ROV akan mengarahkan anoda ini ke tempat yang telah direncanakan.

Pemasangan & *positioning* anoda yang baru, pemasangan anoda pada pipa dilakukan dengan cara memberikan lubang kecil pada bagian *concrete*, selanjutnya *clamp* yang terhubung pada anoda yang baru dipasang pada pipa tepat pada bagian diatas *concrete* yang telah dilubangi, terakhir *clamp* dihubungkan ke lubang tadi dengan alat penghubung seperti baut sekaligus menambah kekuatan kuncian pada *clamp* terhadap pipa.

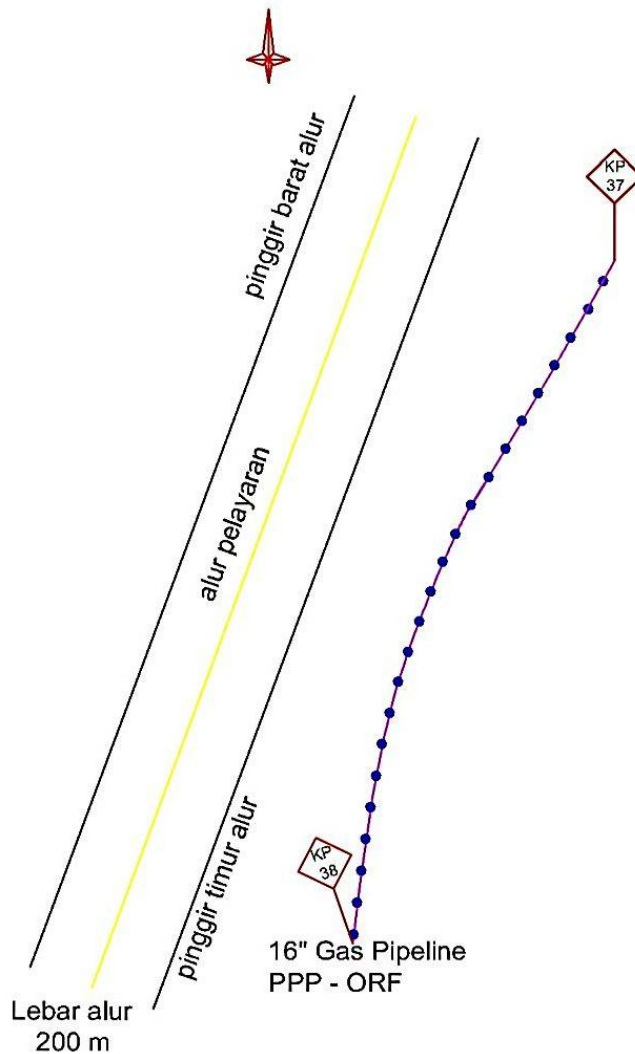
Waktu pengerjaan satu titik anoda adalah 9 jam, maka total waktu untuk penggantian anoda 1453 titik yaitu 13077 jam. Jika pekerjaan ini dilakukan secara terus menerus tanpa ada jeda waktu, maka secara keseluruhan pekerjaan ini akan memakan waktu selama 1,5 tahun.

4.3. Perhitungan Frekuensi

Sebelum menghitung frekuensi tubrukan yang terjadi pada DSV, maka harus ditentukan terlebih dahulu kemungkinan jenis tubrukan yang terjadi pada DSV. Jenis tubrukan yang terjadi ini ditentukan berdasarkan lokasi pipa apakah berada didalam alur pelayaran atau berada di luar alur. Setelah dilakukan observasi pada peta lokasi pipa, dapat ditentukan untuk seluruh pipa yang terbentang dari KP 0 hingga KP 64 berada di luar alur pelayaran. Sehingga kemungkinan tubrukan yang terjadi pada proyek ini yaitu tubrukan kapal akibat kapal hanyut (*drifting collision*).

Pada penentuan jenis tubrukan yang akan terjadi ini, dikarenakan salah satu objek kapal berada di luar alur dan dalam kondisi diam, maka jenis tubrukan yang akan terjadi tidak relevan dengan jenis tubrukan seperti *head-on*, *crossing* dan *overtaking*. Hal tersebut dikarenakan, ketiga jenis tubrukan tersebut bisa terjadi hanya pada 2 objek yang saling bergerak dan tidak hanya satu relatif terhadap bahaya stasioner (Kristiansen, 2005). Untuk itu hanya jenis tubrukan *drifting* yang paling sesuai dalam kasus ini.

Dalam perhitungan frekuensi ini akan diambil contoh perhitungan frekuensi pada titik anoda yang memiliki jarak paling dekat dengan APBS, yaitu pada KP 37 – KP 38 seperti pada Gambar 4.3. dibawah ini. Perhitungan frekuensi menggunakan metode CRASH yang dibandingkan dengan metode *Traffic Based Model*.

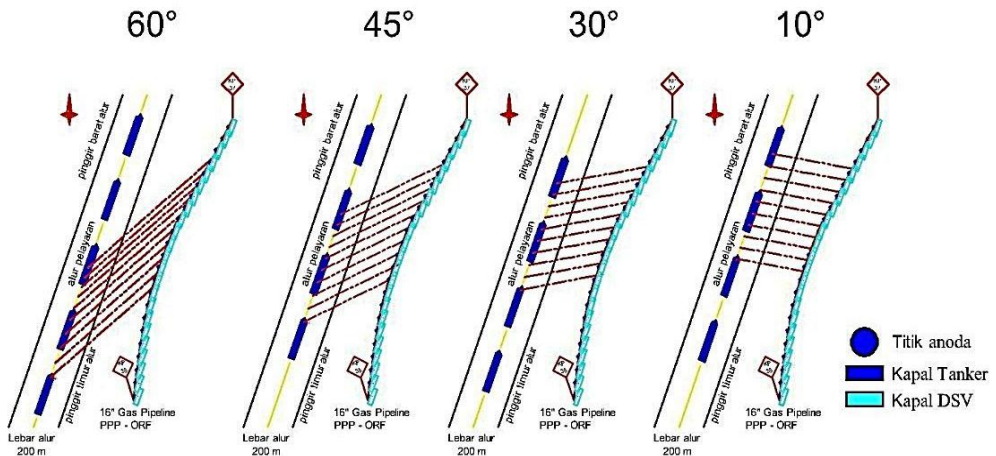


Gambar 4.3. Gambar proyeksi pipa KP 37 – KP 38 dan APBS

Jumlah anoda pada KP 37 – KP 38 terdapat 23 titik anoda. Kondisi APBS saat ini memiliki lebar 200 meter. Jika jarak antara pipa dengan tengah alur kurang dari setengah lebar alur atau kurang dari 100 meter, maka dipastikan posisi pipa terletak di dalam alur. Jika jarak keduanya lebih dari 100 meter maka pipa berada di luar alur APBS. Setelah melakukan pengukuran jarak berdasarkan skala peta dari KP 37 – KP 38 ke titik tengah alur, didapatkan jarak terdekat antara pipa dengan tengah alur sebesar 305,23 meter. Dengan demikian pipa 16 inci milik PHE WMO pada KP 37 – KP 38 berada di luar APBS. Dengan kondisi letak pipa yang berada di luar alur, salah satu kemungkinan kecelakaan kapal yang bisa terjadi yaitu *stranding* atau *drifting*. Berikut ini perhitungan frekuensi kecelakaan kapal akibat *stranding/drifting* dengan metode *CRASH Model* dan *Traffic Based Model*, serta dengan variasi sudut hanyut 10° , 30° , 45° , dan 60° .

Skenario tubrukan *drifting collision* dapat dilihat pada Gambar 4.4. dibawah ini. Terlihat pada gambar, geometri warna biru tua yang disebelah kiri merupakan kapal

jenis tanker dengan ukuran dimensi terbesar yang lewat di APBS. Sedangkan geometri warna biru muda yang ada di sebelah kanan merupakan kapal DSV yang sedang melakukan kegiatan pemasangan anoda pada pipa. Garis merah merupakan proyeksi *drifting* kapal membentuk suatu sudut tertentu.



Gambar 4.4. Skenario *drifting collision*

Kapal yang akan dianalisis adalah semua kapal yang menuju ataupun keluar Gresik dan pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Dari tabel 4.1., didapat data kapal yang melewati APBS dalam kurun waktu 10 tahun terakhir (2008 – 2017). Dengan menggunakan metode perkiraan pada Microsoft excel, maka didapat perkiraan jumlah kapal yang melewati APBS pada tahun 2018 – 2020 seperti yang tercantum pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5. Prediksi Jumlah Kapal Tahun 2018 – 2020

Tahun	Jumlah Kapal per Tahun	Jumlah Kapal per Hari	Jumlah Kapal per Jam
2018	23917	65.5	2.73
2019	24350	66.7	2.78
2020	24783	67.9	2.83

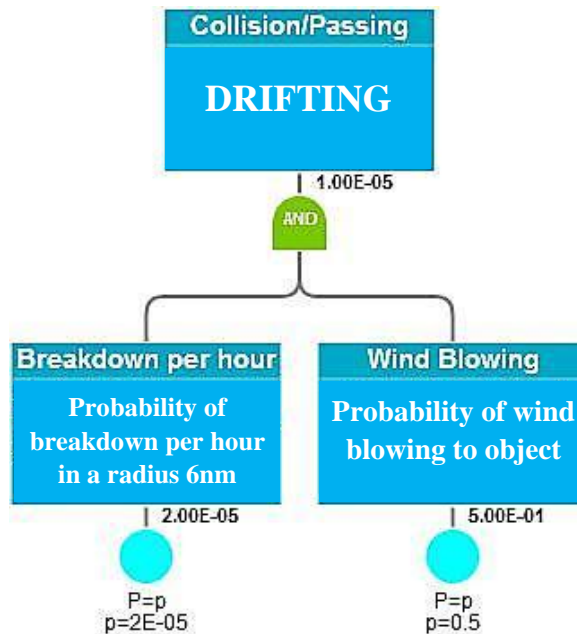
Dari data jumlah kapal tersebut, pada tahun 2019 bisa diprediksi jumlah kapal yang melewati APBS tiap jamnya yaitu sebanyak 2,73. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya waktu pengerjaan pemasangan anoda menghabiskan waktu selama 9 jam, jadi apabila dikalkulasikan didapatkan jumlah kapal yang lewat selama 9 jam yaitu sekitar 26 kapal.

4.3.1. Perhitungan Frekuensi *Drifting Collision* dengan *CRASH Model*

Tipe tubrukan yang mungkin terjadi antara kapal-kapal di APBS dengan DSV adalah *drifting collision*. *Drifting collision* merupakan keadaan dimana kapal terseret oleh ombak ataupun adanya angin yang bertiup kearah suatu objek hingga kapal

menubruk objek tersebut. Tubrukan ini pada umumnya diawali dengan adanya kegagalan *engine* dalam beroperasi sehingga *engine shutdown*.

Kapal akan mengalami *drifting* terbesar pada sudut 60° (Daeng, Paroka dkk 2014), Kemungkinan tubrukan setiap kapal yang melintas ditentukan dengan menggunakan *fault tree analysis*.



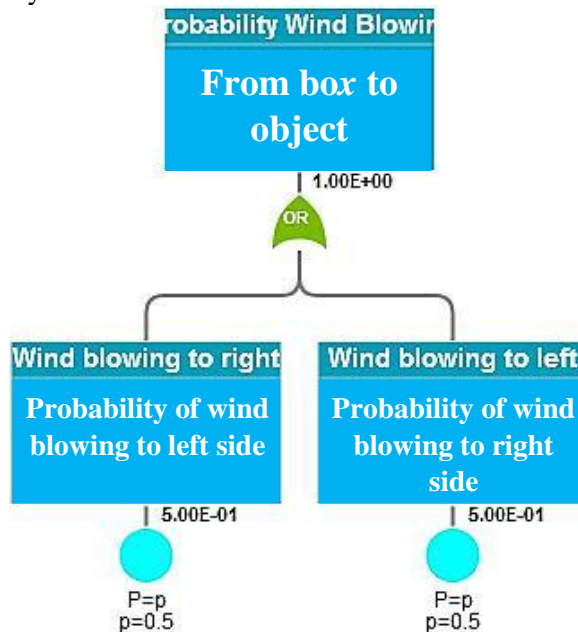
Gambar 4.5. *Fault Tree Analysis* untuk Drifting Collision

Berdasarkan gambar 4.5. pada *fault tree analysis* diatas memungkinkan kapal menubruk objek terjadi apabila *engine* mengalami kegagalan dan *repair engine* tidak berhasil selama waktu tertentu serta adanya angin yang bisa menyeret kapal menuju objek (DSV) hingga tertubruk. Berdasarkan Risknology, Inc., 2006 yang berjudul *Appendix F – Marine Traffic and Ship Collision Modelling – Cabrillo Port LNG Deepwater Port Independent Risk Assessment*, kemungkinan kapal mengalami kegagalan mesin tiap jam pada jarak 6nm adalah sebesar 0.00002. kemungkinan ini akan berubah sesuai dengan jarak kapal dengan objek yang mungkin akan ditabrak serta kecepatan *drifting* kapal.

Sedangkan probabilitas angin bertiup dari *box* menuju objek adalah 0.5 dengan asumsi bahwa angin bertiup kearah kanan sebesar 0.5 dan kearah kiri 0.5. Dengan begitu maka kapal yang bergerak meninggalkan maupun menuju ke Pelabuhan Gresik atau Surabaya sama-sama memiliki kemungkinan menabrak objek sehingga tidak ada yang diabaikan.

Probabilitas pada Gambar 4.6. dibawah ini menunjukkan probabilitas dimana angin memiliki peluang untuk bergerak kearah kiri maupun kearah kanan. Hal tersebut sesuai dengan kenyataan dimana ketika seseorang sedang menaiki kapal terdapat 4 arah angin secara umum yang akan mengenai badan kapal maupun manusia, yaitu dari arah kiri, kanan, depan, maupun belakang. Untuk arah angin

yang dari depan/belakang tidak berpengaruh besar terhadap perubahan arah kapal ketika sedang berlayar.



Gambar 4.6. *Fault Tree Analysis* untuk *Wind Blowing*

Pada perhitungan frekuensi *drifting collision* ini menggunakan beberapa variasi sudut hanyut kapal yaitu sebesar 10° , 30° , 45° , dan 60° . Dengan memasukkan rumus $F_{CD} = N_b \times P_B \times P_W \times D/BL$ yang telah dijelaskan pada bab Sebelumnya dengan keterangan sebagai berikut:

- F_{CD} = frekuensi tubrukan kapal karena drifting (per tahun)
- N = jumlah kapal yang melewati alur pelayaran (kapal/tahun)
- P_B = Peluang kegagalan
- P_W = Peluang angin bertiup
- D = Collision Diameter
- BL = Panjang garis lurus ke arah angin

Maka didapatkan nilai frekuensi untuk KP 37 – KP 38 pada tabel berikut.

Tabel 4.6. Contoh Perhitungan Nilai Frekuensi *Drifting Collision* 10°

<i>Drifting Collision</i>		Box 1	Box 2	Box 3	Box 4	Box 5	Box 6
		826th anode	827th anode	828th anode	829th anode	830th anode	831st anode
N	<i>Total traffic in the box</i>	26	26	26	26	26	26
L	<i>Length of box (nm)</i>	0.1982	0.1949	0.1917	0.1883	0.1851	0.1818
S	<i>Speed of drifting (knots)</i>	3	3	3	3	3	3
Pb	<i>Probability of breakdown per hour in a radius of 6nm</i>	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002
	<i>Probability of breakdown = L/S x Pb</i>	1.32115E-06	1.29924E-06	1.27791E-06	1.25548E-06	1.23387E-06	1.21199E-06
Pw	<i>Probability of wind blowing from box to object</i>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
D	<i>Collision diameter (nm)</i>	0.0361	0.0361	0.0361	0.0361	0.0361	0.0361
B	<i>Box perpendicular to drift direction (nm)</i>	0.0975	0.0975	0.0975	0.0975	0.0975	0.0975
<i>P drifting per box = N x PB x Pw x D/B</i>		0.0000064	0.0000063	0.0000062	0.0000060	0.0000059	0.0000058

Jumlah kapal yang berada di *Box* bergantung dari lamanya durasi DSV pada segmen tertentu, ketika kapal mengalami kerusakan mesin, kapal akan mulai *drifting* pada sudut tertentu dengan kecepatan *drifting* 3 knot (Pratiwi, 2015). *Probability of breakdown* pada masing-masing *box* bergantung pada jarak kapal dengan objek yang akan ditabrak atau yang disebut dengan *length of box* dan *drift speed* dikalikan dengan konstanta *probability of breakdown*. *Collision diameter* merupakan panjang dari kapal yang sedang diam (diibaratkan seperti sebuah platform), sedangkan *Box perpendicular to drift direction* merupakan ukuran dimensi kapal yang mengalami *drifting*.

Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi *Drifting Collision* 10°

Posisi		Frekuensi
Box 1	826th anode	0.0000064
Box 2	827th anode	0.0000063
Box 3	828th anode	0.0000062
Box 4	829th anode	0.0000060
Box 5	830th anode	0.0000059
Box 6	831st anode	0.0000058
Box 7	832nd anode	0.0000057
Box 8	833rd anode	0.0000056
Box 9	834th anode	0.0000055
Box 10	835th anode	0.0000054
Box 11	836th anode	0.0000053
Box 12	837th anode	0.0000052
Box 13	838th anode	0.0000051
Box 14	839th anode	0.0000051
Box 15	840th anode	0.0000051
Box 16	841st anode	0.0000051
Box 17	842nd anode	0.0000052
Box 18	843rd anode	0.0000053
Box 19	844th anode	0.0000055
Box 20	845th anode	0.0000056
Box 21	846th anode	0.0000058
Box 22	847th anode	0.0000059
Box 23	848th anode	0.0000061
Total		0.0001291

Berdasarkan pada perhitungan pada table diatas, frekuensi tubrukan kapal berupa *drifting collision* pada masing-masing *Box* memiliki nilai yang berbeda-beda. Frekuensi terbesar pada segmen KP 37 – KP 38 ini berada pada *Box* 1 sebesar 0.0000064. Dalam perhitungan dengan metode ini dapat diketahui semakin besar nilai *length of Box* maka akan semakin besar pula nilai frekuensinya. Jika, diakumulasikan, frekuensi tubrukan kapal dengan DSV karena *drifting* pada segmen ini yaitu sebesar 0.0001291.

Tabel 4.8. Contoh Perhitungan Nilai Frekuensi *Drifting Collision* 30°

<i>Drifting Collision</i>		Box 1	Box 2	Box 3	Box 4	Box 5	Box 6
		826th anode	827th anode	828th anode	829th anode	830th anode	831st anode
N	<i>Total traffic in the box</i>	26	26	26	26	26	26
L	<i>Length of box (nm)</i>	0.2254	0.2215	0.2175	0.2132	0.2092	0.2051
S	<i>Speed of drifting (knots)</i>	3	3	3	3	3	3
Pb	<i>Probability of breakdown per hour in a radius of 6nm</i>	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002
	<i>Probability of breakdown = L/S x Pb</i>	1.50239E-06	1.4765E-06	1.44971E-06	1.42118E-06	1.39485E-06	1.3672E-06
Pw	<i>Probability of wind blowing from box to object</i>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
D	<i>Collision diameter (nm)</i>	0.0361	0.0361	0.0361	0.0361	0.0361	0.0361
B	<i>Box perpendicular to drift direction (nm)</i>	0.0975	0.0975	0.0975	0.0975	0.0975	0.0975
<i>P drifting per box = N x PB x Pw x D/B</i>		0.0000072	0.0000071	0.0000070	0.0000068	0.0000067	0.0000066

Jumlah kapal yang berada di *Box* bergantung dari lamanya durasi DSV pada segmen tertentu, ketika kapal mengalami kerusakan mesin, kapal akan mulai *drifting* pada sudut tertentu dengan kecepatan *drifting* 3 knot (Pratiwi, 2015). *Probability of breakdown* pada masing-masing *box* bergantung pada jarak kapal dengan objek yang akan ditabrak atau yang disebut dengan *length of box* dan *drift speed* dikalikan dengan konstanta *probability of breakdown*. *Collision diameter* merupakan panjang dari kapal yang sedang diam (diibaratkan seperti sebuah platform), sedangkan *Box perpendicular to drift direction* merupakan ukuran dimensi kapal yang mengalami *drifting*.

Tabel 4.9. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi *Drifting Collision* 30°

	Posisi	Frekuensi
Box 1	826th anode	0.0000072
Box 2	827th anode	0.0000071
Box 3	828th anode	0.0000070
Box 4	829th anode	0.0000068
Box 5	830th anode	0.0000067
Box 6	831st anode	0.0000066
Box 7	832nd anode	0.0000065
Box 8	833rd anode	0.0000063
Box 9	834th anode	0.0000062
Box 10	835th anode	0.0000061
Box 11	836th anode	0.0000059
Box 12	837th anode	0.0000058
Box 13	838th anode	0.0000058
Box 14	839th anode	0.0000058
Box 15	840th anode	0.0000058
Box 16	841st anode	0.0000058
Box 17	842nd anode	0.0000059
Box 18	843rd anode	0.0000061
Box 19	844th anode	0.0000062
Box 20	845th anode	0.0000064
Box 21	846th anode	0.0000066
Box 22	847th anode	0.0000068
Box 23	848th anode	0.0000070
	Total	0.0001462

Berdasarkan pada perhitungan pada table diatas, frekuensi tubrukan kapal berupa *drifting collision* pada masing-masing *Box* memiliki nilai yang berbeda-beda. Frekuensi terbesar pada segmen KP 37 – KP 38 ini berada pada *Box* 1 sebesar 0.0000072. Dalam perhitungan dengan metode ini dapat diketahui semakin besar nilai *length of Box* maka akan semakin besar pula nilai frekuensinya. Jika, diakumulasikan, frekuensi tubrukan kapal dengan DSV karena *drifting* pada segmen ini yaitu sebesar 0.00014621.

Tabel 4.10. Contoh Perhitungan Nilai Frekuensi *Drifting Collision* 45°

<i>Drifting Collision</i>		Box 1	Box 2	Box 3	Box 4	Box 5	Box 6
		826th anode	827th anode	828th anode	829th anode	830th anode	831st anode
N	<i>Total traffic in the box</i>	26	26	26	26	26	26
L	<i>Length of box (nm)</i>	0.2753	0.2706	0.2653	0.2598	0.2548	0.2494
S	<i>Speed of drifting (knots)</i>	3	3	3	3	3	3
Pb	<i>Probability of breakdown per hour in a radius of 6nm</i>	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002
	<i>Probability of breakdown = L/S x Pb</i>	1.83566E-06	1.8038E-06	1.76885E-06	1.73193E-06	1.69851E-06	1.66258E-06
Pw	<i>Probability of wind blowing from box to object</i>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
D	<i>Collision diameter (nm)</i>	0.0361	0.0361	0.0361	0.0361	0.0361	0.0361
B	<i>Box perpendicular to drift direction (nm)</i>	0.0975	0.0975	0.0975	0.0975	0.0975	0.0975
<i>P drifting per box = N x PB x Pw x D/B</i>		0.0000088	0.0000087	0.0000085	0.0000083	0.0000082	0.0000080

Jumlah kapal yang berada di *Box* bergantung dari lamanya durasi DSV pada segmen tertentu, ketika kapal mengalami kerusakan mesin, kapal akan mulai *drifting* pada sudut tertentu dengan kecepatan *drifting* 3 knot (Pratiwi, 2015). *Probability of breakdown* pada masing-masing *box* bergantung pada jarak kapal dengan objek yang akan ditabrak atau yang disebut dengan *length of box* dan *drift speed* dikalikan dengan konstanta *probability of breakdown*. *Collision diameter* merupakan panjang dari kapal yang sedang diam (diibaratkan seperti sebuah platform), sedangkan *Box perpendicular to drift direction* merupakan ukuran dimensi kapal yang mengalami *drifting*.

Tabel 4.11. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi *Drifting Collision* 45°

	Posisi	Frekuensi
Box 1	826th anode	0.0000088
Box 2	827th anode	0.0000087
Box 3	828th anode	0.0000085
Box 4	829th anode	0.0000083
Box 5	830th anode	0.0000082
Box 6	831st anode	0.0000080
Box 7	832nd anode	0.0000078
Box 8	833rd anode	0.0000077
Box 9	834th anode	0.0000075
Box 10	835th anode	0.0000073
Box 11	836th anode	0.0000072
Box 12	837th anode	0.0000070
Box 13	838th anode	0.0000070
Box 14	839th anode	0.0000070
Box 15	840th anode	0.0000071
Box 16	841st anode	0.0000072
Box 17	842nd anode	0.0000073
Box 18	843rd anode	0.0000074
Box 19	844th anode	0.0000076
Box 20	845th anode	0.0000079
Box 21	846th anode	0.0000081
Box 22	847th anode	0.0000083
Box 23	848th anode	0.0000086
	Total	0.0001786

Berdasarkan pada perhitungan pada table diatas, frekuensi tubrukan kapal berupa *drifting collision* pada masing-masing *Box* memiliki nilai yang berbeda-beda. Frekuensi terbesar pada segmen KP 37 – KP 38 ini berada pada *Box* 1 sebesar 0.0000088. Dalam perhitungan dengan metode ini dapat diketahui semakin besar nilai *length of Box* maka akan semakin besar pula nilai frekuensinya. Jika, diakumulasikan, frekuensi tubrukan kapal dengan DSV karena *drifting* pada segmen ini yaitu sebesar 0.0001786.

Tabel 4.12. Contoh Perhitungan Nilai Frekuensi *Drifting Collision* 60°

<i>Drifting Collision</i>		Box 1	Box 2	Box 3	Box 4	Box 5	Box 6
		826th anode	827th anode	828th anode	829th anode	830th anode	831st anode
N	<i>Total traffic in the box</i>	26	26	26	26	26	26
L	<i>Length of box (nm)</i>	0.3875	0.3808	0.3737	0.3663	0.3595	0.3522
S	<i>Speed of drifting (knots)</i>	3	3	3	3	3	3
Pb	<i>Probability of breakdown per hour in a radius of 6nm</i>	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002
	<i>Probability of breakdown = L/S x Pb</i>	2.58321E-06	2.53872E-06	2.49135E-06	2.44226E-06	2.39636E-06	2.34814E-06
Pw	<i>Probability of wind blowing from box to object</i>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
D	<i>Collision diameter (nm)</i>	0.0361	0.0361	0.0361	0.0361	0.0361	0.0361
B	<i>Box perpendicular to drift direction (nm)</i>	0.0975	0.0975	0.0975	0.0975	0.0975	0.0975
<i>P drifting per box = N x PB x Pw x D/B</i>		0.0000124	0.0000122	0.0000120	0.0000118	0.0000115	0.0000113

Jumlah kapal yang berada di *Box* bergantung dari lamanya durasi DSV pada segmen tertentu, ketika kapal mengalami kerusakan mesin, kapal akan mulai *drifting* pada sudut tertentu dengan kecepatan *drifting* 3 knot (Pratiwi, 2015). *Probability of breakdown* pada masing-masing *box* bergantung pada jarak kapal dengan objek yang akan ditabrak atau yang disebut dengan *length of box* dan *drift speed* dikalikan dengan konstanta *probability of breakdown*. *Collision diameter* merupakan panjang dari kapal yang sedang diam (diibaratkan seperti sebuah platform), sedangkan *Box perpendicular to drift direction* merupakan ukuran dimensi kapal yang mengalami *drifting*.

Tabel 4.13. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi *Drifting Collision* 60°

	Posisi	Frekuensi
Box 1	826th anode	0.0000124
Box 2	827th anode	0.0000122
Box 3	828th anode	0.0000120
Box 4	829th anode	0.0000118
Box 5	830th anode	0.0000115
Box 6	831st anode	0.0000113
Box 7	832nd anode	0.0000111
Box 8	833rd anode	0.0000109
Box 9	834th anode	0.0000106
Box 10	835th anode	0.0000104
Box 11	836th anode	0.0000102
Box 12	837th anode	0.0000099
Box 13	838th anode	0.0000100
Box 14	839th anode	0.0000100
Box 15	840th anode	0.0000101
Box 16	841st anode	0.0000102
Box 17	842nd anode	0.0000104
Box 18	843rd anode	0.0000107
Box 19	844th anode	0.0000110
Box 20	845th anode	0.0000113
Box 21	846th anode	0.0000117
Box 22	847th anode	0.0000120
Box 23	848th anode	0.0000124
	Total	0.0002540

Berdasarkan pada perhitungan pada Tabel 4.13, frekuensi tubrukan kapal berupa *drifting collision* pada masing-masing *Box* memiliki nilai yang berbeda-beda. Frekuensi terbesar pada segmen KP 37 – KP 38 ini berada pada *Box* 1 & 23 sebesar 0.0000124. Dalam perhitungan dengan metode ini dapat diketahui semakin besar nilai *length of Box* maka akan semakin besar pula nilai frekuensinya. Jika, diakumulasikan, frekuensi tubrukan kapal dengan DSV karena *drifting* pada segmen ini yaitu sebesar 0.000254.

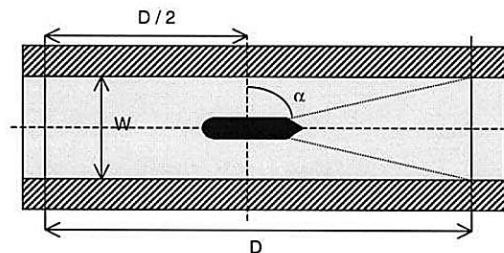
Tabel 4.14. Total Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi *Drifting Collision* metode *CRASH KP 37 – KP 38*

KP 37 - KP 38	Frekuensi Drifting			
	10°	30°	45°	60°
Total	0.0001	0.00015	0.00018	0.00025

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, frekuensi tubrukan kapal berupa *drifting collision* pada masing-masing variasi sudut nilainya berbeda-beda. Frekuensi terbesar berada pada *drifting collision* dengan variasi sudut 60° yaitu sebesar 0.00025. Hal ini dapat disimpulkan dalam metode perhitungan frekuensi *drifting collision* dengan metode CRASH bahwa semakin besar sudut hanyut kapal maka nilai frekuensi tubrukannya juga akan semakin besar.

4.3.2. Perhitungan Frekuensi *Drifting Collision* dengan *Traffic Based Model*

Analisa frekuensi terjadinya stranding/driftng dimungkinkan terjadi dimana kapal kehilangan *control* sehingga hanyut dan menabrak kapal lain. Dalam metode ini faktor kehilangan *control* navigasi menjadi penyebab utama kapal mengalami *drifting* sehingga mampu menabrak kapal lain, berbeda dengan metode CRASH yang penyebab utamanya dikarenakan kegagalan mesin yang tidak bisa diperbaiki dalam jangka waktu tertentu sehingga kapal mengalami *drifting* seperti pada pemodelan Gambar 4.7. berikut.



Gambar 4.7. Pemodelan *Drifting Collision Traffic Based Model*

Langkah awal perhitungan frekuensi *drifting collision* dengan metode *traffic based model* diawali dengan mencari *conditional stranding probability* (P_i) terlebih dahulu, kemudian diakhiri dengan perhitungan *drifting collision* akibat dari kejadian tubrukan kapal yang telah terjadi di sekitar area tempat kejadian (P_a). Perhitungan *conditional stranding probability* dapat digunakan rumus:

$$P_i \approx 1 - \frac{2}{\pi} \cdot \frac{W}{D}$$

W merupakan lebar alur, dan D merupakan panjang area sebelum kapal hanyut hingga hanyut dan menabrak kapal DSV. Nilai D sama dengan panjang 2 kali jarak Kapal penabrak dengan kapal DSV.

Berdasarkan *Japanese Traffic Studies*, *accident probability* dapat diestimasi dengan banyaknya kejadian kecelakaan tiap jumlah kapal yang beroperasi dalam

jangka waktu tertentu (Kristiansen, 2005). Menurut data laporan dari VTS Surabaya mengenai kecelakaan laut dari tahun 2015 – 2018 terdapat sejumlah 41 kejadian kecelakaan kapal di APBS yang tertera dalam Tabel 4.15. berikut:

Tabel 4. 15. Tabel Data Kecelakaan Kapal di APBS Tahun 2015 – 2018

Tahun	Jenis Kecelakaan Kapal				
	Tubrukan	Tenggelam	Kandas	Terbakar	<i>Trouble Engine</i>
2015	1	1	-	-	-
2016	3	2	1	1	2
2017	1	-	5	2	2
2018	2	1	10	-	7
Total	7	4	16	3	11

Sumber: VTS Surabaya

Dari data diatas dapat dilihat jumlah total kejadian tubrukan kapal dari tahun 2015 – 2018 adalah sebanyak 7 kejadian. Dengan jumlah pelayaran (N_m) dari tahun 2015 – 2018 sebanyak 93285 kapal, maka *accident probability* (P_a) dapat kita hitung:

$$\begin{aligned} P_a &= N_a/N_m \\ &= 7/93285 \\ &= 0.000075 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan variasi yang sama yaitu sudut *drifting* kapal 10° , 30° , 45° , dan 60° , maka perhitungan frekuensi total *drifting collision* melalui rumus $P_c = P_a/P_i$ dijelaskan pada Tabel 4.16. – Tabel 4.19. berikut:

Tabel 4. 16. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi *Drifting Collision Traffic Based Model* 10°

KP 37 – 38 Point	N_a	N_m	W (m)	D (m)	Π	P_i	P_a	P_c
	826	7	93285	200	834.722	3.14	0.8474	7.5E-05
827	7	93285	200	820.337	3.14	0.8447	7.5E-05	0.00009
828	7	93285	200	805.457	3.14	0.8418	7.5E-05	0.00009
829	7	93285	200	789.604	3.14	0.8387	7.5E-05	0.00009
830	7	93285	200	774.975	3.14	0.8356	7.5E-05	0.00009
831	7	93285	200	759.610	3.14	0.8323	7.5E-05	0.00009
832	7	93285	200	744.370	3.14	0.8289	7.5E-05	0.00009
833	7	93285	200	729.373	3.14	0.8253	7.5E-05	0.00009
834	7	93285	200	714.070	3.14	0.8216	7.5E-05	0.00009

Lanjutan tabel ada di halaman selanjutnya

KP 37 – 38 Point	N _a	N _m	W (m)	D (m)	II	P _i	P _a	P _c
835	7	93285	200	698.951	3.14	0.8177	7.5E-05	0.00009
836	7	93285	200	683.802	3.14	0.8137	7.5E-05	0.00009
837	7	93285	200	668.591	3.14	0.8095	7.5E-05	0.00009
838	7	93285	200	664.679	3.14	0.8083	7.5E-05	0.00009
839	7	93285	200	663.573	3.14	0.8080	7.5E-05	0.00009
840	7	93285	200	666.155	3.14	0.8088	7.5E-05	0.00009
841	7	93285	200	673.163	3.14	0.8108	7.5E-05	0.00009
842	7	93285	200	684.598	3.14	0.8139	7.5E-05	0.00009
843	7	93285	200	698.983	3.14	0.8178	7.5E-05	0.00009
844	7	93285	200	716.319	3.14	0.8222	7.5E-05	0.00009
845	7	93285	200	735.869	3.14	0.8269	7.5E-05	0.00009
846	7	93285	200	757.262	3.14	0.8318	7.5E-05	0.00009
847	7	93285	200	779.394	3.14	0.8366	7.5E-05	0.00009
848	7	93285	200	803.000	3.14	0.8414	7.5E-05	0.00009
Total								0.00209

Pada hasil frekuensi *drifting collision* dengan metode *traffic based model* dengan sudut 10° , dapat diketahui hampir semua titik pada KP 37 – KP 38 memiliki nilai yang sama yaitu 0.00009. Hal tersebut dikarenakan pada metode ini tubrukan dimodelkan dalam bentuk yang sama tiap titik, yang membedakan hanya jarak antara kapal yang sedang berlayar dengan kapal DSV yang sedang melakukan penggantian anoda. Total dari nilai frekuensi *drifting* pada sudut ini yaitu sebesar 0.00209.

Tabel 4. 17. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi *Drifting Collision Traffic Based Model 30°*

KP 37 – 38 Point	N _a	N _m	W (m)	D (m)	II	P _i	P _a	P _c
826	7	93285	200	1019.888	3.14	0.8751	7.5E-05	0.00009
827	7	93285	200	1002.183	3.14	0.8729	7.5E-05	0.00009
828	7	93285	200	982.769	3.14	0.8704	7.5E-05	0.00009
829	7	93285	200	962.254	3.14	0.8676	7.5E-05	0.00009
830	7	93285	200	943.688	3.14	0.8650	7.5E-05	0.00009
831	7	93285	200	923.723	3.14	0.8621	7.5E-05	0.00009
832	7	93285	200	904.180	3.14	0.8591	7.5E-05	0.00009
833	7	93285	200	884.913	3.14	0.8560	7.5E-05	0.00009

Lanjutan tabel dari halaman sebelumnya

KP 37 – 38 Point	N _a	N _m	W (m)	D (m)	Π	P _i	P _a	P _c
834	7	93285	200	865.159	3.14	0.8528	7.5E-05	0.00009
835	7	93285	200	845.754	3.14	0.8494	7.5E-05	0.00009
836	7	93285	200	826.243	3.14	0.8458	7.5E-05	0.00009
837	7	93285	200	806.664	3.14	0.8421	7.5E-05	0.00009
838	7	93285	200	812.960	3.14	0.8433	7.5E-05	0.00009
839	7	93285	200	811.853	3.14	0.8431	7.5E-05	0.00009
840	7	93285	200	815.910	3.14	0.8439	7.5E-05	0.00009
841	7	93285	200	825.132	3.14	0.8456	7.5E-05	0.00009
842	7	93285	200	839.517	3.14	0.8483	7.5E-05	0.00009
843	7	93285	200	858.329	3.14	0.8516	7.5E-05	0.00009
844	7	93285	200	880.829	3.14	0.8554	7.5E-05	0.00009
845	7	93285	200	906.280	3.14	0.8594	7.5E-05	0.00009
846	7	93285	200	933.576	3.14	0.8635	7.5E-05	0.00009
847	7	93285	200	962.346	3.14	0.8676	7.5E-05	0.00009
848	7	93285	200	992.593	3.14	0.8717	7.5E-05	0.00009
Total								0.00201

Pada hasil frekuensi *drifting collision* dengan metode *traffic based model* dengan sudut 30°, dapat diketahui hampir semua titik pada KP 37 – KP 38 memiliki nilai yang sama yaitu 0.00009. Hal tersebut dikarenakan pada metode ini tubrukan dimodelkan dalam bentuk yang sama tiap titik, yang membedakan hanya jarak antara kapal yang sedang berlayar dengan kapal DSV yang sedang melakukan penggantian anoda. Total dari nilai frekuensi *drifting* pada sudut ini yaitu sebesar 0.00201.

Tabel 4. 18. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi *Drifting Collision Traffic Based Model 45°*

KP 37 – 38 Point	N _a	N _m	W (m)	D (m)	Π	P _i	P _a	P _c
826	7	93285	200	1435.220	3.14	0.9112	7.5E-05	0.00008
827	7	93285	200	1410.507	3.14	0.9097	7.5E-05	0.00008
828	7	93285	200	1384.184	3.14	0.9080	7.5E-05	0.00008
829	7	93285	200	1356.912	3.14	0.9061	7.5E-05	0.00008
830	7	93285	200	1331.410	3.14	0.9043	7.5E-05	0.00008
831	7	93285	200	1304.618	3.14	0.9024	7.5E-05	0.00008
832	7	93285	200	1278.235	3.14	0.9003	7.5E-05	0.00008

Lanjutan tabel ada di halaman selanjutnya

KP 37 - 38 Point	N _a	N _m	W (m)	D (m)	II	P _i	P _a	P _c
833	7	93285	200	1252.091	3.14	0.8983	7.5E-05	0.00008
834	7	93285	200	1225.504	3.14	0.8961	7.5E-05	0.00008
835	7	93285	200	1199.241	3.14	0.8938	7.5E-05	0.00008
836	7	93285	200	1172.876	3.14	0.8914	7.5E-05	0.00008
837	7	93285	200	1146.451	3.14	0.8889	7.5E-05	0.00008
838	7	93285	200	1152.307	3.14	0.8894	7.5E-05	0.00008
839	7	93285	200	1152.676	3.14	0.8895	7.5E-05	0.00008
840	7	93285	200	1160.791	3.14	0.8903	7.5E-05	0.00008
841	7	93285	200	1176.652	3.14	0.8917	7.5E-05	0.00008
842	7	93285	200	1200.259	3.14	0.8939	7.5E-05	0.00008
843	7	93285	200	1230.136	3.14	0.8964	7.5E-05	0.00008
844	7	93285	200	1265.178	3.14	0.8993	7.5E-05	0.00008
845	7	93285	200	1303.907	3.14	0.9023	7.5E-05	0.00008
846	7	93285	200	1345.219	3.14	0.9053	7.5E-05	0.00008
847	7	93285	200	1388.744	3.14	0.9083	7.5E-05	0.00008
848	7	93285	200	1433.376	3.14	0.9111	7.5E-05	0.00008
Total								0.00192

Pada hasil frekuensi *drifting collision* dengan metode *traffic based model* dengan sudut 45°, dapat diketahui hampir semua titik pada KP 37 – KP 38 memiliki nilai yang sama yaitu 0.00008. Hal tersebut dikarenakan pada metode ini tubrukan dimodelkan dalam bentuk yang sama tiap titik, yang membedakan hanya jarak antara kapal yang sedang berlayar dengan kapal DSV yang sedang melakukan penggantian anoda. Total dari nilai frekuensi *drifting* pada sudut ini yaitu sebesar 0.00192.

Tabel 4. 19. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi *Drifting Collision Traffic Based Model 60°*

KP 37 - 38 Point	N _a	N _m	W (m)	D (m)	II	P _i	P _a	P _c
826	7	93285	200	1375.176	3.14	0.9074	7.5E-05	0.00008
827	7	93285	200	1369.675	3.14	0.9070	7.5E-05	0.00008
828	7	93285	200	1364.174	3.14	0.9066	7.5E-05	0.00008
829	7	93285	200	1358.673	3.14	0.9062	7.5E-05	0.00008
830	7	93285	200	1353.172	3.14	0.9059	7.5E-05	0.00008
831	7	93285	200	1347.671	3.14	0.9055	7.5E-05	0.00008

Lanjutan tabel dari halaman sebelumnya

KP 37 – 38 Point	N _a	N _m	W (m)	D (m)	Π	P _i	P _a	P _c
832	7	93285	200	1342.171	3.14	0.9051	7.5E-05	0.00008
833	7	93285	200	1336.670	3.14	0.9047	7.5E-05	0.00008
834	7	93285	200	1331.169	3.14	0.9043	7.5E-05	0.00008
835	7	93285	200	1325.668	3.14	0.9039	7.5E-05	0.00008
836	7	93285	200	1320.167	3.14	0.9035	7.5E-05	0.00008
837	7	93285	200	1314.666	3.14	0.9031	7.5E-05	0.00008
838	7	93285	200	1359.974	3.14	0.9063	7.5E-05	0.00008
839	7	93285	200	1355.179	3.14	0.9060	7.5E-05	0.00008
840	7	93285	200	1351.121	3.14	0.9057	7.5E-05	0.00008
841	7	93285	200	1347.801	3.14	0.9055	7.5E-05	0.00008
842	7	93285	200	1343.984	3.14	0.9052	7.5E-05	0.00008
843	7	93285	200	1340.495	3.14	0.9050	7.5E-05	0.00008
844	7	93285	200	1336.786	3.14	0.9047	7.5E-05	0.00008
845	7	93285	200	1344.851	3.14	0.9053	7.5E-05	0.00008
846	7	93285	200	1341.900	3.14	0.9051	7.5E-05	0.00008
847	7	93285	200	1338.580	3.14	0.9048	7.5E-05	0.00008
848	7	93285	200	1334.154	3.14	0.9045	7.5E-05	0.00008
Total								0.00191

Pada hasil frekuensi *drifting collision* dengan metode *traffic based model* dengan sudut 60°, dapat diketahui hampir semua titik pada KP 37 – KP 38 memiliki nilai yang sama yaitu 0.00008. Hal tersebut dikarenakan pada metode ini tubrukan dimodelkan dalam bentuk yang sama tiap titik, yang membedakan hanya jarak antara kapal yang sedang berlayar dengan kapal DSV yang sedang melakukan penggantian anoda. Total dari nilai frekuensi *drifting* pada sudut ini yaitu sebesar 0.00191.

4.3.3. Total Nilai Frekuensi Seluruh Segmen

Tabel 4.20. berikut ini adalah total nilai frekuensi seluruh segmen secara keseluruhan yang membutuhkan waktu pengerjaan hingga 1,5 tahun:

Tabel 4. 20. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi *Drifting Collision* Seluruh Segmen

	Frekuensi <i>Drifting Collision</i>			
	10°	30°	45°	60°
CRASH	0.1009	0.1150	0.1413	0.2013
TBM	0.1150	0.1143	0.1133	0.1120

Berdasarkan hasil perbandingan perhitungan frekuensi, kedua model menunjukkan hasil yang sama bahwa selama proses penggantian anoda pipa, frekuensi tubrukan berupa *drifting collision* berada di level aman yaitu kurang dari 1. Namun dapat dilihat pada tabel diatas bahwa frekuensi *drifting collision* dengan *Traffic Based Model* memiliki hasil yang sedikit lebih besar. Pada dasarnya kedua model ini sulit untuk dibandingkan karena masing – masing model memiliki asumsi dan penyebab yang berbeda. Pada *CRASH Model* kapal mengalami *drifting* dikarenakan kegagalan mesin yang tak mampu diatasi dalam waktu tertentu, sedangkan pada *Traffic Based Model*, *drifting* disebabkan karena “*loss of navigational control*”. *CRASH Model* juga memperhitungkan *breakdown per hour* dan *wind blowing* yang menyebabkan kapal menyimpang dari alur.

4.4. Analisis Konsekuensi Dengan Menggunakan Simulasi ANSYS

Pada analisa tubrukan dalam tugas akhir ini, untuk kapal penubruk digunakan kapal tanker dengan dimensi yang paling besar. Berdasarkan data dari “Kesyahbandar Utama Tanjung Perak Surabaya” tahun 2018, kapal tanker dengan dimensi paling besar yang lewat pada Alur Pelayaran Barat Surabaya yaitu “MT. Sanga Sanga” milik pertamina yang masuk pada tanggal 10 April 2018. Adapun dimensi yang dimiliki kapal tersebut sebagai berikut:

<i>Length</i>	=	180	m
<i>Breadth</i>	=	32	m
<i>Draft</i>	=	8,2	m
<i>Speed</i>	=	9,5	knot



Gambar 4. 8. Kapal Tanker MT. Sanga Sanga
Sumber: marinetraffic.com

Analisis yang dilakukan yaitu untuk mengetahui struktur kerusakan pada badan kapal dengan menggunakan simulasi pada software ANSYS *Workbench Explicit Dyanamic*. Pada simulasi ini akan menganalisa *Equivalent Stress*, *Directional*

Deformation, dan *Total Deformation*. Adapun model kapal yang digunakan untuk simulasi yaitu

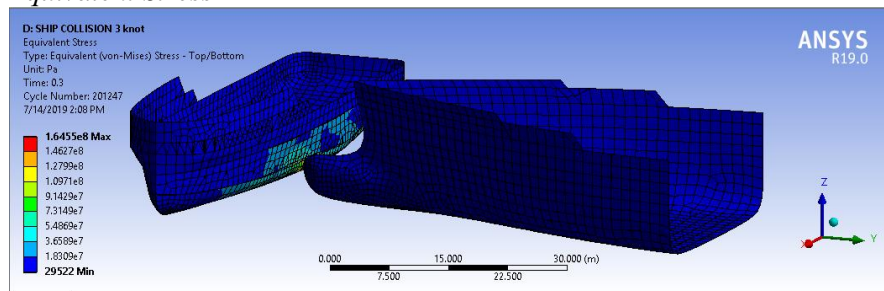
- DSV MV. Catherine Queen
Bagian kapal yang dimodelkan haluan – *midship*, dengan dimensi:
Length = 32,5 m
Breadth = 15,8 m
Draught = 4,8 m
- Kapal Tanker MT. Sanga Sanga
Bagian kapal yang dimodelkan haluan – *midship*, dengan dimensi:
Length = 45 m
Breadth = 3,2 m
Draught = 8,2 m

Model kapal tersebut disimulasikan dengan beberapa variasi yaitu diantaranya: 3 knot, 5 knot, 9,5 knot, dan 10,2 knot. Adapun untuk hasil simulasinya sebagai berikut:

4.4.1. Kecepatan 3 knot

Penentuan kecepatan 3 knot yaitu berdasarkan kecepatan ketika kapal tanker mengalami kegagalan mesin dan terjadi *drifting*.

- *Equivalent Stress*



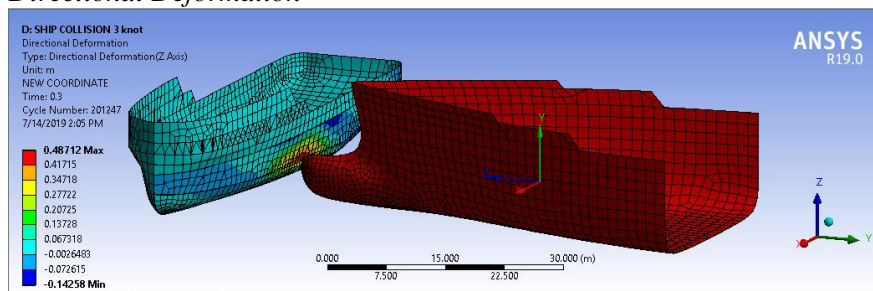
Gambar 4. 9. *Equivalent Stress* variasi 3 knot

Perubahan tegangan yang terjadi pada badan kapal yaitu:

Minimum = 0,295 Pa

Maksimum = $1,645 \times 10^8$ Pa

- *Directional Deformation*

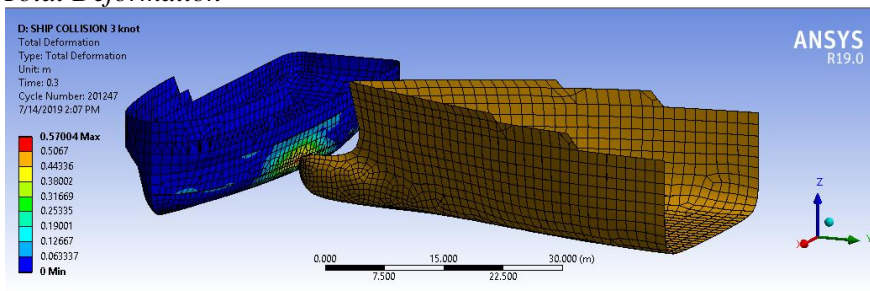


Gambar 4. 10. *Directional Deformation* variasi 3 knot

Perubahan deformasi langsung yang terjadi pada badan kapal yaitu:

Minimum = -0,14258 m
 Maksimum = 0,48712 m

- *Total Deformation*



Gambar 4. 11. *Total Deformation* variasi 3 knot

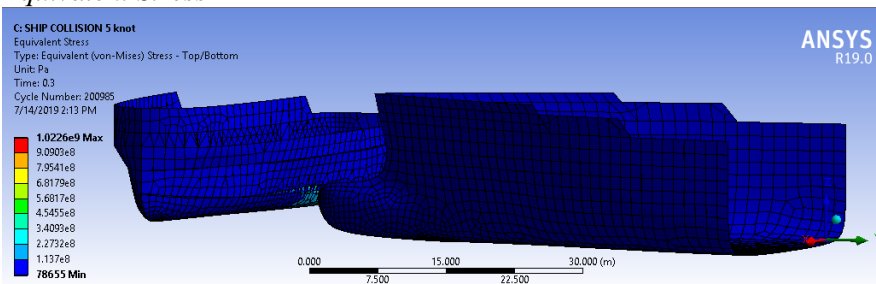
Perubahan total deformasi yang terjadi pada badan kapal yaitu:

Minimum = 0 m
 Maksimum = 0,57 m

4.4.2. Kecepatan 5 knot

Penentuan kecepatan 5 knot yaitu berdasarkan kecepatan normal kapal ketika hendak memasuki area pelayaran atau pelabuhan.

- *Equivalent Stress*

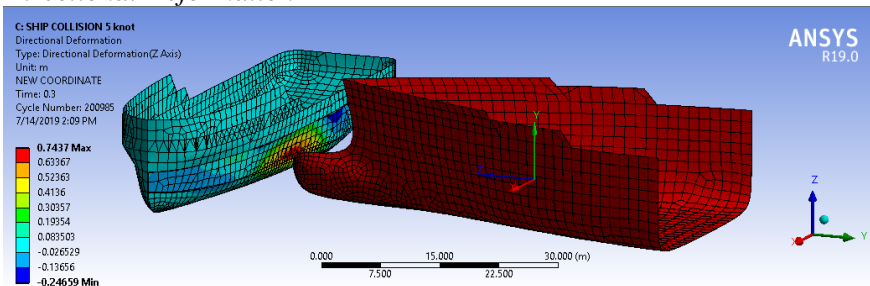


Gambar 4. 12. *Equivalent Stress* variasi 5 knot

Perubahan tegangan yang terjadi pada badan kapal yaitu:

Minimum = 0,786 Pa
 Maksimum = $1,0226 \times 10^{-9}$ Pa

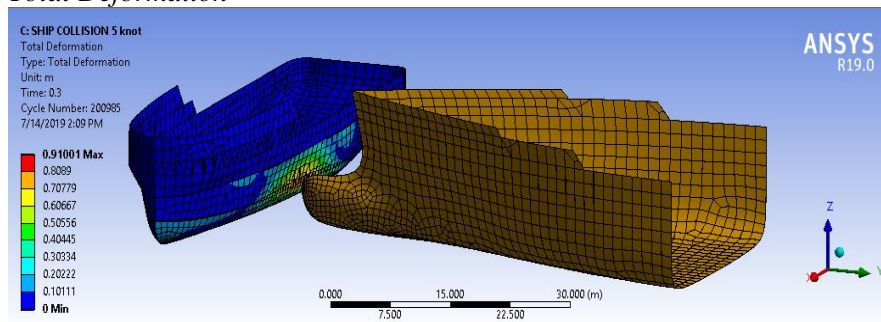
- *Directional Deformation*



Gambar 4. 13. *Directional Deformation* variasi 5 knot

Perubahan deformasi langsung yang terjadi pada badan kapal yaitu:
 Minimum = -0,246 m
 Maksimum = 0,7437 m

- *Total Deformation*



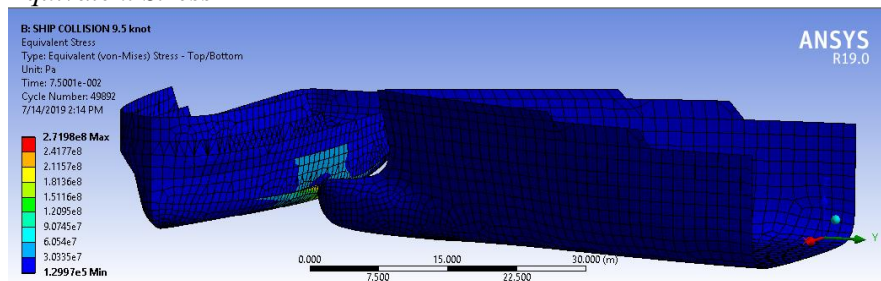
Gambar 4. 14. *Total Deformation* variasi 5 knot

Perubahan total deformasi yang terjadi pada badan kapal yaitu:
 Minimum = 0 m
 Maksimum = 0,91 m

4.4.3. Kecepatan 9,5 knot

Penentuan kecepatan 9,5 knot yaitu berdasarkan kecepatan rata-rata kapal tanker ketika sedang berlayar.

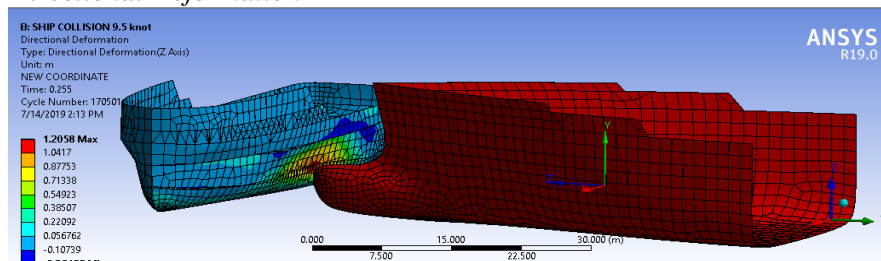
- *Equivalent Stress*



Gambar 4. 15. *Equivalent Stress* variasi 9,5 knot

Perubahan tegangan yang terjadi pada badan kapal yaitu:
 Minimum = $1,2997 \times 10^{-5}$ Pa
 Maksimum = $2,7198 \times 10^{-8}$ Pa

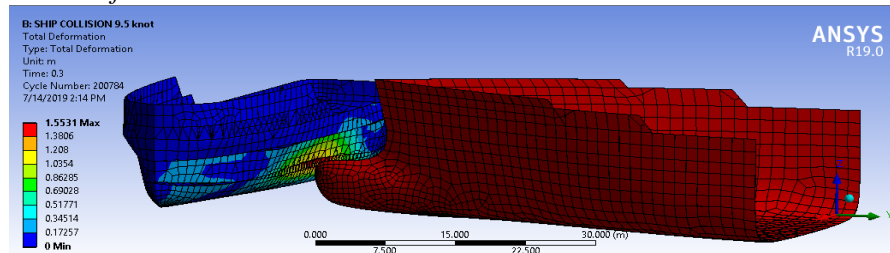
- *Directional Deformation*



Gambar 4. 16. *Directional Deformation* variasi 9,5 knot

Perubahan deformasi langsung yang terjadi pada badan kapal yaitu:
 Minimum = -0,27155 m
 Maksimum = 1,2058 m

- *Total Deformation*



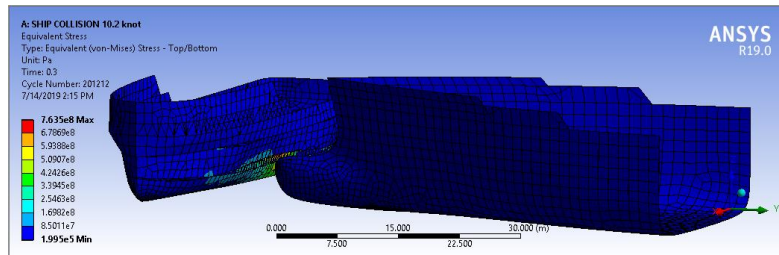
Gambar 4. 17. *Total Deformation* variasi 9,5 knot

Perubahan total deformasi yang terjadi pada badan kapal yaitu:
 Minimum = 0 m
 Maksimum = 1,5531 m

4.4.4. Kecepatan 10,2 knot

Penentuan kecepatan 10,2 knot yaitu berdasarkan kecepatan maksimal kapal tanker ketika sedang berlayar.

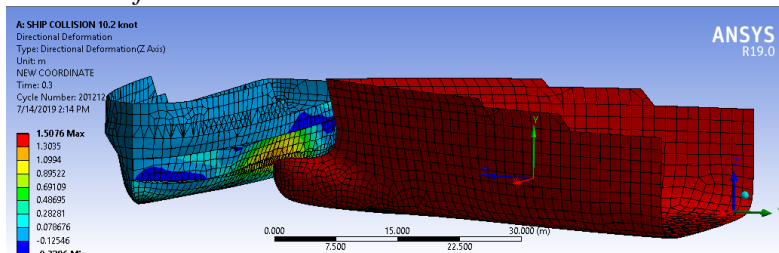
- *Equivalent Stress*



Gambar 4. 18. *Equivalent Stress* variasi 10,2 knot

Perubahan tegangan yang terjadi pada badan kapal yaitu:
 Minimum = $1,995 \times 10^{-5}$ Pa
 Maksimum = $7,635 \times 10^{-8}$ Pa

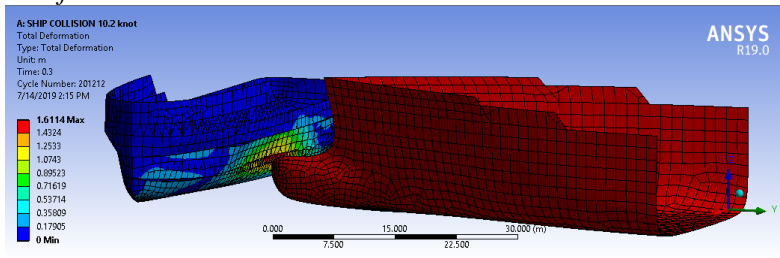
- *Directional Deformation*



Gambar 4. 19. *Directional Deformation* variasi 10,2 knot

Perubahan deformasi langsung yang terjadi pada badan kapal yaitu:
 Minimum = -0,3296 m
 Maksimum = 1,5076 m

- *Total Deformation*



Gambar 4. 20. *Total Deformation* variasi 10,2 knot

Perubahan total deformasi yang terjadi pada badan kapal yaitu:
 Minimum = 0 m
 Maksimum = 1,6114 m

Pada hasil simulasi model 3D dengan menggunakan ansys diatas terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu diantaranya.

- Warna-warna yang timbul pada badan kapal dikarenakan adanya perubahan dari titik posisi semula. Pada model kapal tanker semua badan kapal berwarna sama, hal tersebut dikarenakan kapal tanker memiliki kecepatan dan semua badan kapal bergerak dari posisi semula. Sedangkan pada kapal DSV, memiliki warna yang berbeda-beda, terutama pada bagian yang bersentuhan langsung dengan kapal tanker, hal tersebut menimbulkan warna yang lebih mencolok, sehingga dapat diartikan pada bagian tersebut memiliki dampak yang lebih besar.
- Pada nilai tertentu seperti hasil dari *directional deformation* memiliki nilai negatif (-), hal tersebut berarti pada bagian yang terkena dampak mengalami deformasi berlawanan arah dari sumbu axis positif.

4.4.5. Perhitungan Konsekuensi Biaya Pengeluaran

Tubrukan yang terjadi pada kapal pasti akan menimbulkan dampak pada kapal tersebut, salah satunya perubahan pada lambung kapal. Tabel 4.21. berikut ini adalah luasan perubahan yang terjadi pada badan kapal:

Tabel 4. 21. Total luasan yang harus diperbaiki pada badan kapal

SPEED	TOTAL of CELLS	Area / Cells	Total Area
knot		Average m²	m²
3	133	0.9	119.7
5	151	0.9	135.9
9.5	254	0.9	228.6
10.2	319	0.9	287.1

Apabila lambung kapal telah mengalami kerusakan maka perlu untuk diganti dengan plat yang baru. Berikut ini detail perhitungan untuk reparasi badan kapal menggunakan tariff harga dari PT. PAL:

4.4.5.1. Perhitungan Harga Perbaikan Kapal Variasi Kecepatan 3 Knot

Tabel 4. 22. Harga Perbaikan Kapal Variasi Kecepatan 3 Knot

No.	Pengeluaran	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
1	Plate 8mm x 6' x 20'	500	plate	Rp 10,000	Rp 5,000,000
2	Pengerjaan Penggantian Plate	3140	Kg	Rp 30,000	Rp 94,200,000
3	Chartering Ship	60	Day	Rp 500,000,000	Rp 30,000,000,000
4	Fuel Loss	200	KL	Rp 15,000	Rp 3,000,000
					Rp 30,102,200,000

$$\begin{aligned} \text{Total Pengeluaran} &= \text{Rp } 30,102,200,000 \\ &= \$ 2,150,157.14 \end{aligned}$$

Nilai diatas bisa berubah sewaktu-waktu berdasarkan kondisi *real* di Lapangan yang kemungkinan memiliki nilai yang lebih besar dari perhitungan diatas akibat faktor lain.

4.4.5.2. Perhitungan Harga Perbaikan Kapal Variasi Kecepatan 5 Knot

Tabel 4. 23. Harga Perbaikan Kapal Variasi Kecepatan 5 Knot

No.	Pengeluaran	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
1	Plate 8mm x 6' x 20'	700	plate	Rp 10,000	Rp 7,000,000
2	Pengerjaan Penggantian Plate	4396	kg	Rp 30,000	Rp 131,880,000
3	Chartering Ship	60	day	Rp 500,000,000	Rp 30,000,000,000
4	Fuel Loss	200	KL	Rp 15,000	Rp 3,000,000
					Rp 30,141,880,000

$$\begin{aligned} \text{Total Pengeluaran} &= \text{Rp } 30,141,880,000 \\ &= \$ 2,152,991.43 \end{aligned}$$

Nilai diatas bisa berubah sewaktu-waktu berdasarkan kondisi *real* di Lapangan yang kemungkinan memiliki nilai yang lebih besar dari perhitungan diatas akibat faktor lain.

4.4.5.3. Perhitungan Harga Perbaikan Kapal Variasi Kecepatan 9,5 Knot

Tabel 4. 24. Harga Perbaikan Kapal Variasi Kecepatan 9,5 Knot

No.	Pengeluaran	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
1	Plate 8mm x 6' x 20'	1000	plate	Rp 10,000	Rp 10,000,000
2	Pengerjaan Penggantian Plate	6280	kg	Rp 30,000	Rp 188,400,000
3	Chartering Ship	60	day	Rp 500,000,000	Rp 30,000,000,000
4	Fuel Loss	200	KL	Rp 15,000	Rp 3,000,000
					Rp 30,201,400,000

Total Pengeluaran = Rp 30,201,400,000
= \$ 2,157,242.86

Nilai diatas bisa berubah sewaktu-waktu berdasarkan kondisi *real* di Lapangan yang kemungkinan memiliki nilai yang lebih besar dari perhitungan diatas akibat faktor lain.

4.4.5.4. Perhitungan Harga Perbaikan Kapal Variasi Kecepatan 10,2 Knot

Tabel 4. 25. Harga Perbaikan Kapal Variasi Kecepatan 10,2 Knot

No.	Pengeluaran	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga
1	Plate 8mm x 6' x 20'	1200	Plate	Rp 10,000	Rp 12,000,000
2	Pengerjaan Penggantian Plate	7536	Kg	Rp 30,000	Rp 226,080,000
3	Chartering Ship	60	Day	Rp 500,000,000	Rp 30,000,000,000
4	Fuel Loss	200	KL	Rp 15,000	Rp 3,000,000
					Rp 30,241,080,000

Total Pengeluaran = 30,241,080,000
= \$ 2,160,077.14

Nilai diatas bisa berubah sewaktu-waktu berdasarkan kondisi *real* di Lapangan yang kemungkinan memiliki nilai yang lebih besar dari perhitungan diatas akibat faktor lain.

4.5. Risk Matrix

Pada pembahasan sebelumnya telah didapat nilai dari frekuensi dan juga konsekuensi. Langkah selanjutnya yaitu menginterpretasikan hasil keduanya kedalam *risk matrix* dan akan dapat diketahui bahwasanya aktivitas pemasangan anoda pada pipa ini berada pada level yang bagaimana. Standar *risk matrix* yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan *Australia Standard Guidelines* (AN/NZ 4360:1999).

Dalam melakukan analisis perhitungan frekuensi maupun konsekuensi pada pembahasan tugas akhir ini digunakan beberapa variasi yang berbeda-beda. Pada perhitungan frekuensi terdapat variasi sudut *drifting* yang diantaranya sebesar 10°, 30°, 45°, dan 60°. Sedangkan variasi yang digunakan pada analisa konsekuensi yaitu berupa variasi kecepatan yang besarnya meliputi 3 knot, 5 knot, 9,5 knot, dan 10,2 knot.

Pada perhitungan sebelumnya telah didapatkan nilai frekuensi dari jenis tubrukan *Drifting Collision*. Total waktu aktivitas pemasangan anoda untuk seluruh segmen (KP 0 – KP 64) menghabiskan waktu hingga 1,5 tahun. Pada tabel *risk matrix* diketahui kriteria nilai frekuensi dihitung dalam satuan tiap tahun, maka untuk itu nilai dari total frekuensi yang berlangsung selama 1,5 tahun harus dijadikan per tahun terlebih dahulu sebelum diinterpretasikan kedalam *risk matrix*. Tabel 4.26. berikut adalah hasil frekuensi yang telah diubah tiap tahun untuk metode perhitungan frekuensi CRASH dan *Traffic Based Model*:

Tabel 4. 26. Hasil Nilai frekuensi per Tahun

	Frekuensi <i>Drifting Collision</i> per Tahun			
	10°	30°	45°	60°
CRASH	0.0673	0.0767	0.0942	0.1342
TBM	0.0767	0.0762	0.0755	0.0747

Pada hasil analisis konsekuensi difokuskan pada analisis biaya pengeluaran perbaikan pada lambung kapal akibat dari tubrukan dengan menggunakan simulasi ansys. Terdapat hasil biaya pengeluaran yang tidak terlalu signifikan pada setiap variasi kecepatan. Nilai dari konsekuensi pengeluaran biaya perbaikan kapal akibat tubrukan ini yaitu \$ 2,150,157.14 hingga \$ 2,160,077.14. Tabel 4.27. Tabel 4.27. dibawah ini adalah hasil lebih jelasnya biaya pengeluaran untuk perbaikan kapal akibat tubrukan pada beberapa macam variasi:

Tabel 4. 27. Hasil analisis konsekuensi

No.	Variasi Kecepatan	Total Pengeluaran
1	3 Knot	\$ 2,150,157.14
2	5 Knot	\$ 2,152,991.43

Lanjutan tabel ada di halaman selanjutnya

Lanjutan tabel dari halaman sebelumnya

No.	Variasi Kecepatan	Total Pengeluaran
3	9,5 Knot	\$ 2, 157,242.86
4	10,2 Knot	\$ 2,160,077.14

Setelah didapatkan nilai frekuensi dan konsekuensi, langkah selanjutnya yaitu menginterpretasikan kedua hasil analisa tersebut pada *risk matrix* yang hasilnya seperti Tabel 4.28. berikut:

Tabel 4. 28. Hasil Interpretasi Frekuensi dan Konsekuensi

No.	Variasi		Hasil Analisa		Hasil Interpretasi Risk Matrix		Level Risiko
	Frekuensi (sudut drifti ng)	Konsekuensi (Kecepatan)	Frekuensi (per tahun)	Konsekuensi	Frekuensi	Konsekuensi	
-----CRASH Model-----							
1	10°	3 knot	0.0673	\$2,150,157.14	Level 2	Level 4	Extreme
2	10°	5 Knot	0.0673	\$2,152,991.43	Level 2	Level 4	Extreme
3	10°	9,5 knot	0.0673	\$2,157,242.86	Level 2	Level 4	Extreme
4	10°	10,2 knot	0.0673	\$2,160,077.14	Level 2	Level 4	Extreme
5	30°	3 knot	0.0767	\$2,150,157.14	Level 2	Level 4	Extreme
6	30°	5 knot	0.0767	\$2,152,991.43	Level 2	Level 4	Extreme
7	30°	9,5 knot	0.0767	\$2,157,242.86	Level 2	Level 4	Extreme
8	30°	10,2 knot	0.0767	\$2,160,077.14	Level 2	Level 4	Extreme
9	45°	3 knot	0.0942	\$2,150,157.14	Level 2	Level 4	Extreme
10	45°	5 knot	0.0942	\$2,152,991.43	Level 2	Level 4	Extreme
11	45°	9,5 knot	0.0942	\$2,157,242.86	Level 2	Level 4	Extreme
12	45°	10,2 knot	0.0942	\$2,160,077.14	Level 2	Level 4	Extreme
13	60°	3 knot	0.1342	\$2,150,157.14	Level 1	Level 4	Extreme
14	60°	5 knot	0.1342	\$2,152,991.43	Level 1	Level 4	Extreme
15	60°	9,5 knot	0.1342	\$2,157,242.86	Level 1	Level 4	Extreme
16	60°	10,2 knot	0.1342	\$2,160,077.14	Level 1	Level 4	Extreme
-----Traffic Based Model-----							
17	10°	3 knot	0.0767	\$2,150,157.14	Level 2	Level 4	Extreme
18	10°	5 Knot	0.0767	\$2,152,991.43	Level 2	Level 4	Extreme

Lanjutan tabel ada di halaman selanjutnya

No.	Variasi		Hasil Analisa		Hasil Interpretasi Risk Matrix		Level Risiko
	Frekuensi (sudut drifting)	Konsekuensi (Kecepatan)	Frekuensi (per tahun)	Konsekuensi	Frekuensi	Konsekuensi	
19	10°	9,5 knot	0.0767	\$2,157,242.86	Level 2	Level 4	Extreme
20	10°	10,2 knot	0.0767	\$2,160,077.14	Level 2	Level 4	Extreme
21	30°	3 knot	0.0762	\$2,150,157.14	Level 2	Level 4	Extreme
22	30°	5 knot	0.0762	\$2,152,991.43	Level 2	Level 4	Extreme
23	30°	9,5 knot	0.0762	\$2,157,242.86	Level 2	Level 4	Extreme
24	30°	10,2 knot	0.0762	\$2,160,077.14	Level 2	Level 4	Extreme
25	45°	3 knot	0.0755	\$2,150,157.14	Level 2	Level 4	Extreme
26	45°	5 knot	0.0755	\$2,152,991.43	Level 2	Level 4	Extreme
27	45°	9,5 knot	0.0755	\$2,157,242.86	Level 2	Level 4	Extreme
28	45°	10,2 knot	0.0755	\$2,160,077.14	Level 2	Level 4	Extreme
29	60°	3 knot	0.0747	\$2,150,157.14	Level 2	Level 4	Extreme
30	60°	5 knot	0.0747	\$2,152,991.43	Level 2	Level 4	Extreme
31	60°	9,5 knot	0.0747	\$2,157,242.86	Level 2	Level 4	Extreme
32	60°	10,2 knot	0.0747	\$2,160,077.14	Level 2	Level 4	Extreme


Pada hasil interpretasi di *risk matrix* khususnya untuk nilai frekuensi per tahun memiliki nilai yang berbeda pada metode CRASH dan *Traffic Based Model*, terutama pada variasi sudut *drifting* 60°. Pada metode CRASH dengan sudut *drifting* 60°, nilai frekuensinya merupakan yang terbesar dari variasi yang lainnya yaitu sebesar 10^{-1} per tahun. Hal ini membuat interpretasi pada *risk matrix*-nya berada pada level tertinggi yaitu level 1. Sedangkan untuk variasi sudut yang lain maupun dengan hasil yang menggunakan metode *traffic based model*, nilai frekuensinya masih berada satu tingkat dibawahnya yaitu sebesar 10^{-2} dan menempatkannya pada level 2.


Sedangkan untuk interpretasi dari nilai pengeluaran biaya pada konsekuensi akibat tubrukan kapal memiliki nilai yang hampir sama pada semua variasi yaitu sama – sama mengalami kerugian pada rentang \$ 1.000.000 s/d \$ 10.000.000, yang menempatkan nilai konsekuensi ini berada pada level 4.

Tabel 4. 29. *Risk Matrix Drifting Collision*

Risk Matrix AN/NZ 4360:1999			Consequence				
			1	2	3	4	5
			Loss Below \$5.000	Loss \$5.000 to \$50.000	Loss \$50.000 to \$1.000.000	Loss \$1.000.000 to \$10.000.000	Loss above \$10.000.000
Frequency	1	10^{-1} per year	H	H	E	E	E
	2	10^{-2} per year	M	H	H	E	E
	3	10^{-3} per year	L	M	H	E	E
	4	10^{-4} per year	L	L	M	H	E
	5	10^{-5} per year	L	L	M	H	H

Keterangan:

 Point 13 – 16 (Pada Tabel 4.28.)

 Point 1 – 12 & Point 17 – 32 (Pada Tabel 4.28.)

Secara keseluruhan hasil dari interpretasi frekuensi dan konsekuensi dalam kegiatan pemasangan anoda ini memiliki tingkat risiko “*extreme*” seperti yang terlihat pada Tabel 4.29. diatas, sehingga upaya mitigasi sangat perlu segera dilakukan untuk menjadikan risiko berada pada tingkat yang bisa diterima.

4.6. Mitigasi

Pada hasil *risk matrix* sebelumnya didapatkan hasil nilai frekuensi menempati level 1 ataupun 2 dan nilai dari konsekuensi menempati level 4, hal ini menyebabkan risiko berada pada level “*Extreme*“. Jika telah berada pada level tersebut maka dibutuhkan upaya pencegahan untuk mengurangi level risiko sehingga berada pada area yang dapat diterima. Upaya pencegahan yang bisa dilakukan untuk mengurangi risiko yang terjadi yaitu bisa dilakukan dengan cara:

1. Menginformasikan kegiatan untuk dimaklumkan dalam pelayaran
Menginformasikan aktivitas kapal DSV yang sedang melakukan pemasangan anoda kepada pihak terkait seperti DISHUB, HUBLA, atau pihak yang berwenang lainnya, agar memaklumkan dalam pelayaran informasi aktivitas tersebut. Sehingga kapal-kapal yang sedang beroperasi di dekat atau sekitar DSV dapat berjaga jarak dan memperhatikan hal-hal yang supaya tidak terjadi adanya tubrukan.
2. Menempatkan kapal pandu di sekitar DSV
Penempatan kapal pandu ini berfungsi sebagai kapal pelindung DSV dari gangguan-gangguan yang berpotensi terjadi kecelakaan pada DSV. Dengan adanya kapal pandu mampu mencegah apabila terdapat kapal yang secara tidak terduga mengalami kegagalan mesin dan berpotensi menabrak DSV, maka kapal pandu akan bertugas menarik kapal yang mengalami kegagalan mesin tersebut agar tidak hanyut dan bertabrakan dengan DSV.
3. Memperhatikan peralatan navigasi ketika akan menggunakan kapal
Peralatan navigasi memiliki peran yang sangat vital untuk membantu menghindari adanya tubrukan kapal. Dalam kasus ini peralatan navigasi harus dipersiapkan dengan baik sebelum berlayar, sehingga apabila terjadi sesuatu yang tanpa sengaja berpotensi mengalami tubrukan, pihak awak kapal dapat memberikan tanda/komunikasi kepada DSV pada jarak terjauh sebelum terjadi kecelakaan.
4. Mempersiapkan peralatan reparasi dengan sebaik mungkin.
Seperti yang telah dianalisa sebelumnya, salah satu penyebab terjadinya tubrukan yaitu diakibatkan dikarenakan kegagalan mesin dan tidak mampu berfungsinya kembali kemampuan mesin saat terjadi kegagalan. Sehingga untuk mengatasi hal tersebut kelengkapan peralatan reparasi yang memadai mampu mengatasi kegagalan mesin secara cepat dan tepat agar tidak menimbulkan tubrukan dengan kapal lain.

BAB V KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian diatas dapat disimpulkan

1. Analisis yang dilakukan untuk menghitung frekuensi yang terjadi pada kapal DSV yaitu dengan metode CRASH dan *Traffic Based Model* untuk jenis tubrukan *drifting collision*. Waktu pengerjaan pemasangan anoda seluruh segmen pipa 16 inch (KP 0 – KP 64) yang memerlukan waktu hingga 1,5 tahun ini memiliki hasil frekuensi tubrukan sebagai berikut:

Tabel 5. 1. Hasil Perhitungan Nilai Frekuensi Drifting Collision

	Frekuensi <i>Drifting Collision</i>			
	10°	30°	45°	60°
CRASH	0.1009	0.1150	0.1413	0.2013
TBM	0.1150	0.1143	0.1133	0.1120

2. Konsekuensi yang dapat diakibatkan oleh tubrukan dianalisis dengan menggunakan pemodelan 3D pada ANSYS dan juga menghitung biaya yang dikeluarkan dari reparasi kapal akibat tubrukan. Berikut hasil simulasi model 3D pada ANSYS beserta analisa biaya pengeluarannya:

Tabel 5. 2. Hasil analisa konsekuensi menggunakan simulasi ansys

		Variasi Kecepatan (Knot)			
		3	5	9,5	10,2
<i>Equivalent Stress</i>	Min.	0,295 Pa	0,786 Pa	1,2997 x 10 ⁻⁵ Pa	1,995 x 10 ⁻⁵ Pa
	Maks.	1,645 x 10 ⁻⁸ Pa	1,023 x 10 ⁻⁹ Pa	2,7198 x 10 ⁻⁸ Pa	7,635 x 10 ⁻⁸ Pa
<i>Directional Deformation</i>	Min.	-0,14258 m	-0,246 m	-0,27155 m	-0,3296 m
	Maks.	0,48712 m	0,7437 m	1,2058 m	1,5076 m
<i>Total Deformation</i>	Min.	0 m	0 m	0 m	0 m
	Maks.	0,57 m	0,91 m	1,5531 m	1,6114 m

Tabel 5. 3. Hasil analisa konsekuensi biaya pengeluaran

No.	Variasi Kecepatan	Total Pengeluaran
1	3 Knot	\$ 2,150,157.14
2	5 Knot	\$ 2,152,991.43
3	9,5 Knot	\$ 2,157,242.86
4	10,2 Knot	\$ 2,160,077.14

3. Level risiko pada pekerjaan pemasangan anoda ini ditentukan dengan menginterpretasikan hasil frekuensi dengan hasil analisa konsekuensi pada tabel *risk matrix Australia Standard Guidelines* (AN/NZ 4360:1999). Hasil dari *risk matrix* menyatakan bahwa frekuensi terjadinya kecelakaan sebesar 10^{-1} per tahun dan 10^{-2} per tahun untuk jenis tubrukan *drifting collision*, serta konsekuensi yang bisa berdampak pada biaya pengeluaran sebesar \$ 1.000.000 s/d \$ 10.000.000, menjadikan aktivitas pemasangan anoda ini berada pada level risiko yang “*extreme*”.
4. Mitigasi yang dilakukan untuk menjadikan risiko berada pada area yang bisa diterima yaitu diantaranya: menginformasikan kegiatan untuk dimaklumkan dalam pelayaran, menempatkan kapal pandu di sekitar DSV, memperhatikan peralatan navigasi ketika akan menggunakan kapal, dan mempersiapkan peralatan reparasi dengan sebaik mungkin.

5.2. Saran

Saran untuk tugas akhir ini supaya bisa lebih baik lagi kedepannya:

1. Pada perhitungan frekuensi dengan metode CRASH, pada bagian penentuan *wind probability*, diharapkan nilai probabilitasnya lebih dispesifikkan lagi menyesuaikan kondisi arah angin tempat kegiatan tersebut dilakukan, bila perlu meminta data yang lebih konkrit kepada pihak seperti BMKG atau badan lainnya untuk mendukung data & hasil perhitungan yang lebih optimal.
2. Software yang mendukung untuk pengerjaan tugas akhir mudah tersedia di lab dengan baik seperti IWRAP, Ansys dan lain-lain
3. Data dari perusahaan kurang begitu lengkap, terutama data mengenai anoda beserta desain peletakannya, sehingga dibutuhkan upaya untuk penggalan data yang lebih baik lagi
4. Pengerjaan tugas akhir harus bisa terkerjakan pada laptop/komputer dengan kondisi yang baik/prima.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhita, I. G. M. S. 2017. *Analisis Risiko Tubrukan Selama Proses Ship to Ship Transfer Bahan Bakar*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Artana, K. B. & Dinariyana, A. A. B. 2013. *Teori Keandalan Sistem dan Aplikasinya*. In: s.l:s.n.
- Australia Standard Guidelines. 1997. *Risk Management*. s.l., s.n., pp. 34-35
- Fahrirozan, Muhammad Firman. 2019. *Formal Safety Assessment (FSA) for Ship Collision*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Dokumen proyek PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore PPP ke ROF.
- Jim Britton and Dick Baxter. 2008. *Extending the Life of Cathodic Protection Systems for Offshore Pipelines. Some Recently Applied New Technologies*.
- Kent, MW. 2004. *Pipeline Risk Management Manual, Third Edition, Ideas, Techniques, and Resources*. Elsevier Inc.
- Kristiansen, Svein. 2005. *Maritime Transportation: Safety Management and Risk Analysis*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- LPPM. 2009. *Final Report Risk Assessment KODECO Pipeline From Poleng Process Platform (PPP) To Onshore Receiving Facilities (ORF)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- LPPM. 2014. *Risk Assessment of Platform PHE-7 and Pipeline PHE-7 to PHE-48 Due To Marine Traffic*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Mulyono, Pribadi Ridzky. 2017. *Perancangan Sistem Proteksi Katodik Anoda Tumbal Pada Pipa Baja API 5L GRADE B Dengan Variasi Jumlah Coating Yang Dipasang Di Dalam Tanah*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nayyar, Mohinder L. 2000. *Piping Handbook, 7th ed*. New York: Mc Grow-Hill Professional.
- Pratiwi, E. 2015. *Estimasi Frekuensi Tubrukan Kapal Selama Proses Pipeline Decommisioning pada Crossing II Alur Pelayaran Barat Surabaya*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Roberge, Piere R. 1999. *Handbook of Corrosion Engineering*. New York: Mc Grow-Hill Professional.
- Spouge, Spouge. 1999. *A Guide to Quantitative Risk Assessment for Offshore Installations*. DNV Technica.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1

Hasil Perhitungan frekuensi *drifting collision* metode CRASH seluruh segmen (KP 0 – KP 64)

KP	Frekuensi Drifting – CRASH			
	10°	30°	40°	60°
0 - 1	0.004030	0.004583	0.005613	0.007938
1 - 2	0.004130	0.004696	0.005751	0.008133
2 - 3	0.003875	0.004407	0.005398	0.007633
3 - 4	0.003977	0.004522	0.005538	0.007833
4 - 5	0.003897	0.004432	0.005428	0.007676
5 - 6	0.003655	0.004156	0.005090	0.007199
6 - 7	0.003746	0.004259	0.005217	0.007378
7 - 8	0.003662	0.004165	0.005101	0.007214
8 - 9	0.003428	0.003898	0.004775	0.006753
9 - 10	0.003508	0.003989	0.004886	0.006909
10 - 11	0.003277	0.003727	0.004564	0.006455
11 - 12	0.003349	0.003809	0.004665	0.006597
12 - 13	0.003274	0.003724	0.004560	0.006449
13 - 14	0.003055	0.003475	0.004255	0.006017
14 - 15	0.003119	0.003547	0.004344	0.006142
15 - 16	0.002908	0.003307	0.004050	0.005727
16 - 17	0.002962	0.003368	0.004126	0.005834
17 - 18	0.002759	0.003137	0.003842	0.005433
18 - 19	0.002806	0.003191	0.003909	0.005527
19 - 20	0.002610	0.002968	0.003635	0.005140
20 - 21	0.002651	0.003015	0.003692	0.005221
21 - 22	0.002572	0.002925	0.003582	0.005065
22 - 23	0.002386	0.002713	0.003323	0.004699
23 - 24	0.002417	0.002749	0.003366	0.004759
24 - 25	0.002238	0.002545	0.003117	0.004407
25 - 26	0.002358	0.002682	0.003284	0.004643
26 - 27	0.002156	0.002454	0.003003	0.004246
27 - 28	0.001941	0.002216	0.002704	0.003821
28 - 29	0.001689	0.001916	0.002355	0.003327
29 - 30	0.001405	0.001595	0.001954	0.002760
30 - 31	0.001120	0.001266	0.001551	0.002193

Lanjutan tabel ada di halaman selanjutnya

Lanjutan tabel dari halaman sebelumnya

KP	Frekuensi Drifting – CRASH			
	10°	30°	40°	60°
31 - 32	0.000955	0.001085	0.001328	0.001877
32 - 33	0.000828	0.000943	0.001153	0.001632
33 - 34	0.000623	0.000708	0.000865	0.001226
34 - 35	0.000423	0.000481	0.000587	0.000834
35 - 36	0.003655	0.004156	0.005090	0.007199
36 - 37	0.000161	0.000183	0.000225	0.000318
37 - 38	0.000129	0.000146	0.000179	0.000254
38 - 39	0.000193	0.000222	0.000273	0.000385
39 - 40	0.000272	0.000306	0.000372	0.000522
40 - 41	0.000298	0.000341	0.000420	0.000600
41 - 42	0.000256	0.000294	0.000361	0.000521
42 - 43	0.000252	0.000297	0.000396	0.000750
43 - 44	0.000312	0.000401	0.000573	0.001128
44 - 45	0.000365	0.000471	0.000668	0.001309
45 - 46	0.000331	0.000426	0.000604	0.001185
46 - 47	0.000242	0.000312	0.000446	0.000858
47 - 48	0.000180	0.000231	0.000321	0.000525
48 - 49	0.000243	0.000302	0.000401	0.000604
49 - 50	0.000011	0.000012	0.000015	0.000023
50 - 51	0.000011	0.000013	0.000017	0.000022
51 - 52	0.000011	0.000011	0.000013	0.000016
52 - 53	0.000009	0.000010	0.000011	0.000014
53 - 54	0.000007	0.000008	0.000009	0.000011
54 - 55	0.000009	0.000009	0.000011	0.000014
55 - 56	0.000013	0.000015	0.000018	0.000026
56 - 57	0.000015	0.000017	0.000021	0.000029
57 - 58	0.000018	0.000020	0.000025	0.000035
58 - 59	0.000029	0.000033	0.000040	0.000057
59 - 60	0.000040	0.000045	0.000055	0.000078
60 - 61	0.000034	0.000039	0.000048	0.000068
61 - 62	0.000024	0.000028	0.000034	0.000048
62 - 63	0.000008	0.000007	0.000007	0.000007
63 - 64	0.000008	0.000007	0.000006	0.000007
Total	0.100928	0.115013	0.141271	0.201309

Lampiran 2

Hasil Perhitungan frekuensi *drifting collision* metode *Traffic Based Model* seluruh segmen (KP 0 – KP 64)

KP	Frekuensi Drifting – TBM			
	10°	30°	45°	60°
0 - 1	0.001661	0.001660	0.001658	0.001656
1 - 2	0.001737	0.001735	0.001734	0.001731
2 - 3	0.001661	0.001660	0.001658	0.001656
3 - 4	0.001737	0.001736	0.001734	0.001732
4 - 5	0.001737	0.001736	0.001734	0.001732
5 - 6	0.001662	0.001661	0.001659	0.001656
6 - 7	0.001738	0.001736	0.001734	0.001732
7 - 8	0.001738	0.001736	0.001735	0.001732
8 - 9	0.001663	0.001661	0.001659	0.001657
9 - 10	0.001738	0.001737	0.001735	0.001732
10 - 11	0.001663	0.001662	0.001660	0.001657
11 - 12	0.001739	0.001737	0.001735	0.001733
12 - 13	0.001739	0.001738	0.001736	0.001733
13 - 14	0.001664	0.001662	0.001660	0.001658
14 - 15	0.001740	0.001738	0.001736	0.001733
15 - 16	0.001665	0.001663	0.001661	0.001658
16 - 17	0.001741	0.001739	0.001737	0.001733
17 - 18	0.001666	0.001664	0.001661	0.001658
18 - 19	0.001742	0.001740	0.001737	0.001734
19 - 20	0.001666	0.001664	0.001662	0.001659
20 - 21	0.001743	0.001741	0.001738	0.001734
21 - 22	0.001743	0.001741	0.001738	0.001735
22 - 23	0.001668	0.001666	0.001663	0.001659
23 - 24	0.001744	0.001742	0.001739	0.001735
24 - 25	0.001669	0.001667	0.001664	0.001660
25 - 26	0.001821	0.001819	0.001816	0.001811
26 - 27	0.001746	0.001744	0.001741	0.001736
27 - 28	0.001749	0.001746	0.001742	0.001737
28 - 29	0.001752	0.001749	0.001745	0.001739
29 - 30	0.001680	0.001676	0.001672	0.001666
30 - 31	0.001531	0.001527	0.001522	0.001516
31 - 32	0.001536	0.001532	0.001526	0.001519
32 - 33	0.001621	0.001616	0.001608	0.001599

Lanjutan tabel ada di halaman selanjutnya

Lanjutan tabel dari halaman sebelumnya

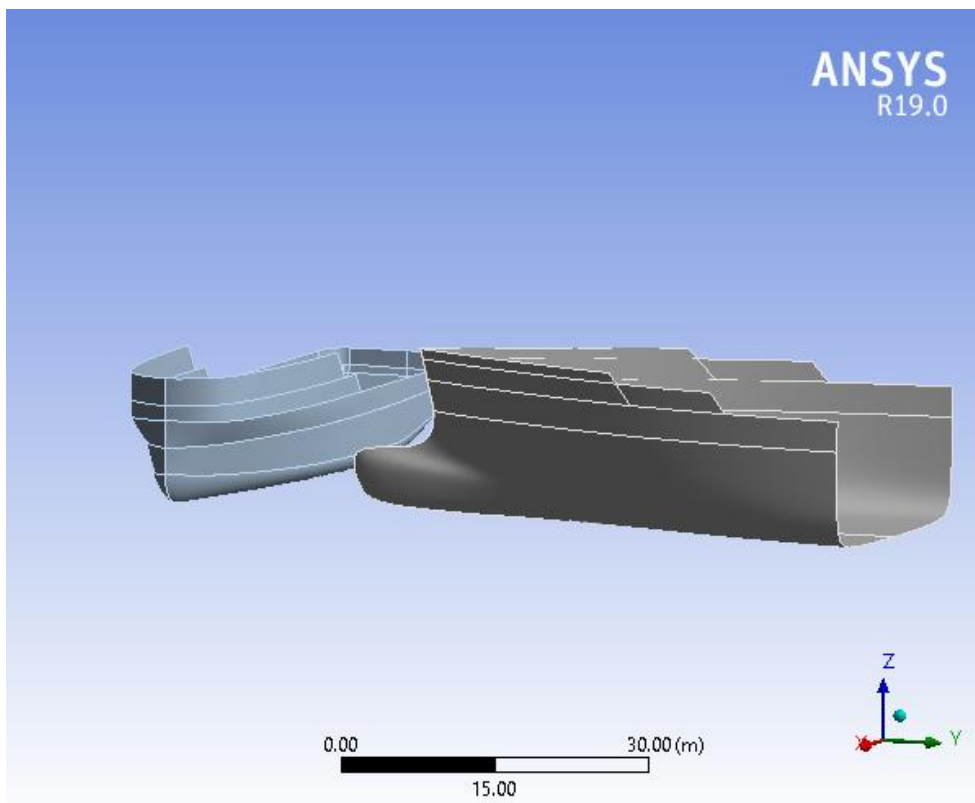
KP	Frekuensi Drifting – TBM			
	10°	30°	45°	60°
33 - 34	0.001556	0.001549	0.001540	0.001528
34 - 35	0.001418	0.001409	0.001398	0.001384
35 - 36	0.001662	0.001661	0.001659	0.001656
36 - 37	0.001846	0.001808	0.001760	0.001702
37 - 38	0.002152	0.002092	0.002014	0.001919
38 - 39	0.001996	0.001956	0.001908	0.001850
39 - 40	0.001814	0.001794	0.001767	0.001732
40 - 41	0.001977	0.001953	0.001922	0.001884
41 - 42	0.001824	0.001800	0.001770	0.001732
42 - 43	0.001920	0.001888	0.001845	0.001788
43 - 44	0.001970	0.001929	0.001889	0.001845
44 - 45	0.002206	0.002163	0.002121	0.002073
45 - 46	0.002227	0.002179	0.002132	0.002078
46 - 47	0.002319	0.002246	0.002175	0.002101
47 - 48	0.002011	0.001940	0.001874	0.001814
48 - 49	0.001929	0.001886	0.001843	0.001802
49 - 50	0.001900	0.001876	0.001836	0.001788
50 - 51	0.001891	0.001864	0.001825	0.001794
51 - 52	0.001897	0.001896	0.001868	0.001830
52 - 53	0.001941	0.001924	0.001893	0.001849
53 - 54	0.002007	0.001985	0.001943	0.001885
54 - 55	0.001948	0.001930	0.001897	0.001851
55 - 56	0.001861	0.001840	0.001814	0.001780
56 - 57	0.001841	0.001823	0.001800	0.001770
57 - 58	0.001817	0.001803	0.001784	0.001759
58 - 59	0.001771	0.001763	0.001752	0.001737
59 - 60	0.001752	0.001746	0.001738	0.001728
60 - 61	0.001760	0.001753	0.001744	0.001732
61 - 62	0.001785	0.001774	0.001761	0.001744
62 - 63	0.001962	0.002013	0.002024	0.002010
63 - 64	0.001976	0.002039	0.002059	0.002039
Total	0.115036	0.114313	0.113292	0.112001

Lampiran 3
Project ansys



Article I. Project

First Saved	Friday, July 12, 2019
Last Saved	Sunday, July 14, 2019
Product Version	19.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



Contents

- Units
- Model (A4, B4, C4, D4)
 - Geometry
 - Parts
 - Coordinate Systems

- Connections
 - Body Interactions
 - Body Interaction
- Mesh
- **Explicit Dynamics (B5)**
 - Initial Conditions
 - Initial Condition
 - Analysis Settings
 - Loads
 - Solution (B6)
 - Solution Information
 - Results
- **Explicit Dynamics 2 (A5)**
 - Initial Conditions
 - Initial Condition
 - Analysis Settings
 - Loads
 - Solution (A6)
 - Solution Information
 - Results
- **Explicit Dynamics 3 (C5)**
 - Initial Conditions
 - Initial Condition
 - Analysis Settings
 - Loads
 - Solution (C6)
 - Solution Information
 - Results
- **Explicit Dynamics 4 (D5)**
 - Initial Conditions
 - Initial Condition
 - Analysis Settings
 - Loads
 - Solution (D6)
 - Solution Information
 - Results
- **Material Data**
 - Structural Steel

Section 1.01 Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Section 1.02 Model (A4, B4, C4, D4)

(a) Geometry

TABLE 2

Model (A4, B4, C4, D4) > Geometry

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined

Definition	
Source	D:\INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER\MMD\PROJECT\TA MAS RONALD\COLLISION trimmed.stp
Type	Step
Length Unit	Meters
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	65. m
Length Y	71.978 m
Length Z	16. m
Properties	
Volume	55.85 m ³
Mass	4.3842e+005 kg
Surface Area(approx.)	4398.1 m ²
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	2
Active Bodies	2
Nodes	4785
Elements	4594
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	No
Parameters	Independent
Parameter Key	ANS;DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and	Yes

Symmetry Processing

TABLE 3

Model (A4, B4, C4, D4) > Geometry > Parts

Object Name	<i>TANKER</i>	<i>DSV</i>
State	Meshed	
Graphics Properties		
Visible	Yes	
Transparency	1	
Definition		
Suppressed	No	
Stiffness Behavior	Flexible	
Coordinate System	Default Coordinate System	
Reference Temperature	By Environment	
Thickness	1.5e-002 m	1.e-002 m
Thickness Mode	Manual	
Offset Type	Middle	
Material		
Assignment	Structural Steel	
Bounding Box		
Length X	30.779 m	65. m
Length Y	56.575 m	15.8 m
Length Z	16. m	12.51 m
Properties		
Volume	35.606 m ³	20.244 m ³
Mass	2.7951e+005 kg	1.5891e+005 kg
Centroid X	33.371 m	34.428 m
Centroid Y	39.905 m	-2.1235e-002 m
Centroid Z	5.1948 m	7.4242 m
Moment of Inertia Ip1	6.8474e+007 kg·m ²	7.0527e+006 kg·m ²
Moment of Inertia Ip2	2.7656e+007 kg·m ²	5.6439e+007 kg·m ²
Moment of Inertia Ip3	8.3668e+007 kg·m ²	5.9792e+007 kg·m ²
Surface Area(approx.)	2373.7 m ²	2024.4 m ²
Statistics		
Nodes	2555	2230
Elements	2512	2082
Mesh Metric	None	

(b) Coordinate Systems

TABLE 4

Model (A4, B4, C4, D4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Object Name	<i>Global Coordinate System</i>	<i>NEW COORDINATE</i>
State	Fully Defined	
Definition		
Type	Cartesian	
Suppressed		No

Origin		
Origin X	0. m	33.371 m
Origin Y	0. m	39.905 m
Origin Z	0. m	5.1948 m
Define By		Geometry Selection
Geometry		Defined
Directional Vectors		
X Axis Data	[1. 0. 0.]	
Y Axis Data	[0. 1. 0.]	[0. 0. 1.]
Z Axis Data	[0. 0. 1.]	[0. -1. 0.]
Principal Axis		
Axis		X
Define By		Global X Axis
Orientation About Principal Axis		
Axis		Y
Define By		Global Z Axis
Transformations		
Base Configuration		Absolute
Transformed Configuration		[33.371 39.905 5.1948]

(c) Connections

TABLE 5

Model (A4, B4, C4, D4) > Connections

Object Name	Connections
State	Fully Defined
Auto Detection	
Generate Automatic Connection On Refresh	Yes
Transparency	
Enabled	Yes

TABLE 6

Model (A4, B4, C4, D4) > Connections > Body Interactions

Object Name	Body Interactions
State	Fully Defined
Advanced	
Contact Detection	Trajectory
Formulation	Penalty
Sliding Contact	Discrete Surface
Shell Thickness Factor	0.
Nodal Shell Thickness	
Body Self Contact	Program Controlled
Element Self Contact	Program Controlled
Tolerance	0.2

TABLE 7

Model (A4, B4, C4, D4) > Connections > Body Interactions > Body Interaction

Object Name	Body Interaction
-------------	------------------

State	Fully Defined
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Definition	
Type	Frictionless
Suppressed	No

(d) Mesh

TABLE 8

Model (A4, B4, C4, D4) > Mesh

Object Name	<i>Mesh</i>
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Explicit
Element Order	Linear
Sizing	
Size Function	Curvature
Max Face Size	Default (1.40130 m)
Mesh Defeaturing	Yes
Defeature Size	Default (7.0064e-003 m)
Growth Rate	Default
Min Size	Default (1.4013e-002 m)
Curvature Normal Angle	Default (30.0 °)
Bounding Box Diagonal	98.2950 m
Average Surface Area	125.670 m ²
Minimum Edge Length	1.9682e-006 m
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	High
Mesh Metric	None
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	2
Growth Rate	1.2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Straight Sided Elements	
Number of Retries	0

Rigid Body Behavior	Full Mesh
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Topology Checking	Yes
Use Sheet Thickness for Pinch	No
Pinch Tolerance	Default (1.2612e-002 m)
Generate Pinch on Refresh	No
Sheet Loop Removal	No
Statistics	
Nodes	4785
Elements	4594

Section 1.03 Explicit Dynamics (B5)

TABLE 9

Model (A4, B4, C4, D4) > Analysis

Object Name	<i>Explicit Dynamics (B5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Explicit Dynamics
Solver Target	AUTODYN
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 10

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics (B5) > Initial Conditions

Object Name	<i>Initial Conditions</i>
State	Fully Defined

TABLE 11

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics (B5) > Initial Conditions > Initial Condition

Object Name	<i>Pre-Stress (None)</i>	<i>Velocity</i>
State	Fully Defined	
Definition		
Pre-Stress Environment	None	
Pressure Initialization	From Deformed State	
Input Type		Velocity
Define By		Components
Coordinate System		NEW COORDINATE
X Component		0. m/s
Y Component		0. m/s
Z Component		4.89 m/s
Suppressed		No
Scope		
Scoping Method		Geometry Selection
Geometry		1 Body

TABLE 12
 Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics (B5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Analysis Settings Preference	
Type	Program Controlled
Step Controls	
Resume From Cycle	0
Maximum Number of Cycles	1e+07
End Time	0.3 s
Maximum Energy Error	0.1
Reference Energy Cycle	0
Initial Time Step	Program Controlled
Minimum Time Step	Program Controlled
Maximum Time Step	Program Controlled
Time Step Safety Factor	0.9
Characteristic Dimension	Diagonals
Automatic Mass Scaling	No
Solver Controls	
Solve Units	mm, mg, ms
Beam Solution Type	Bending
Beam Time Step Safety Factor	0.5
Hex Integration Type	Exact
Shell Sublayers	3
Shell Shear Correction Factor	0.8333
Shell BWC Warp Correction	Yes
Shell Thickness Update	Nodal
Tet Integration	Average Nodal Pressure
Shell Inertia Update	Recompute
Density Update	Program Controlled
Minimum Velocity	1.e-006 m s ⁻¹

Maximum Velocity	1.e+010 m s ⁻¹
Radius Cutoff	1.e-003
Minimum Strain Rate Cutoff	1.e-010
Euler Domain Controls	
Domain Size Definition	Program Controlled
Display Euler Domain	Yes
Scope	All Bodies
X Scale factor	1.2
Y Scale factor	1.2
Z Scale factor	1.2
Domain Resolution Definition	Total Cells
Total Cells	2.5e+05
Lower X Face	Flow Out
Lower Y Face	Flow Out
Lower Z Face	Flow Out
Upper X Face	Flow Out
Upper Y Face	Flow Out
Upper Z Face	Flow Out
Euler Tracking	By Body
Damping Controls	
Linear Artificial Viscosity	0.2
Quadratic Artificial Viscosity	1.
Linear Viscosity in Expansion	No
Artificial Viscosity For Shells	Yes
Hourglass Damping	AUTODYN Standard
Viscous Coefficient	0.1
Static Damping	0.
Erosion Controls	
On Geometric Strain Limit	Yes
Geometric Strain Limit	1.5
On Material Failure	No

On Minimum Element Time Step	No
Retain Inertia of Eroded Material	Yes
Output Controls	
Save Results on	Equally Spaced Points
Result Number Of Points	20
Save Restart Files on	Equally Spaced Points
Restart Number Of Points	5
Save Result Tracker Data on	Cycles
Tracker Cycles	1
Output Contact Forces	Off
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	D:\INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER\MMD\PROJECT\TA MAS RONALD\RUNNING ANSYS RONALD\SHIP COLLISION_files\dp0\SYS\MECH\
Scratch Solver Files Directory	

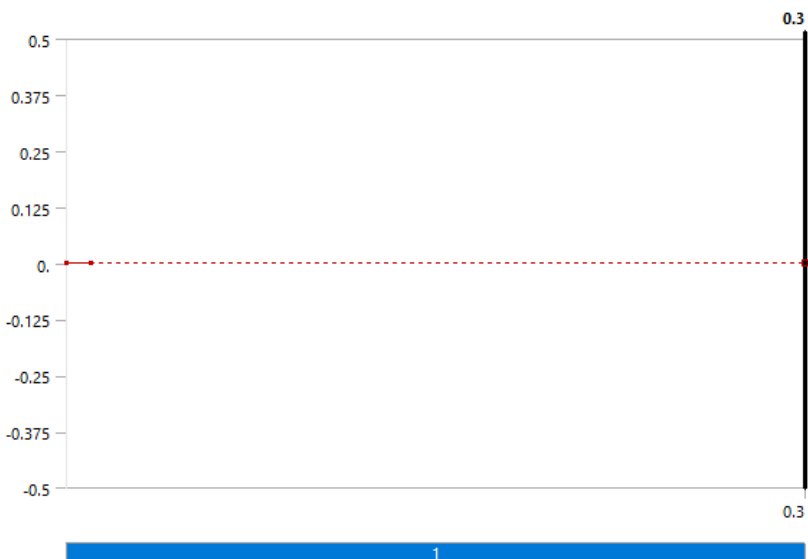
TABLE 13

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics (B5) > Loads

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Displacement</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	5 Edges	14 Edges
Definition		
Type	Fixed Support	Displacement
Suppressed	No	
Define By		Components
Coordinate System		NEW COORDINATE
X Component		Free
Y Component		0. m (ramped)
Z Component		Free

FIGURE 1

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics (B5) > Displacement



(a) Solution (B6)

TABLE 14

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics (B5) > Solution

Object Name	<i>Solution (B6)</i>
State	Solved
Information	
Status	Done
Post Processing	
Beam Section Results	No

TABLE 15

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics (B5) > Solution (B6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Energy Summary
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
Display Filter During Solve	Yes

FIGURE 2

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics (B5) > Solution (B6) > Solution Information

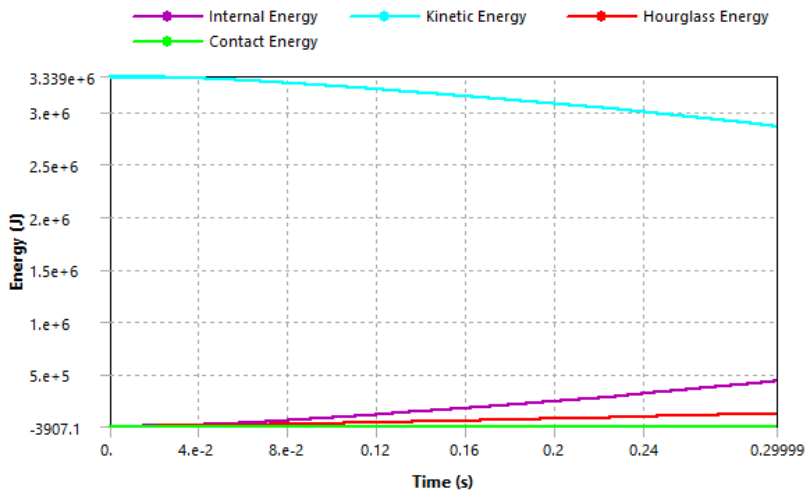


TABLE 16

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics (B5) > Solution (B6) > Results

Object Name	<i>Directional Deformation</i>	<i>Total Deformation</i>	<i>Equivalent Stress</i>
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Position	Top/Bottom		
Definition			
Type	Directional Deformation	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
Orientation	Z Axis		
By	Time		
Display Time	0.24854 s	Last	6.8375e-002 s
Coordinate System	NEW COORDINATE		
Calculate Time History	Yes		
Identifier			
Suppressed	No		
Results			
Minimum	-0.27155 m	0. m	1.2997e+005 Pa
Maximum	1.2058 m	1.5531 m	2.7198e+008 Pa
Average	0.67496 m	0.81971 m	6.4614e+006 Pa
Minimum Occurs On	DSV		
Maximum Occurs On	TANKER	DSV	
Minimum Value Over Time			
Minimum	-0.29966 m	0. m	0. Pa
Maximum	0. m		2.8385e+005 Pa

Maximum Value Over Time			
Minimum	0. m		0. Pa
Maximum	1.4052 m	1.5531 m	9.3789e+008 Pa
Information			
Time	0.255 s	0.3 s	7.5001e-002 s
Set	18	21	6
Cycle Number	170501	200784	49892
Integration Point Results			
Display Option			Averaged
Average Across Bodies			No

FIGURE 3
 Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics (B5) > Solution (B6) >
 Directional Deformation

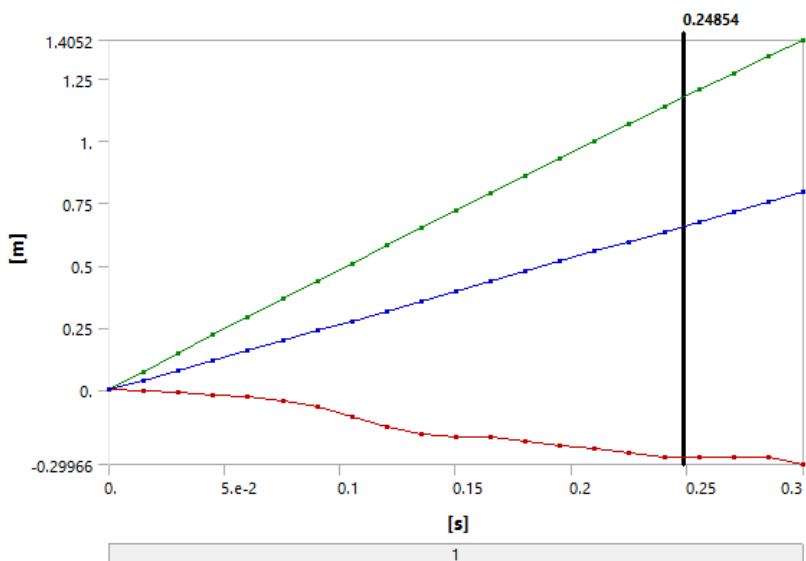


TABLE 17
 Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics (B5) > Solution (B6) >
 Directional Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1.1755e-038	0.	0.	0.
1.5002e-002	-3.3186e-003	7.412e-002	3.9211e-002
3.e-002	-8.6333e-003	0.14668	7.8531e-002
4.5e-002	-1.852e-002	0.2205	0.11798
6.0001e-002	-2.9821e-002	0.29281	0.15764
7.5001e-002	-4.3134e-002	0.36541	0.19735
9.e-002	-6.8068e-002	0.43756	0.23715
0.105	-0.10722	0.50928	0.27689
0.12	-0.15101	0.58064	0.31663
0.135	-0.1785	0.65177	0.3564
0.15	-0.18837	0.72254	0.3962

0.165	-0.19072	0.79271	0.4361
0.18	-0.20742	0.86268	0.476
0.195	-0.22453	0.93233	0.5159
0.21	-0.23844	1.0014	0.55575
0.225	-0.254	1.0701	0.5955
0.24	-0.27355	1.1383	0.63521
0.255	-0.27155	1.2058	0.67496
0.27	-0.26996	1.2729	0.71477
0.285	-0.27076	1.3394	0.7545
0.3	-0.29966	1.4052	0.79429

FIGURE 4
Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics (B5) > Solution (B6) > Total Deformation

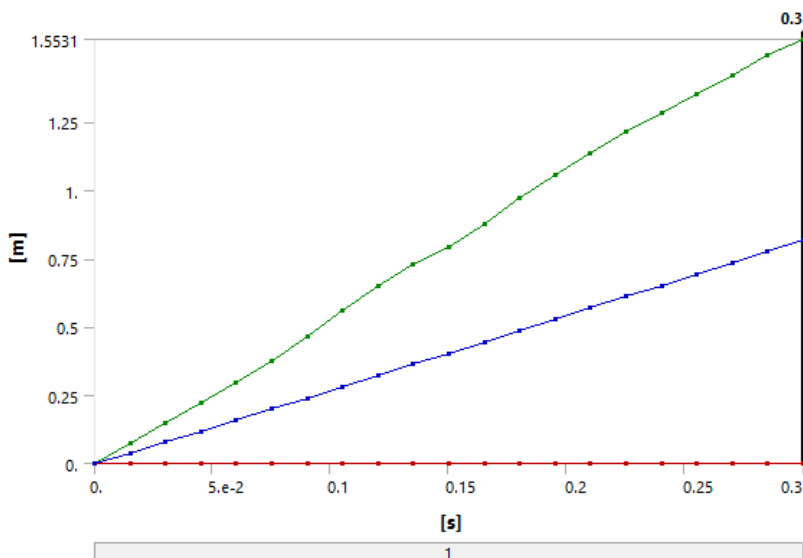


TABLE 18
Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics (B5) > Solution (B6) > Total Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1.1755e-038	0.	0.	0.
1.5002e-002		7.4125e-002	3.9242e-002
3.e-002		0.14668	7.8663e-002
4.5e-002		0.22051	0.11832
6.0001e-002		0.29632	0.15838
7.5001e-002		0.37697	0.19881
9.e-002		0.46584	0.23951
0.105		0.55859	0.28037
0.12		0.64775	0.32147
0.135		0.72764	0.36258
0.15		0.79386	0.40359
0.165		0.87955	0.44471

0.18		0.97132	0.48597
0.195		1.0575	0.52727
0.21		1.1379	0.56873
0.225		1.2129	0.61022
0.24		1.2849	0.65185
0.255		1.3537	0.69362
0.27		1.4231	0.73553
0.285		1.4935	0.77754
0.3		1.5531	0.81971

FIGURE 5
Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics (B5) > Solution (B6) >
Equivalent Stress

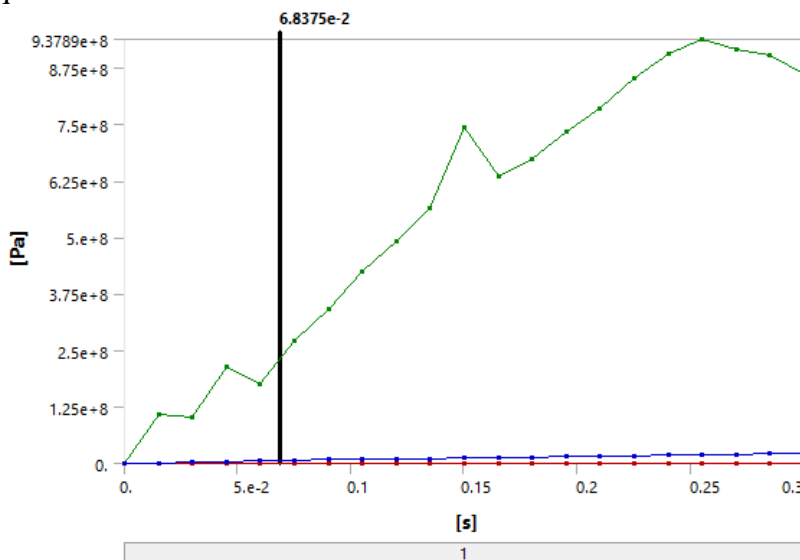


TABLE 19
Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics (B5) > Solution (B6) >
Equivalent Stress

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1.1755e-038	0.	0.	0.
1.5002e-002	0.	1.0974e+008	1.5327e+006
3.e-002	57911	1.0276e+008	2.2116e+006
4.5e-002	68923	2.1361e+008	4.2832e+006
6.0001e-002	1.0815e+005	1.7449e+008	5.2193e+006
7.5001e-002	1.2997e+005	2.7198e+008	6.4614e+006
9.e-002	1.4479e+005	3.3976e+008	8.1546e+006
0.105	1.2601e+005	4.227e+008	8.9726e+006
0.12	1.3839e+005	4.9265e+008	9.6184e+006
0.135	1.0774e+005	5.6409e+008	1.0534e+007
0.15	2.1162e+005	7.447e+008	1.2496e+007
0.165	2.8385e+005	6.3615e+008	1.3166e+007
0.18	1.7372e+005	6.7182e+008	1.4286e+007

0.195	2.063e+005	7.3238e+008	1.5437e+007
0.21	1.9601e+005	7.8521e+008	1.675e+007
0.225	2.3659e+005	8.5075e+008	1.7493e+007
0.24	1.1578e+005	9.0445e+008	1.8651e+007
0.255	1.7002e+005	9.3789e+008	1.9686e+007
0.27	2.1421e+005	9.1485e+008	2.0037e+007
0.285	2.3775e+005	9.0204e+008	2.1052e+007
0.3	1.8372e+005	8.607e+008	2.286e+007

Section 1.04 Explicit Dynamics 2 (A5)

TABLE 20

Model (A4, B4, C4, D4) > Analysis

Object Name	<i>Explicit Dynamics 2 (A5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Explicit Dynamics
Solver Target	AUTODYN
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 21

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 2 (A5) > Initial Conditions

Object Name	<i>Initial Conditions</i>
State	Fully Defined

TABLE 22

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 2 (A5) > Initial Conditions > Initial Condition

Object Name	<i>Pre-Stress (None)</i>	<i>Velocity</i>
State	Fully Defined	
Definition		
Pre-Stress Environment	None	
Pressure Initialization	From Deformed State	
Input Type		Velocity
Define By		Components
Coordinate System		NEW COORDINATE
X Component		0. m/s
Y Component		0. m/s
Z Component		5.25 m/s
Suppressed		No
Scope		
Scoping Method		Geometry Selection
Geometry		1 Body

TABLE 23

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 2 (A5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
-------------	--------------------------

State	Fully Defined
Analysis Settings Preference	
Type	Program Controlled
Step Controls	
Resume From Cycle	0
Maximum Number of Cycles	1e+07
End Time	0.3 s
Maximum Energy Error	0.1
Reference Energy Cycle	0
Initial Time Step	Program Controlled
Minimum Time Step	Program Controlled
Maximum Time Step	Program Controlled
Time Step Safety Factor	0.9
Characteristic Dimension	Diagonals
Automatic Mass Scaling	No
Solver Controls	
Solve Units	mm, mg, ms
Beam Solution Type	Bending
Beam Time Step Safety Factor	0.5
Hex Integration Type	Exact
Shell Sublayers	3
Shell Shear Correction Factor	0.8333
Shell BWC Warp Correction	Yes
Shell Thickness Update	Nodal
Tet Integration	Average Nodal Pressure
Shell Inertia Update	Recompute
Density Update	Program Controlled
Minimum Velocity	1.e-006 m s ⁻¹
Maximum Velocity	1.e+010 m s ⁻¹
Radius Cutoff	1.e-003
Minimum Strain	1.e-010

Rate Cutoff	
Euler Domain Controls	
Domain Size Definition	Program Controlled
Display Euler Domain	Yes
Scope	All Bodies
X Scale factor	1.2
Y Scale factor	1.2
Z Scale factor	1.2
Domain Resolution Definition	Total Cells
Total Cells	2.5e+05
Lower X Face	Flow Out
Lower Y Face	Flow Out
Lower Z Face	Flow Out
Upper X Face	Flow Out
Upper Y Face	Flow Out
Upper Z Face	Flow Out
Euler Tracking	By Body
Damping Controls	
Linear Artificial Viscosity	0.2
Quadratic Artificial Viscosity	1.
Linear Viscosity in Expansion	No
Artificial Viscosity For Shells	Yes
Hourglass Damping	AUTODYN Standard
Viscous Coefficient	0.1
Static Damping	0.
Erosion Controls	
On Geometric Strain Limit	Yes
Geometric Strain Limit	1.5
On Material Failure	No
On Minimum Element Time Step	No
Retain Inertia of Eroded Material	Yes
Output Controls	

Save Results on	Equally Spaced Points
Result Number Of Points	20
Save Restart Files on	Equally Spaced Points
Restart Number Of Points	5
Save Result Tracker Data on	Cycles
Tracker Cycles	1
Output Contact Forces	Off
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	D:\INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER\MMD\PROJECT\TA MAS RONALD\RUNNING ANSYS RONALD\SHIP COLLISION_files\dp0\SYS-1\MECH\
Scratch Solver Files Directory	

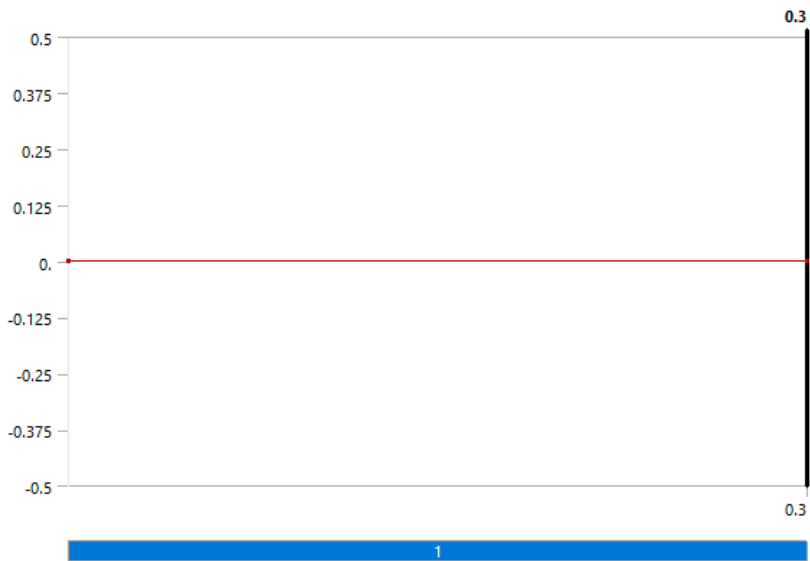
TABLE 24

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 2 (A5) > Loads

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Displacement</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	5 Edges	14 Edges
Definition		
Type	Fixed Support	Displacement
Suppressed	No	
Define By		Components
Coordinate System		NEW COORDINATE
X Component		Free
Y Component		0. m (ramped)
Z Component		Free

FIGURE 6

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 2 (A5) > Displacement



(a) Solution (A6)

TABLE 25

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 2 (A5) > Solution

Object Name	<i>Solution (A6)</i>
State	Solved
Information	
Status	Done
Post Processing	
Beam Section Results	No

TABLE 26

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 2 (A5) > Solution (A6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Energy Summary
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
Display Filter During Solve	Yes

FIGURE 7

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 2 (A5) > Solution (A6) > Solution Information

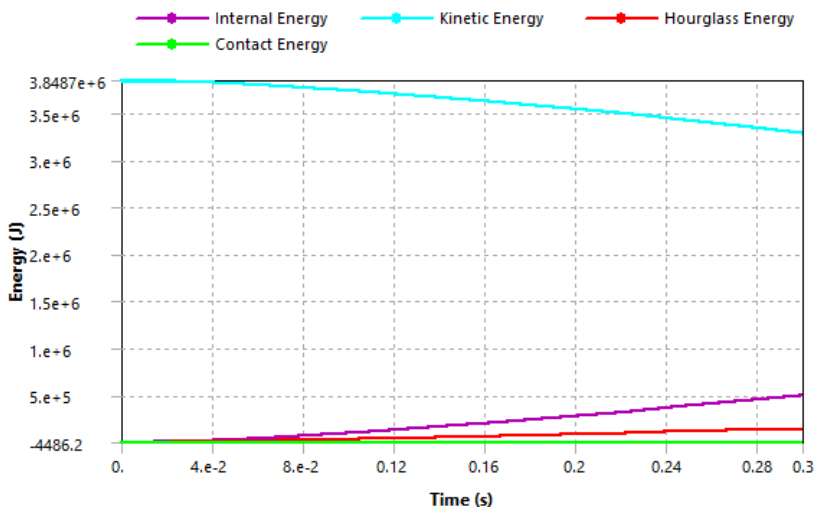


TABLE 27
 Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 2 (A5) > Solution (A6) >
 Results

Object Name	<i>Directional Deformation</i>	<i>Total Deformation</i>	<i>Equivalent Stress</i>
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Position	Top/Bottom		
Definition			
Type	Directional Deformation	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
Orientation	Z Axis		
By	Time		
Display Time	Last		
Coordinate System	NEW COORDINATE		
Calculate Time History	Yes		
Identifier			
Suppressed	No		
Results			
Minimum	-0.3296 m	0. m	1.995e+005 Pa
Maximum	1.5076 m	1.6114 m	7.635e+008 Pa
Average	0.8526 m	0.87945 m	2.3416e+007 Pa
Minimum Occurs On	DSV		TANKER
Maximum Occurs On	TANKER	DSV	
Minimum Value Over Time			
Minimum	-0.3296 m	0. m	0. Pa

Maximum	0. m		2.6778e+005 Pa
Maximum Value Over Time			
Minimum	0. m		0. Pa
Maximum	1.5076 m	1.6114 m	9.5973e+008 Pa
Information			
Time	0.3 s		
Set	21		
Cycle Number	201212		
Integration Point Results			
Display Option			Averaged
Average Across Bodies			No

FIGURE 8
Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 2 (A5) > Solution (A6) > Directional Deformation

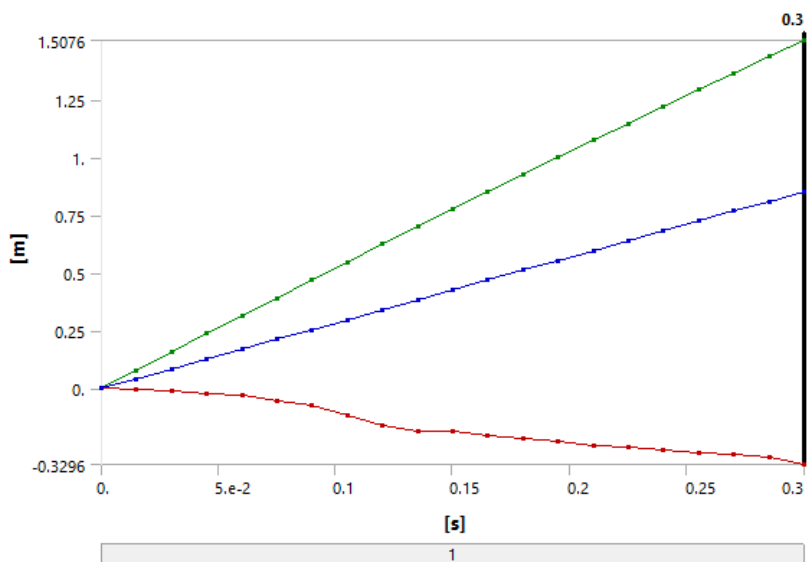


TABLE 28
Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 2 (A5) > Solution (A6) > Directional Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1.1755e-038	0.	0.	0.
1.5e-002	-3.5584e-003	7.9566e-002	4.2097e-002
3.0001e-002	-9.6373e-003	0.15743	8.4321e-002
4.5e-002	-2.2047e-002	0.23667	0.12671
6.0001e-002	-3.0226e-002	0.31424	0.16928
7.5001e-002	-5.1638e-002	0.39215	0.21195
9.0001e-002	-7.4874e-002	0.46985	0.25466
0.105	-0.11982	0.54685	0.29732
0.12	-0.15927	0.62339	0.33999
0.135	-0.18527	0.69966	0.38268

0.15	-0.18572	0.77541	0.42542
0.165	-0.20514	0.85085	0.46831
0.18	-0.21714	0.92598	0.51119
0.195	-0.23064	1.0005	0.55397
0.21	-0.24657	1.0746	0.59665
0.225	-0.25689	1.1483	0.63925
0.24	-0.26627	1.2214	0.68192
0.255	-0.27995	1.2939	0.72464
0.27	-0.28848	1.3657	0.7673
0.285	-0.29792	1.437	0.80996
0.3	-0.3296	1.5076	0.8526

FIGURE 9
Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 2 (A5) > Solution (A6) > Total Deformation

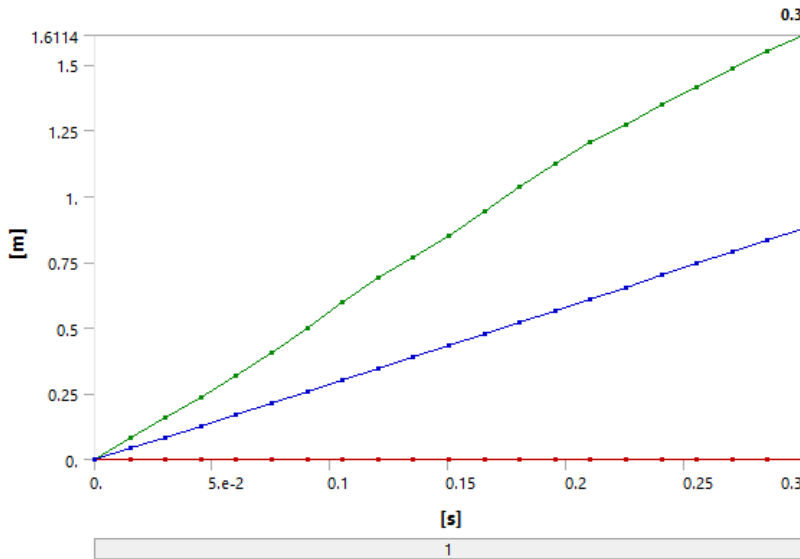


TABLE 29
Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 2 (A5) > Solution (A6) > Total Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1.1755e-038	0.	0.	0.
1.5e-002		7.9571e-002	4.2133e-002
3.0001e-002		0.15743	8.4471e-002
4.5e-002		0.23668	0.12712
6.0001e-002		0.31759	0.17017
7.5001e-002		0.40418	0.21365
9.0001e-002		0.49929	0.25734
0.105		0.59667	0.30117
0.12		0.68841	0.34525
0.135		0.76718	0.38932
0.15		0.84969	0.43326

0.165		0.94315	0.47741
0.18		1.0375	0.5216
0.195		1.1251	0.5658
0.21		1.2033	0.61017
0.225		1.2704	0.65459
0.24		1.347	0.69924
0.255		1.4165	0.74409
0.27		1.4875	0.78909
0.285		1.5487	0.83419
0.3		1.6114	0.87945

FIGURE 10
 Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 2 (A5) > Solution (A6) > Equivalent Stress

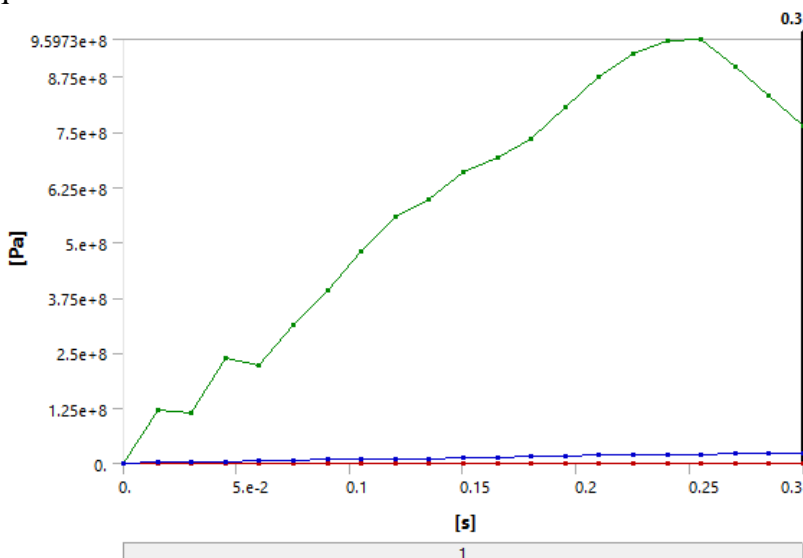


TABLE 30
 Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 2 (A5) > Solution (A6) > Equivalent Stress

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1.1755e-038	0.	0.	0.
1.5e-002	0.	1.1932e+008	1.6505e+006
3.0001e-002	66384	1.1319e+008	2.6526e+006
4.5e-002	1.1742e+005	2.3874e+008	4.4319e+006
6.0001e-002	95449	2.211e+008	5.5823e+006
7.5001e-002	1.3173e+005	3.1467e+008	7.5273e+006
9.0001e-002	1.7099e+005	3.9209e+008	8.9796e+006
0.105	1.9834e+005	4.8128e+008	9.9125e+006
0.12	1.6122e+005	5.5716e+008	1.0643e+007
0.135	1.695e+005	5.9665e+008	1.1371e+007
0.15	1.2483e+005	6.5795e+008	1.3142e+007
0.165	1.7318e+005	6.9296e+008	1.4148e+007

0.18	1.2038e+005	7.3529e+008	1.5322e+007
0.195	1.5735e+005	8.066e+008	1.6896e+007
0.21	1.5848e+005	8.7466e+008	1.8029e+007
0.225	1.7048e+005	9.2693e+008	1.9098e+007
0.24	1.251e+005	9.5584e+008	2.0101e+007
0.255	1.9829e+005	9.5973e+008	2.1023e+007
0.27	2.6778e+005	8.9887e+008	2.1957e+007
0.285	1.969e+005	8.3276e+008	2.2865e+007
0.3	1.995e+005	7.635e+008	2.3416e+007

Section 1.05 Explicit Dynamics 3 (C5)

TABLE 31

Model (A4, B4, C4, D4) > Analysis

Object Name	<i>Explicit Dynamics 3 (C5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Explicit Dynamics
Solver Target	AUTODYN
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 32

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 3 (C5) > Initial Conditions

Object Name	<i>Initial Conditions</i>
State	Fully Defined

TABLE 33

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 3 (C5) > Initial Conditions > Initial Condition

Object Name	<i>Pre-Stress (None)</i>	<i>Velocity</i>
State	Fully Defined	
Definition		
Pre-Stress Environment	None	
Pressure Initialization	From Deformed State	
Input Type		Velocity
Define By		Components
Coordinate System		NEW COORDINATE
X Component		0. m/s
Y Component		0. m/s
Z Component		2.57 m/s
Suppressed		No
Scope		
Scoping Method		Geometry Selection
Geometry		1 Body

TABLE 34

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 3 (C5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Analysis Settings Preference	
Type	Program Controlled
Step Controls	
Resume From Cycle	0
Maximum Number of Cycles	1e+07
End Time	0.3 s
Maximum Energy Error	0.1
Reference Energy Cycle	0
Initial Time Step	Program Controlled
Minimum Time Step	Program Controlled
Maximum Time Step	Program Controlled
Time Step Safety Factor	0.9
Characteristic Dimension	Diagonals
Automatic Mass Scaling	No
Solver Controls	
Solve Units	mm, mg, ms
Beam Solution Type	Bending
Beam Time Step Safety Factor	0.5
Hex Integration Type	Exact
Shell Sublayers	3
Shell Shear Correction Factor	0.8333
Shell BWC Warp Correction	Yes
Shell Thickness Update	Nodal
Tet Integration	Average Nodal Pressure
Shell Inertia Update	Recompute
Density Update	Program Controlled
Minimum Velocity	1.e-006 m s ⁻¹
Maximum Velocity	1.e+010 m s ⁻¹
Radius Cutoff	1.e-003

Minimum Strain Rate Cutoff	1.e-010
Euler Domain Controls	
Domain Size Definition	Program Controlled
Display Euler Domain	Yes
Scope	All Bodies
X Scale factor	1.2
Y Scale factor	1.2
Z Scale factor	1.2
Domain Resolution Definition	Total Cells
Total Cells	2.5e+05
Lower X Face	Flow Out
Lower Y Face	Flow Out
Lower Z Face	Flow Out
Upper X Face	Flow Out
Upper Y Face	Flow Out
Upper Z Face	Flow Out
Euler Tracking	By Body
Damping Controls	
Linear Artificial Viscosity	0.2
Quadratic Artificial Viscosity	1.
Linear Viscosity in Expansion	No
Artificial Viscosity For Shells	Yes
Hourglass Damping	AUTODYN Standard
Viscous Coefficient	0.1
Static Damping	0.
Erosion Controls	
On Geometric Strain Limit	Yes
Geometric Strain Limit	1.5
On Material Failure	No
On Minimum Element Time Step	No
Retain Inertia of Eroded Material	Yes

Output Controls	
Save Results on	Equally Spaced Points
Result Number Of Points	20
Save Restart Files on	Equally Spaced Points
Restart Number Of Points	5
Save Result Tracker Data on	Cycles
Tracker Cycles	1
Output Contact Forces	Off
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	D:\INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER\MMD\PROJECT\TA MAS RONALD\RUNNING ANSYS RONALD\SHIP COLLISION_files\dp0\SYS-2\MECH\
Scratch Solver Files Directory	

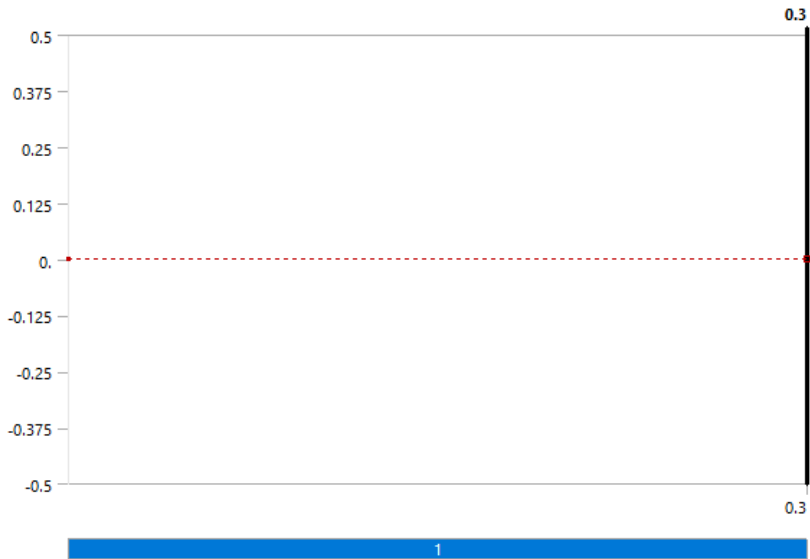
TABLE 35

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 3 (C5) > Loads

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Displacement</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	5 Edges	14 Edges
Definition		
Type	Fixed Support	Displacement
Suppressed	No	
Define By		Components
Coordinate System		NEW COORDINATE
X Component		Free
Y Component		0. m (step applied)
Z Component		Free

FIGURE 11

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 3 (C5) > Displacement



(a) Solution (C6)

TABLE 36

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 3 (C5) > Solution

Object Name	<i>Solution (C6)</i>
State	Solved
Information	
Status	Done
Post Processing	
Beam Section Results	No

TABLE 37

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 3 (C5) > Solution (C6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Energy Summary
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
Display Filter During Solve	Yes

FIGURE 12

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 3 (C5) > Solution (C6) > Solution Information

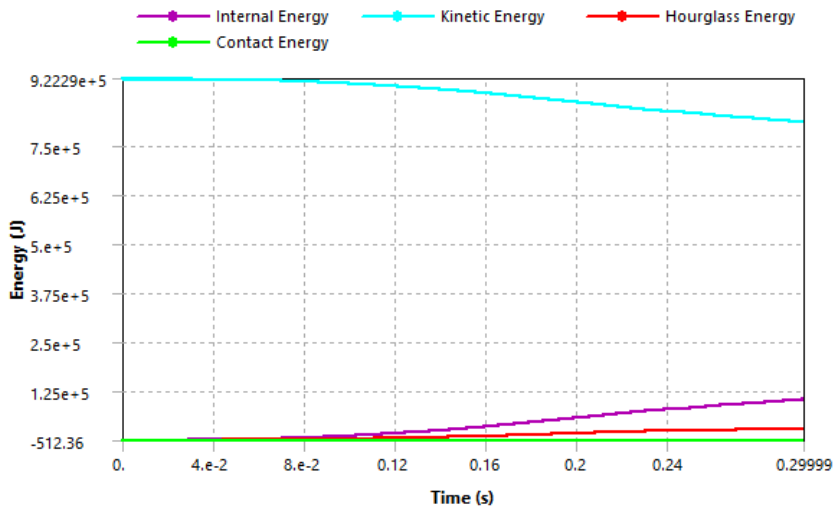


TABLE 38
Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 3 (C5) > Solution (C6) >
Results

Object Name	<i>Directional Deformation</i>	<i>Total Deformation</i>	<i>Equivalent Stress</i>
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Position	Top/Bottom		
Definition			
Type	Directional Deformation	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
Orientation	Z Axis		
By	Time		
Display Time	Last		
Coordinate System	NEW COORDINATE		
Calculate Time History	Yes		
Identifier			
Suppressed	No		
Results			
Minimum	-0.24659 m	0. m	78655 Pa
Maximum	0.7437 m	0.91001 m	1.0226e+009 Pa
Average	0.41602 m	0.42919 m	1.1968e+007 Pa
Minimum Occurs On	DSV		TANKER
Maximum Occurs On	TANKER	DSV	TANKER
Minimum Value Over Time			
Minimum	-0.24659 m	0. m	0. Pa

Maximum	0. m		80525 Pa
Maximum Value Over Time			
Minimum	0. m		0. Pa
Maximum	0.7437 m	0.91001 m	1.0226e+009 Pa
Information			
Time	0.3 s		
Set	21		
Cycle Number	200985		
Integration Point Results			
Display Option			Averaged
Average Across Bodies			No

FIGURE 13

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 3 (C5) > Solution (C6) > Directional Deformation

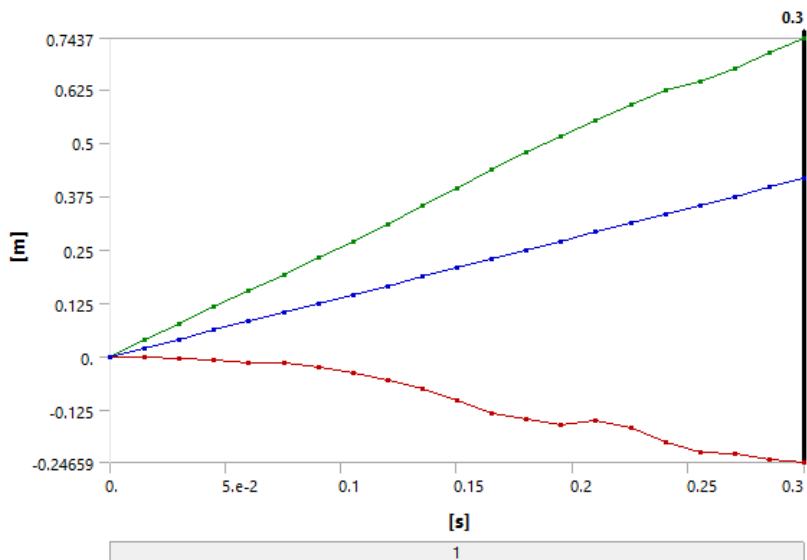


TABLE 39

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 3 (C5) > Solution (C6) > Directional Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1.1755e-038	0.	0.	0.
1.5001e-002	-9.2291e-004	3.8872e-002	2.0583e-002
3.0001e-002	-3.3428e-003	7.7187e-002	4.1238e-002
4.5001e-002	-8.8145e-003	0.11564	6.1934e-002
6.0001e-002	-1.3394e-002	0.15404	8.268e-002
7.5001e-002	-1.5715e-002	0.19255	0.10345
9.0001e-002	-2.495e-002	0.23096	0.12427
0.105	-3.865e-002	0.26897	0.14512
0.12	-5.4222e-002	0.30987	0.16598
0.135	-7.389e-002	0.35138	0.18683

0.15	-0.10305	0.39384	0.20765
0.165	-0.13115	0.43704	0.22851
0.18	-0.14663	0.47764	0.24941
0.195	-0.15815	0.5151	0.27033
0.21	-0.14818	0.55244	0.29126
0.225	-0.16592	0.58947	0.31216
0.24	-0.20023	0.62319	0.33305
0.255	-0.22141	0.6432	0.35378
0.27	-0.22518	0.67427	0.37454
0.285	-0.24133	0.70843	0.39528
0.3	-0.24659	0.7437	0.41602

FIGURE 14
Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 3 (C5) > Solution (C6) > Total Deformation

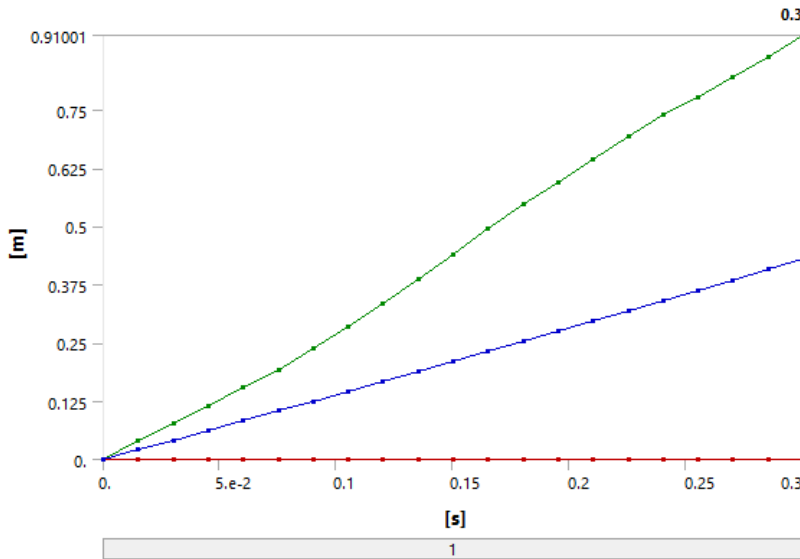


TABLE 40
Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 3 (C5) > Solution (C6) > Total Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1.1755e-038	0.	0.	0.
1.5001e-002		3.8873e-002	2.0588e-002
3.0001e-002		7.7187e-002	4.1278e-002
4.5001e-002		0.11564	6.2042e-002
6.0001e-002		0.15404	8.2892e-002
7.5001e-002		0.19255	0.10382
9.0001e-002		0.23856	0.12489
0.105		0.28542	0.14612
0.12		0.33472	0.16756
0.135		0.3861	0.18917
0.15		0.43972	0.21092

0.165		0.49515	0.23276
0.18		0.54756	0.25455
0.195		0.59562	0.27627
0.21		0.64384	0.29798
0.225		0.692	0.31971
0.24		0.73829	0.34151
0.255		0.77669	0.36334
0.27		0.82089	0.38529
0.285		0.86274	0.40724
0.3		0.91001	0.42919

FIGURE 15
Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 3 (C5) > Solution (C6) >
Equivalent Stress

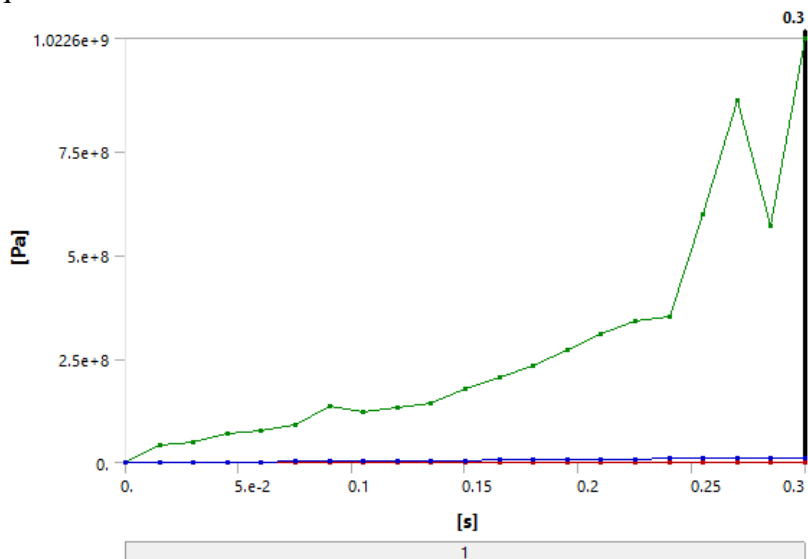


TABLE 41
Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 3 (C5) > Solution (C6) >
Equivalent Stress

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1.1755e-038	0.	0.	0.
1.5001e-002	0.	4.0519e+007	7.7788e+005
3.0001e-002	23325	5.0348e+007	1.0107e+006
4.5001e-002	28732	6.9853e+007	1.2388e+006
6.0001e-002	44687	7.5227e+007	1.5474e+006
7.5001e-002	27275	8.9627e+007	2.075e+006
9.0001e-002	35831	1.3666e+008	2.6123e+006
0.105	56523	1.2037e+008	3.1116e+006
0.12	44446	1.3089e+008	3.6366e+006
0.135	51190	1.4337e+008	4.4616e+006
0.15	49325	1.7704e+008	5.1709e+006
0.165	63839	2.0359e+008	5.8383e+006

0.18	46954	2.3147e+008	6.4968e+006
0.195	43079	2.6996e+008	7.1231e+006
0.21	47155	3.0919e+008	7.6446e+006
0.225	80525	3.421e+008	8.3838e+006
0.24	58710	3.5132e+008	8.807e+006
0.255	68145	5.9778e+008	1.0175e+007
0.27	75298	8.7319e+008	1.0375e+007
0.285	69043	5.6874e+008	1.1132e+007
0.3	78655	1.0226e+009	1.1968e+007

Section 1.06 Explicit Dynamics 4 (D5)

TABLE 42

Model (A4, B4, C4, D4) > Analysis

Object Name	<i>Explicit Dynamics 4 (D5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Explicit Dynamics
Solver Target	AUTODYN
Options	
Environment Temperature	22. °C
Generate Input Only	No

TABLE 43

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 4 (D5) > Initial Conditions

Object Name	<i>Initial Conditions</i>
State	Fully Defined

TABLE 44

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 4 (D5) > Initial Conditions > Initial Condition

Object Name	<i>Pre-Stress (None)</i>	<i>Velocity</i>
State	Fully Defined	
Definition		
Pre-Stress Environment	None	
Pressure Initialization	From Deformed State	
Input Type		Velocity
Define By		Components
Coordinate System		NEW COORDINATE
X Component		0. m/s
Y Component		0. m/s
Z Component		1.54 m/s
Suppressed		No
Scope		
Scoping Method		Geometry Selection
Geometry		1 Body

TABLE 45

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 4 (D5) > Analysis Settings

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
Analysis Settings Preference	
Type	Program Controlled
Step Controls	
Resume From Cycle	0
Maximum Number of Cycles	1e+07
End Time	0.3 s
Maximum Energy Error	0.1
Reference Energy Cycle	0
Initial Time Step	Program Controlled
Minimum Time Step	Program Controlled
Maximum Time Step	Program Controlled
Time Step Safety Factor	0.9
Characteristic Dimension	Diagonals
Automatic Mass Scaling	No
Solver Controls	
Solve Units	mm, mg, ms
Beam Solution Type	Bending
Beam Time Step Safety Factor	0.5
Hex Integration Type	Exact
Shell Sublayers	3
Shell Shear Correction Factor	0.8333
Shell BWC Warp Correction	Yes
Shell Thickness Update	Nodal
Tet Integration	Average Nodal Pressure
Shell Inertia Update	Recompute
Density Update	Program Controlled
Minimum Velocity	1.e-006 m s ⁻¹
Maximum Velocity	1.e+010 m s ⁻¹
Radius Cutoff	1.e-003

Minimum Strain Rate Cutoff	1.e-010
Euler Domain Controls	
Domain Size Definition	Program Controlled
Display Euler Domain	Yes
Scope	All Bodies
X Scale factor	1.2
Y Scale factor	1.2
Z Scale factor	1.2
Domain Resolution Definition	Total Cells
Total Cells	2.5e+05
Lower X Face	Flow Out
Lower Y Face	Flow Out
Lower Z Face	Flow Out
Upper X Face	Flow Out
Upper Y Face	Flow Out
Upper Z Face	Flow Out
Euler Tracking	By Body
Damping Controls	
Linear Artificial Viscosity	0.2
Quadratic Artificial Viscosity	1.
Linear Viscosity in Expansion	No
Artificial Viscosity For Shells	Yes
Hourglass Damping	AUTODYN Standard
Viscous Coefficient	0.1
Static Damping	0.
Erosion Controls	
On Geometric Strain Limit	Yes
Geometric Strain Limit	1.5
On Material Failure	No
On Minimum Element Time Step	No
Retain Inertia of Eroded Material	Yes

Output Controls	
Save Results on	Equally Spaced Points
Result Number Of Points	20
Save Restart Files on	Equally Spaced Points
Restart Number Of Points	5
Save Result Tracker Data on	Cycles
Tracker Cycles	1
Output Contact Forces	Off
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	D:\INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER\MMD\PROJECT\TA MAS RONALD\RUNNING ANSYS RONALD\SHIP COLLISION_files\dp0\SYS-3\MECH\
Scratch Solver Files Directory	

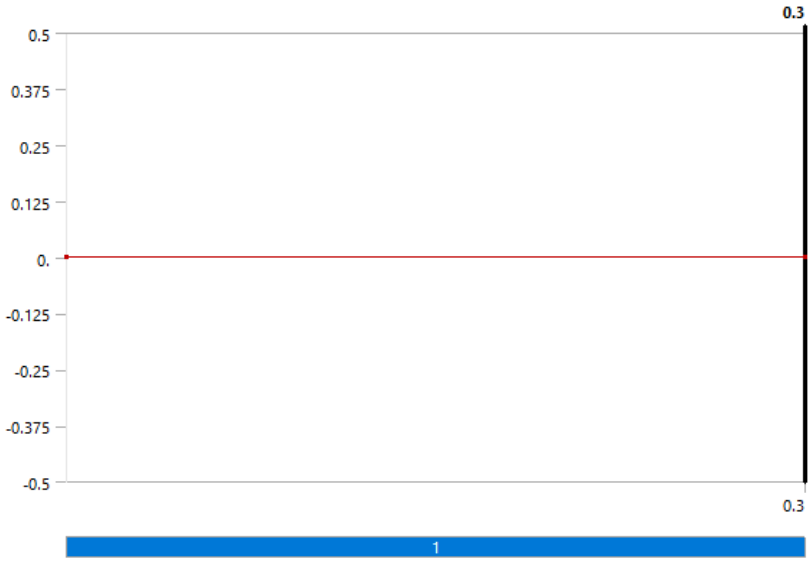
TABLE 46

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 4 (D5) > Loads

Object Name	<i>Fixed Support</i>	<i>Displacement</i>
State	Fully Defined	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	5 Edges	14 Edges
Definition		
Type	Fixed Support	Displacement
Suppressed	No	
Define By		Components
Coordinate System		NEW COORDINATE
X Component		Free
Y Component		0. m (ramped)
Z Component		Free

FIGURE 16

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 4 (D5) > Displacement



(a) Solution (D6)

TABLE 47

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 4 (D5) > Solution

Object Name	<i>Solution (D6)</i>
State	Solved
Information	
Status	Done
Post Processing	
Beam Section Results	No

TABLE 48

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 4 (D5) > Solution (D6) > Solution Information

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Energy Summary
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
Display Filter During Solve	Yes

FIGURE 17

Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 4 (D5) > Solution (D6) > Solution Information

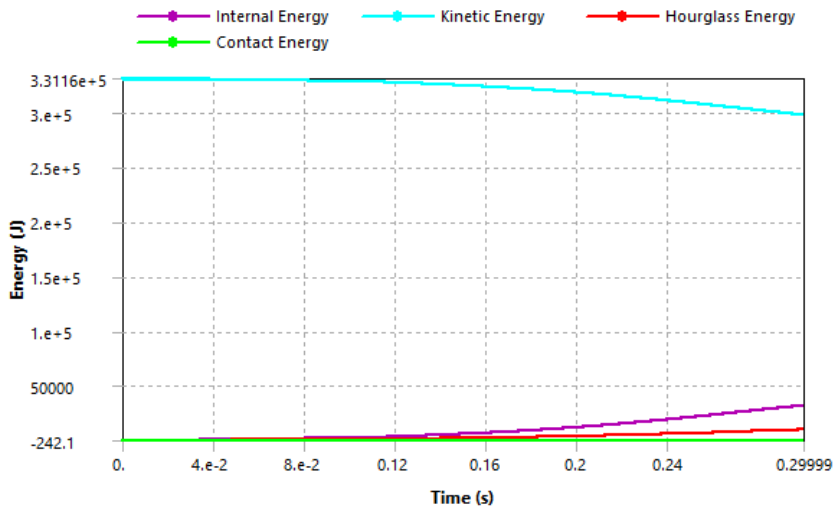


TABLE 49
 Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 4 (D5) > Solution (D6) >
 Results

Object Name	<i>Directional Deformation</i>	<i>Total Deformation</i>	<i>Equivalent Stress</i>
State	Solved		
Scope			
Scoping Method	Geometry Selection		
Geometry	All Bodies		
Position	Top/Bottom		
Definition			
Type	Directional Deformation	Total Deformation	Equivalent (von-Mises) Stress
Orientation	Z Axis		
By	Time		
Display Time	Last		
Coordinate System	NEW COORDINATE		
Calculate Time History	Yes		
Identifier			
Suppressed	No		
Results			
Minimum	-0.14258 m	0. m	29522 Pa
Maximum	0.48712 m	0.57004 m	1.6455e+008 Pa
Average	0.24877 m	0.25578 m	5.5308e+006 Pa
Minimum Occurs On	DSV		TANKER
Maximum Occurs On	DSV		
Minimum Value Over Time			
Minimum	-0.14258 m	0. m	0. Pa

Maximum	0. m		57893 Pa
Maximum Value Over Time			
Minimum	0. m		0. Pa
Maximum	0.48712 m	0.57004 m	1.6455e+008 Pa
Information			
Time	0.3 s		
Set	21		
Cycle Number	201247		
Integration Point Results			
Display Option			Averaged
Average Across Bodies			No

FIGURE 18
 Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 4 (D5) > Solution (D6) > Directional Deformation

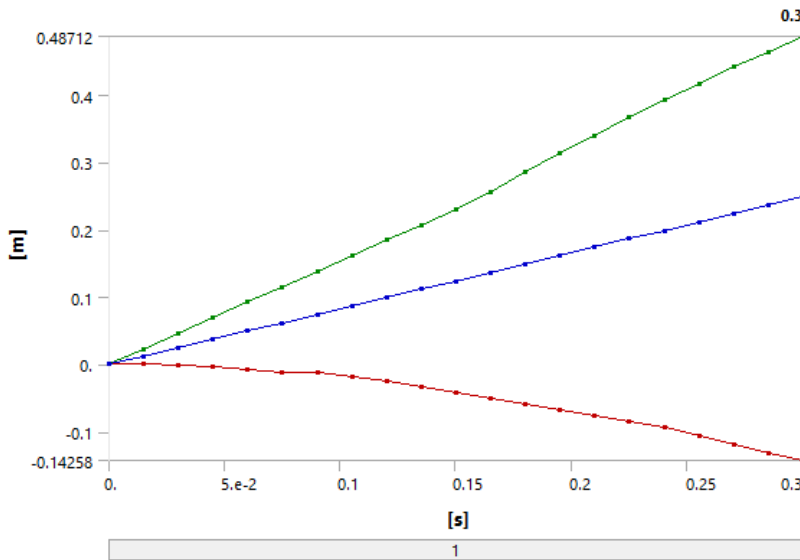


TABLE 50
 Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 4 (D5) > Solution (D6) > Directional Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1.1755e-038	0.	0.	0.
1.5001e-002		2.3101e-002	1.2335e-002
3.e-002	-1.5891e-003	4.6464e-002	2.4689e-002
4.5001e-002	-3.9677e-003	6.9331e-002	3.7076e-002
6.0001e-002	-7.2342e-003	9.2401e-002	4.9491e-002
7.5e-002	-1.1051e-002	0.11543	6.1922e-002
9.e-002	-1.2925e-002	0.13829	7.4358e-002
0.105	-1.8523e-002	0.16131	8.6781e-002
0.12	-2.4861e-002	0.18442	9.9197e-002
0.135	-3.3536e-002	0.20714	0.11163

0.15	-4.1252e-002	0.22992	0.12406
0.165	-5.0471e-002	0.25591	0.13651
0.18	-5.9229e-002	0.28656	0.14898
0.195	-6.7602e-002	0.31331	0.16146
0.21	-7.7046e-002	0.33984	0.17394
0.225	-8.5509e-002	0.36694	0.18643
0.24	-9.2589e-002	0.39243	0.19891
0.255	-0.10608	0.41714	0.21137
0.27	-0.11909	0.44108	0.22383
0.285	-0.13183	0.46365	0.23631
0.3	-0.14258	0.48712	0.24877

FIGURE 19
Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 4 (D5) > Solution (D6) > Total Deformation

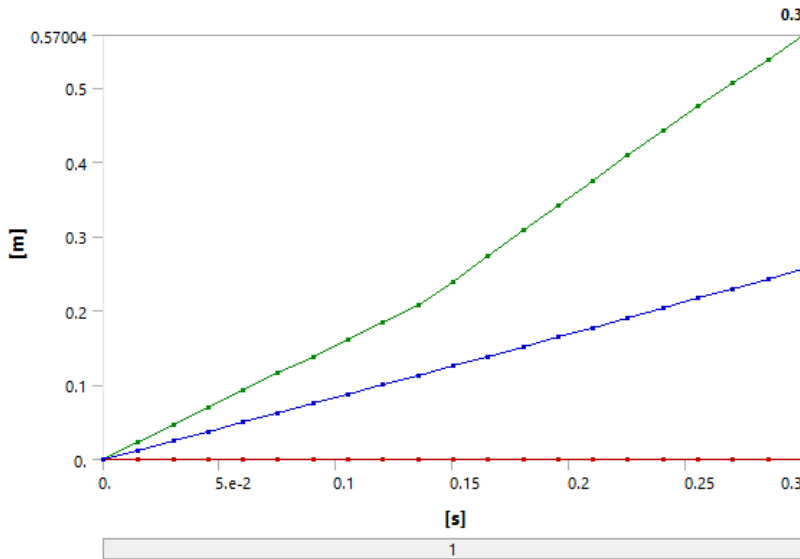


TABLE 51
Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 4 (D5) > Solution (D6) > Total Deformation

Time [s]	Minimum [m]	Maximum [m]	Average [m]
1.1755e-038	0.	0.	0.
1.5001e-002		2.3101e-002	1.2335e-002
3.e-002		4.6465e-002	2.4702e-002
4.5001e-002		6.9331e-002	3.7114e-002
6.0001e-002		9.2401e-002	4.958e-002
7.5e-002		0.11543	6.2095e-002
9.e-002		0.13829	7.4667e-002
0.105		0.16131	8.7284e-002
0.12		0.18442	9.9935e-002
0.135		0.20714	0.11266
0.15		0.2391	0.12545

0.165		0.27407	0.13831
0.18		0.3086	0.15123
0.195		0.34138	0.16422
0.21		0.37453	0.17724
0.225		0.40896	0.19028
0.24		0.44202	0.20338
0.255		0.47453	0.21649
0.27		0.50669	0.22958
0.285		0.53767	0.24268
0.3		0.57004	0.25578

FIGURE 20
 Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 4 (D5) > Solution (D6) >
 Equivalent Stress

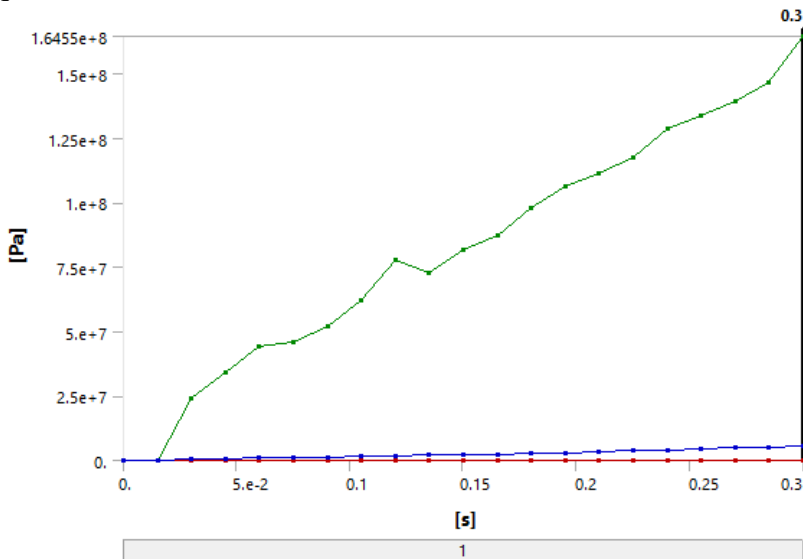


TABLE 52
 Model (A4, B4, C4, D4) > Explicit Dynamics 4 (D5) > Solution (D6) >
 Equivalent Stress

Time [s]	Minimum [Pa]	Maximum [Pa]	Average [Pa]
1.1755e-038	0.	0.	0.
1.5001e-002			
3.e-002			
4.5001e-002	25175	3.4408e+007	6.8309e+005
6.0001e-002	16497	4.4165e+007	8.5631e+005
7.5e-002	29899	4.6059e+007	1.0693e+006
9.e-002	29925	5.2176e+007	1.2497e+006
0.105	31966	6.2169e+007	1.4196e+006
0.12	18275	7.7855e+007	1.7567e+006
0.135	27979	7.2937e+007	1.994e+006
0.15	57893	8.1912e+007	2.2664e+006
0.165	25500	8.7587e+007	2.499e+006

0.18	26828	9.7879e+007	2.8374e+006
0.195	22805	1.0633e+008	2.9475e+006
0.21	31399	1.1129e+008	3.3415e+006
0.225	22498	1.1743e+008	3.7286e+006
0.24	17217	1.2851e+008	4.1657e+006
0.255	24509	1.3389e+008	4.5638e+006
0.27	24989	1.3931e+008	4.8423e+006
0.285	23793	1.4683e+008	5.1663e+006
0.3	29522	1.6455e+008	5.5308e+006

Section 1.07 Material Data

(a) Structural Steel

TABLE 53

Structural Steel > Constants

Density	7850 kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C ⁻¹
Specific Heat Constant Pressure	434 J kg ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Thermal Conductivity	60.5 W m ⁻¹ C ⁻¹
Isotropic Resistivity	1.7e-007 ohm m

TABLE 54

Structural Steel > Color

Red	Green	Blue
132	139	179

TABLE 55

Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength Pa
0

TABLE 56

Structural Steel > Compressive Yield Strength

Compressive Yield Strength Pa
2.5e+008

TABLE 57

Structural Steel > Tensile Yield Strength

Tensile Yield Strength Pa
2.5e+008

TABLE 58

Structural Steel > Tensile Ultimate Strength

Tensile Ultimate Strength Pa
4.6e+008

TABLE 59

Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion

Zero-Thermal-Strain Reference Temperature C
22

TABLE 60

Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
3.999e+009	10	0
2.827e+009	20	0
1.896e+009	50	0
1.413e+009	100	0
1.069e+009	200	0
4.41e+008	2000	0
2.62e+008	10000	0
2.14e+008	20000	0
1.38e+008	1.e+005	0
1.14e+008	2.e+005	0
8.62e+007	1.e+006	0

TABLE 61
Structural Steel > Strain-Life Parameters

Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent
9.2e+008	-0.106	0.213	-0.47	1.e+009	0.2

TABLE 62
Structural Steel > Isotropic Elasticity

Temperature C	Young's Modulus Pa	Poisson's Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa
	2.e+011	0.3	1.6667e+011	7.6923e+010

TABLE 63
Structural Steel > Isotropic Relative Permeability

Relative Permeability
10000

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Ronald Lucas Pratama yang lahir di Kabupaten Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur pada tanggal 26 Februari 1998. Penulis merupakan putra pertama dari pasangan Roni dan Rina Susanti. Penulis memulai jenjang sekolah di SD Negeri 1 Rogojampi (2003 – 2009), SMP Negeri 1 Rogojampi (2009 – 2012), dan SMA Negeri 1 Rogojampi (2012 – 2015). Selepas SMA, penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknolgi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, diterima melalui jalur SNMPTN dan mendapatkan Beasiswa Bidikmisi pada tahun 2015. Selama menjalani perkuliahan, penulis aktif mengikuti beberapa kegiatan dan organisasi baik di dalam kampus maupun di luar kampus. Penulis aktif mengikuti Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Korp Sukarela Palang Merah Indonesia Institut Teknologi Sepuluh Nopember (KSR PMI ITS) dan pernah menjabat menjadi ketua UKM (komandan) pada tahun 2017. Penulis juga aktif di kegiatan luar kampus seperti perkumpulan Keluarga Mahasiswa Surabaya Alumni SMAN 1 Rogojampi (KASUARI) dan penulis merupakan salah satu pencetus terbentuknya perkumpulan ini yang bertujuan untuk membantu para pelajar maupun alumni dari sekolah asal penulis yang ingin menempuh jenjang pendidikan lebih tinggi di Surabaya, serta penulis juga menjadi ketua pertama di perkumpulan ini pada tahun 2016 – 2018. Penulis juga telah meraih beberapa prestasi di bidang non-akademik seperti pernah meraih juara umum di ajang Temu Sukarelawan PMI Kota Malang pada Tahun 2016. Penulis juga pernah mendapat kesempatan melaksanakan kerja praktek di PT. Dok Perkapalan Surabaya dan PT. Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore.