

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN *CONCRETE*
MATRESSES PADA PIPA BAWAH LAUT**

Disusun dan diajukan oleh:

**RISAL
D081 19 1006**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN CONCRETE
MATRESSES PADA PIPA BAWAH LAUT**

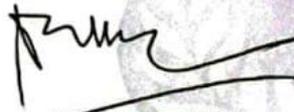
Disusun dan diajukan oleh

Risal
D081 19 1006

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana pada Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 29/08/2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Ir. Juswan, MT.
NIP. 19621231 198903 1031

Pembimbing Pendamping,



Fuad Mahfud Assidiq, ST., MT.
NIP. 19950929 202101 5001

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.
NIP. 19750605 200212 1003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;
Nama : Risal
NIM : D081 19 1006
Program Studi : Teknik Kelautan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

(Analisis Pengaruh Penggunaan *Concrete Mattresses* Pada Pipa Bawah Laut)

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 16 Juli 2023

Yang Menyatakan,



Risal
D081 19 1006

ABSTRAK

RISAL. Analisis Pengaruh Penggunaan *Concrete Mattresses* Pada Pipa Bawah Laut. (dibimbing oleh **Ir.H.Juswan, MT.** dan **Fuad Mahfud Assidiq, ST., MT.**).

Kebocoran pipa migas di bawah laut akan menyebabkan terjadinya pencemaran dan mengancam ekosistem yang ada di laut, Kerusakan pipa bawah laut yang disebabkan oleh jangkar memiliki persentase yang cukup besar, oleh karena itu dibutuhkan upaya pencegahan yang baik agar tidak terjadi kebocoran yang memberikan dampak negatif terhadap lingkungan dan ekonomi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana perbandingan kekuatan antara pipa yang menggunakan pelindung *concrete mattresses* dengan pipa tanpa pelindung *concrete mattresses* apabila terkena jangkar kapal. Penelitian ini menggunakan simulasi explicit dynamic dengan menggunakan software *Finite Element Method*, Berdasarkan analisis *explicit dynamic* diperoleh nilai deformasi dan nilai *equivalent stress* setelah terkena jangkar dengan kecepatan 5,491 m/s Untuk pipa tanpa pelindung mengalami kerusakan yang signifikan, bila dilihat dari nilai deformasi yang didapatkan yaitu sebesar 0,143 m sedangkan untuk model pipa dengan pelindung diperoleh nilai deformasi sebesar 0,0769 m untuk model pelindung 1, untuk model pelindung 2 sebesar 0,03 m, untuk model pelindung 3 sebesar 0,017 m dan untuk model 4 sebesar 0,004 m. Untuk pipa dengan pelindung hanya model pelindung 1 yang nilai deformasinya berada di atas nilai maksimum yang telah ditentukan yaitu 10% dari besarnya nilai diameter dan bila dilihat dari nilai *equivalent stress*, untuk pipa tanpa pelindung nilai *equivalent stress* yang diperoleh yaitu 1.150 MPa, untuk model pelindung 1 sebesar 240 MPa, untuk model pelindung 2 yaitu 183 MPa, untuk model pelindung 3 yaitu 129 MPa dan untuk model pelindung 4 yaitu 85,5 MPa, Untuk semua model pipa yang menggunakan pelindung, nilai *equivalent stress* yang diperoleh semuanya berada di bawah 780 MPa yang berarti penggunaan pelindung pipa cukup efektif dalam mengurangi kerusakan yang terjadi pada pipa.

Kata Kunci: *Concrete Mattresses*, Deformasi, *Equivalent Stress*, *Explicit Dynamic*

ABSTRAK

RISAL. Analysis of the Effect of Using Concrete Mattresses on Subsea Pipelines. (Supervised by Ir.H.Juswan, MT. dan Fuad Mahfud Assidiq, ST., MT.).

Oil and gas pipeline leaks under the sea will cause pollution and threaten the ecosystem in the sea, damage to submarine pipes caused by anchors has a large enough percentage, therefore good prevention efforts are needed to prevent leaks that have a negative impact on the environment and economy. The purpose of this study is to determine how the strength comparison between pipes using concrete mattresses protection and pipes without concrete mattresses protection when exposed to ship anchors. This study uses explicit dynamic simulation using Finite Element Method software, Based on explicit dynamic analysis, the deformation value and equivalent stress value obtained after being hit by an anchor with a speed of 5.491 m / s for pipes without protection are significantly damaged, when viewed from the deformation value obtained, which is 0.143 m, while for the pipe model with a protector, a deformation value of 0.0769 m is obtained for protective model 1, for protective model 2 of 0.03 m, for protective model 3 of 0.017 m and for model 4 of 0.004 m. For pipes with protectors, only protective model 1 whose deformation value is above the predetermined maximum value of 10% of the diameter value and when viewed from the equivalent stress value, for pipes without protectors the equivalent stress value obtained is 1.150 MPa, for protective model 1 is 240 MPa, for protective model 2 is 183 MPa, for protective model 3 is 129 MPa and for protective model 4 is 85.5 MPa, For all pipe models that use protectors, the equivalent stress values obtained are all below 780 MPa which means that the use of pipe protectors is quite effective in reducing damage to the pipe.

Kata Kunci: Concrete mattresses, Deformation, Equivalent Stress, Explicit Dynamic

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	ix
KATA PENGANTAR	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Gas Bumi.....	4
2.2. Terjadinya Minyak dan Gas Bumi	4
2.3. Potensi Gas Bumi di Indonesia	4
2.4. Kebutuhan dan Produksi Gas Bumi di Indonesia	5
2.5. Sistem <i>Pipeline</i>	6
2.6. Kerusakan yang sering terjadi pada <i>pipeline</i>	7
2.7. Analisa Konsekuensi /kerusakan yang terjadi pada pipa.....	9
2.8. Klasifikasi Tingkat Kerusakan	11
2.9. <i>Concrete Matresses</i>	13
2.10. Simulasi ANSYS.....	17
BAB III METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Lokasi Penelitian.....	19
3.2 Sumber data	19
3.3 Jenis data	19
3.4 Metode Pengumpulan Data	19
3.5 Penyajian Data	19

3.6 Analisis Data.....	23
3.7 Diagram Alir.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Analisis Perhitungan <i>Impact Energi</i> Pada Jangkar Ketika Dijatuhkan	26
4.2 Pemodelan pelindung pipa Menggunakan Software Rhinoceros.....	26
4.3 Analisis deformasi pada pipa	28
4.4 Analisis Menggunakan Software ANSYS	28
4.5 Analisis Konsekuensi <i>Dropped Anchor</i>	33
4.6 Penggunaan <i>Concrete Matresses</i>	35
4.7 Variasi Nilai Kecepatan.....	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	40
5.1 Kesimpulan.....	40
5.2 Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA.....	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Penyebab terjadinya kerusakan pada pipa bawah laut.....	2
Gambar 2.1 Peta sebaran Cadangan Gas Bumi di Indonesia.....	5
Gambar 2.2 Model prediksi penyok	11
Gambar 2.3 Matras beton Bi-Flex.....	14
Gambar 2.4 Matras beton Bi-Flex N2 Edge	14
Gambar 2.5 Matras beton Uni-Flex.....	15
Gambar 2.6 Proses pembuatan matras beton	15
Gambar 2.7 Proses pengangkutan menuju lokasi pemasangan / intalasi	16
Gambar 2.8 Proses instalasi.....	17
Gambar 3.1 Rute pemasangan pipa dari Pulau Pemping ke Tanjung Uncam Batam.....	20
Gambar 3.2 Peta batimetri Tanjung Uncang.....	22
Gambar 3.3 <i>Concerete mattresses</i> sebagai pelindung pipa.....	22
Gambar 3. 4 Model yang akan diteliti,.....	23
Gambar 3.5 Diagram Alir	25
Gambar 4.1 Model 1	27
Gambar 4.2 Model 2.....	27
Gambar 4.3 Model 3.....	27
Gambar 4.4 Model 4.....	28
Gambar 4.5 Model 1 (Pipa Tanpa Pelindung).....	29
Gambar 4.6 Model dengan tebal 15 cm	29
Gambar 4.7 Model dengan tebal 20cm.....	30
Gambar 4.8 Model dengan tebal 25 cm	30
Gambar 4.9 Model dengan tebal 30 cm	30
Gambar 4.10 Tampilan <i>Engineering Data</i>	31
Gambar 4.11 Mengatur material tiap model.....	31
Gambar 4.12 Proses <i>meshing</i>	32
Gambar 4.13 Model di ANSYS	32
Gambar 4.14 Hasil simulasi (a) <i>Deformation</i> (b). <i>Equivalent stress</i>	32
Gambar 4.15 Nilai deformasi berdasarkan analisis dan hasil software	34
Gambar 4.16 Nilai deformasi untuk semua model yang diuji.....	36
Gambar 4.17 Nilai <i>equivalent stress</i> untuk semua model yang diuji.....	37
Gambar 4.18 Nilai deformasi untuk semua model yang diuji.....	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kebutuhan Gas Bumi di Beberapa Sektor Tahun 2013-2019.....	6
Tabel 2.2 Koefisien drag dan koefisien massa.....	9
Tabel 2. 3 <i>Damage Classification</i>	12
Tabel 2. 4 Ukuran dan dimensi dari <i>Concrete Materesses</i>	16
Tabel 3.1 Data properti pipa	20
Tabel 3.2 Data kapal.....	21
Tabel 3.3 Data jangkar	21
Tabel 4.1 Parameter yang digunakan dalam menentukan kecepatan terminal ..	26
Tabel 4.2 Nilai deformasi	33
Tabel 4.3 Nilai <i>Equivalent Stress</i>	33
Tabel 4.4 Level konsekuensi yang terjadi pada pipa tanpa pelindung.....	34
Tabel 4.5 Level konsekuensi yang terjadi pada pipa memakai pelindung	35
Tabel 4.6 Nilai deformasi yang didapatkan dengan kecepatan 10,4 m/s.....	38

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
m	Massa jangkar (kg)
g	Percepatan gravitasi (9,81 m/s ²)
V	Volume jangkar (m ³)
ρ	Massa jenis air laut (1025kg/m ³)
C _D	Koefisien drag
A	Luas dari jangkar (m ²)
V _T	Kecepatan terminal (m/s)
E	<i>Impact Energy</i> (J)
M _a	Massa tambahan (kg)
C _a	Koefisien massa
δ	<i>Dent</i> / kedalaman penyok pipa (m)
t	Tebal dinding pipa (m)
σ_e	<i>Equivalent stress</i> (MPa)
σ_y	<i>Yield stress</i> (N/m ²)
D	Diameter luar pipa (m)
V ₂	Volume gas akhir (m ³)
M _p	Momen dinding pipa (N.m)
TSCF	<i>Triliun Standart Cubic Feet</i>
LPG	<i>Liquid Petroleum Gas</i>
LNG	<i>Liquid Natural Gas</i>
CBM	<i>Coal Bed Methane</i>
CNG	<i>Compressed Natural Gas</i>
SMYS	<i>Specified Minimum Yield Stress</i>
DNV	<i>Det Norske Veritas</i>

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT bahwasanya penulis dapat menyelesaikan Skripsi. Salawat serta salam penulis panjatkan kehadirat Nabi Muhammad SAW. Skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, dengan judul:

“ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN CONCRETE MATRESSES PADA PIPA BAWAH LAUT ”

Teristimewa penulis haturkan terima kasih kepada kedua orang tua penulis Bapak **Nurdin** dan Almh. Ibu **Nursia** yang selalu memberikan dukungan, motivasi, doa, nasehat, serta kesabaran yang luar biasa dalam setiap langkah penulis sampai tahap skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Keberhasilan skripsi ini, tak luput pula berkat bantuan dari berbagai pihak yang diterima penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Untuk itu dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan secara tulus dan ikhlas kepada yang terhormat:

1. Bapak **Ir.H.Juswan, MT.** selaku dosen pembimbing utama sekaligus kepala laboratorium riset manajemen produksi bangunan lepas pantai dan pekerjaan bawah air yang telah meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan skripsi ini.
2. Bapak **Fuad Mahfud Assidiq, ST., MT** selaku dosen pembimbing pendamping yang telah meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya penulisan skripsi ini.
3. Bapak **Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT** selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan yang telah mengesahkan skripsi ini.
4. Bapak **Prof. Daeng Paroka, ST., MT.,Ph.D.**, dan **Bapak Dr. Ir. Taufiqur Rachman, ST., MT** selaku dosen penguji yang memberikan kritik dan saran yang membangun pada skripsi ini.
5. Seluruh **Dosen Departemen Teknik Kelautan** yang telah memberikan pengalaman dan pengetahuannya kepada penulis selama proses perkuliahan.
6. **Staf Administrasi Departemen Teknik Kelautan** yang telah membantu segala aktivitas administrasi selama perkuliahan.

7. Untuk **Sriwahdana, Jalil, Muh. Syaifullah, Ahmad Faiq, Muhahmmad Fadhil Arsy dan Rahmadani Japri** selaku teman labo penulis yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam penegerjaan skripsi ini.
8. **Teman-teman Mahasiswa khususnya Teknik Kelautan 2019 dan PAZZENGER 19** yang telah menjadi keluarga penulis selama perkuliahan dan selalu memberikan motivasi dan dukungannya membantu penulis hingga menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Kepada seluruh pihak yang tak sempat penulis ucapkan satu per satu, terima kasih yang sebesar-besarnya untuk segala sumbangsih selama proses penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik sangat penulis harapkan sebagai bahan untuk menutupi kekurangan dari penulisan skripsi ini. Penulis berharap semoga tulisan ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu Teknik Kelautan, bagi pembaca umumnya dan penulis pada khususnya.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Gowa, 16 Juli 2023

Risal

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

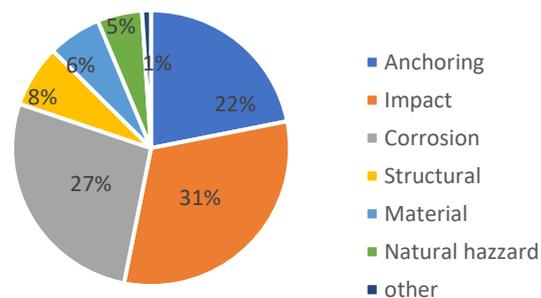
Negara Indonesia merupakan negara yang memiliki cadangan gas alam yang sangat banyak dan melimpah sehingga menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara dengan cadangan gas alam terbesar di dunia. Masa depan dan potensialitas cadangan gas alam di Indonesia memiliki kedudukan yang penting dalam progress transisi energi. Hal ini tidak terlepas dari fakta, bahwa sebanyak 88% kebutuhan energi di Indonesia, masih disuplai dari sumber energi konvensional seperti batubara dan gas alam (Mahendra dkk,2022). Gas alam adalah sumber energi yang berasal dari fosil tanaman, hewan dan mikroorganisme yang tersimpan di bawah tanah selama ribuan atau bahkan jutaan tahun, Sebagai salah satu negara dengan cadangan natural gas terbesar, Indonesia berkontribusi memenuhi 1.5% cadangan gas dunia. Indonesia sendiri memiliki banyak daerah penghasil gas alam seperti Arun yaitu daerah yang terletak di Aceh, Bontang yang berada di Kalimantan, Tangguh yang berada di Papua serta Pulau Natuna.

Dalam kehidupan sehari-hari banyak sekali manfaat yang bisa diambil dari gas alam antara lain sebagai bahan bakar untuk industri, rumah tangga, bahan bakar kendaraan, maupun sebagai pembangkit listrik. Proses produksi minyak bumi itu sendiri terbagi menjadi 2 tahapan penting yang mana tahapan pertama yaitu eksplorasi, dimana tahap ini untuk memperoleh informasi mengenai daerah yang memiliki cadangan minyak bumi, Kemudian tahap eksploitasi dimana pada tahap ini berkaitan dengan produksi minyak. Kegiatan ini meliputi pengeboran dan penyelesaian sumur, transportasi untuk pemisahan dan pemurniaan minyak, penyimpanan serta pembangunan fasilitas pengolahan.

Penggunaan sistem perpipaan dalam industri minyak dan gas bumi sebagai sarana untuk menyalurkan produk minyak dan gas sangat efektif dan efisien, terutama dalam menempuh jarak yang jauh dibanding menggunakan jalur darat maupun udara . Dilihat dari rute yang dilalui pipa sangat beragam, maka potensi bahaya dan resiko keselamatan seperti kebocoran, tumpahan, ledakan dan pencemaran lingkungan dapat mungkin terjadi (Martaningtyas & Ariesyady, 2018).

Kebocoran pipa migas di bawah laut akan menyebabkan terjadinya pencemaran dan mengancam ekosistem yang ada di laut, seperti ikan dan terumbu karang. Hal tersebut juga akan berdampak terhadap ekonomi masyarakat

yang menggantungkan hidupnya kepada hasil laut. Adanya pencemaran dapat menyebabkan banyak ikan yang mati sehingga hasil tangkapan nelayan akan menurun. Oleh karena itu dibutuhkan upaya pencegahan yang baik agar tidak terjadi kebocoran pipa yang memberikan dampak negatif terhadap lingkungan dan ekonomi.



Gambar 1.1 Penyebab terjadinya kerusakan pada pipa bawah laut

(Liu dan Song ,2011)

Pada Gambar 1.1 dapat diketahui bahwa kerusakan pada pipa yang disebabkan oleh jangkar kapal memiliki persentase yang cukup besar berdasarkan hal tersebut, maka penulis akan melakukan penelitian dalam hal ini melakukan “**analisis pengaruh penggunaan *concrete mattresses* pada pipa bawah laut**” sebagai upaya pencegahan terjadinya kebocoran pipa bawah laut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang menjadi kajian dalam penelitian ini yaitu :

Bagaimana perbandingan kekuatan antara pipa yang menggunakan pelindung *concrete mattresses* dengan pipa tanpa pelindung *concrete mattresses* apabila terkena jangkar kapal.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah :

Mengetahui perbandingan kekuatan antara pipa yang menggunakan pelindung *concrete mattresses* dengan pipa tanpa pelindung *concrete mattresses* apabila terkena jangkar kapal

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian adalah:

1. Dapat dijadikan dasar informasi untuk mengetahui tingkat efektivitas penggunaan *concrete mattresses* sebagai pelindung pipa.
2. Penelitian ini dapat dijadikan referensi sebagai salah satu upaya dalam melakukan perlindungan pada pipa bawah laut akibat terkena jangkar kapal.

1.5 Batasan Masalah

Untuk menghindari penelitian yang terlalu luas dan untuk memberikan arah yang terfokus serta mempermudah penyelesaian masalah dengan baik sesuai dengan tujuan yang dicapai, maka perlu adanya pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Pemodelan pipa ketika terkena jangkar dalam kondisi jatuh secara vertikal (*dropped*).
2. Fluida di dalam pipa tidak dimodelkan.
3. Pipa yang dimodelkan hanya pada bentangan yang lurus.
4. Lokasi penelitian di sekitar galangan Tanjung Uncang Batam.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gas Bumi

Gas bumi merupakan sumber daya alam dengan cadangan terbesar ketiga di dunia setelah batu bara dan minyak bumi. Gas alam pada awalnya tidak dikonsumsi sebagai sumber energi karena kesulitan dalam hal transportasi sehingga selalu dibakar. Ketika produksi bersamaan dengan minyak bumi. Pemanfaatan gas alam di Indonesia tidak hanya untuk transportasi dan rumah tangga saja, tetapi sekarang untuk industri (Syukur, 2015). Produk dari gas alam yang digunakan adalah LPG (*Liquid Petroleum Gas*), CNG (*Compressed Natural Gas*), LNG (*Liquid Natural Gas*) dan *Coal Bed Methane* (CBM) yang merupakan sumber non konvensional yang sedang dikembangkan di Indonesia (Syukur, 2015).

2.2. Proses Pembentukan Minyak dan Gas Bumi

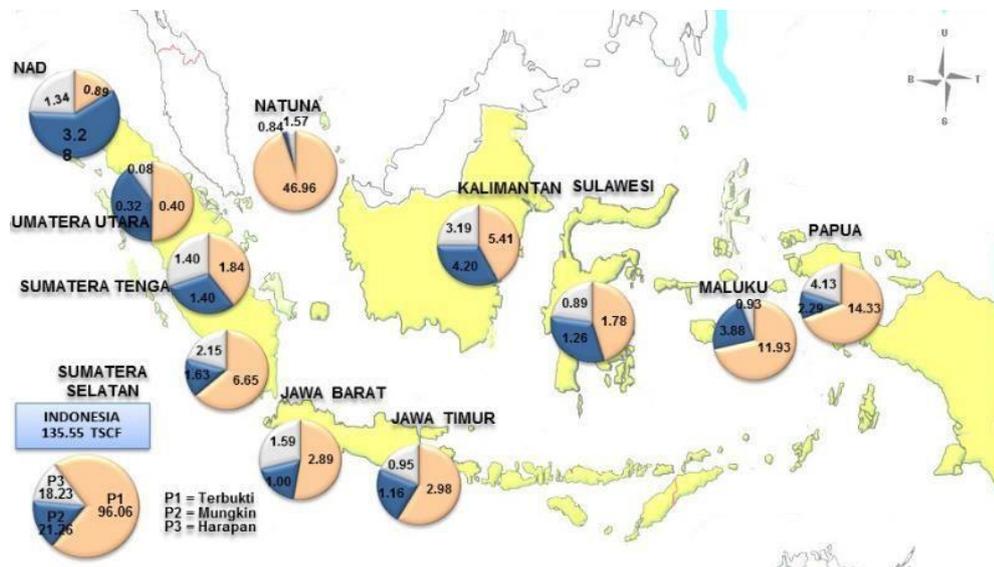
Minyak dan gas bumi berasal dari makhluk hidup yang telah mati dan tertimbun dalam bumi selama berjuta-juta tahun. Karena pengaruh faktor tekanan dan temperature tinggi, kemudian lambat laun terjadilah proses yang menyebabkan terjadinya minyak dan gas. Proses dari mulai pencarian lokasi cadangan minyak hingga mengambilnya menjadi produk dibagi menjadi dua tahap yaitu, Ekspolasi yang bertujuan untuk mencari lokasi yang mengandung cadangan migas, dan tahap produksi yang bertujuan untuk mengangkat cadangan minyak dan gas dari perut bumi ke permukaan bumi, kemudian menuju gas booth atau gas separator untuk pemisahan fasa cair dan gas.

2.3. Potensi Gas Bumi di Indonesia

Selain minyak bumi yang ada di Indonesia, juga terdapat cadangan gas alam yang cukup besar, yaitu sekitar 170 TSCF dan produksi pertahun 2,87 TSCF dengan komposisi tersebut Indonesia memiliki *reserve to production* (R/P) mencapai 59 tahun. Gas alam tentunya memiliki harga yang stabil karena jauh dari politis, tidak seperti minyak bumi (Syukur, 2015).

Di Indonesia cadangan gas bumi yang ada, dimana cadangan gas bumi yang terbesar terdapat di daerah provinsi kepulauan Riau yaitu di Natuna, dan pada posisi kedua ada di provinsi Papua, dan Cadangan gas bumi Indonesia tersebar

di beberapa provinsi dimana cadangan terbesar berada di provinsi Kepulauan Riau yaitu di Natuna, diikuti provinsi Papua, provinsi Maluku dan provinsi Kalimantan. Untuk lebih detail mengenai sebar gas bumi yang ada di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Peta sebaran cadangan gas bumi di Indonesia

(Wibowo dan Windarta, 2022)

2.4. Kebutuhan dan Produksi Gas Bumi di Indonesia

Kebutuhan gas bumi di Indonesia sebagai penyuplai energi berada pada peringkat ketiga setelah batubara dan minyak bumi. Jumlah kebutuhan energi primer yang bersumber dari gas bumi naik secara terus menerus dari tahun ke tahun, Namun kebutuhan energi primer yang terus meningkat tersebut tentunya membuat suplay gas bumi sebagai penyedia energi primer belum memenuhi harapan dimana yang diharapkan gas bumi sebagai pengganti minyak bumi. Hal ini tentunya dapat kita lihat pada tahun 2019 dimana nilai persentase dari gas bumi hanya berperan sebesar 17,8 % dari jumlah total dari energi bauran, yang mana hal ini tentunya sebuah penurunan karena pada tahun 2013 sebesar 20,52 %. Untuk produksi gas bumi yang digunakan di Indonesia di berbagai sektor antara lain LNG, Produksi LPG, Kilang Gas rumah tangga, industri dan pembangkit listrik. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Kebutuhan Gas Bumi di Beberapa Sektor Tahun 2013-2019

Tahun	Industri LNG	Industri LPG	Kilang Minyak	Gas Kota	Industri
2013	1.040.992	26.64	38.866	8.669	697.02
2014	978.978	29.75	41.992	8.702	691.07
2015	919.723	24.80	47.384	8.847	687.56
2016	913.303	24.80	105.138	8.701	562.24
2017	841.862	22.41	50.033	8.691	627.49
2018	968.994	29.84	42.322	3.065	672.29
2019	834.243	20.16	40.917	3.457	666.51

Sumber : (ESDM, 2019)

2.5. Sistem Perpipaan (*Pipeline*)

Pipa memiliki arti atau definisi sebagai suatu batang silinder yang berbentuk rongga yang memiliki fungsi sebagai tempat untuk dialirkannya fluida dari suatu liquid, gas, dan juga solid. *Subsea pipeline* atau jaringan pipa bawah laut merupakan salah satu cara yang digunakan untuk mengangkut fluida baik gas maupun minyak dari satu tempat ke tempat lainnya (WIndadi, 2019). *Pipeline* adalah sistem pemipaan yang mengalirkan fluida dari satu atau beberapa peralatan pada suatu fasilitas pengolahan. Karena untuk diolah dalam satu fasilitas maka letak equipmentnya tidak berjauhan, maka pipa yang menghubungkan pun tidak terlalu panjang. Mengingat begitu pentingnya fungsi pipa dalam kehidupan sehari-hari, Oleh karena itu dibuatlah suatu sistem dengan beberapa rangkaian pipa yang mengalirkan suatu fluida dari satu titik ke titik yang lain tanpa mengalami kebocoran dalam jarak yang sangat jauh dan panjang, yang biasa disebut dengan sistem *pipeline*.

Dari segi lokasi penempatan pipa, sistem *pipeline* dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu :

1. *Onshore pipeline*

Sistem perpipaan yang mendistribusikan fluida dengan daerah kerjanya di daratan

2. *Offshore pipeline*

Sistem perpipaan yang mendistribusikan fluida dengan daerah kerjanya di lepas pantai atau di dalam lautan

Sistem pemipaan adalah metode yang paling efisien dalam menyalurkan volume fluida dalam jumlah yang besar dibanding menggunakan tangker, Data perbandingan antara jalur pipa atau pipeline dengan fasilitas lain.

- Memindahkan 150.000 Barrel/Hari membutuhkan 750 tanker truk/hari untuk menantarkannya.
- Untuk memindahkan jumlah yang sama dengan kereta tangka berkapasitas 2000 barrel membutuhkan 75 kereta per hari untuk mendistribuskannya.

Keuntungan lain *pipeline* :

- Dari segi lingkungan dan keuntungan finansial jika dibandingkan dengan alat transportasi lainnya maka *pipeline* lebih aman dan menguntungkan.
- Dalam *pipeline* tidak didapatkan kemacetan lalu lintas baik di jalan raya maupun di perairan.
- *Pipeline* memproduksi jumlah polutan yang paling kecil jika dibandingkan dengan yang lain.
- *Pipeline* juga menghasilkan tumpahan minyak yang paling sedikit jika dibandingkan dengan yang lain.

Jenis *pipeline* berdasarkan jenis pemipanya antara lain :

- Jalur pengumpul yaitu jalur pipa untuk menyalurkan fluida atau gas dari sumur-sumur pengeboran ke stasiun pengumpul, biasanya beroperasi pada tekanan yang rendah.
- Jalur transmisi yaitu jalur untuk menyalurkan fluida atau gas dari stasiun pengumpul ke fasilitas pemrosesan atau tangka pengumpul dan mempunyai tekanan antara 16 bar sampai dengan 75 bar.
- Alur distribusi yaitu jalur untuk menerima fluida atau gas dari jalur transmisi dan mendistribusikannya ke konsumen dan mempunyai tekanan antara 0,3 sampai dengan 16 bar.

2.6. Kerusakan yang sering terjadi pada *pipeline*

2.6.1. Kerusakan oleh jangkar

Kerusakan oleh jangkar didefinisikan sebagai salah satu faktor penyebab terjadinya kerusakan pada pipa bawah laut, Dimana ketika kapal melintas tepat di atas jalur pipa dan terjadi kerusakan mesin yang menyebabkan jangkar harus dijatuhkan dalam keadaan darurat. Kerusakan oleh jangkar yaitu terjadinya kerusakan pada pipa bawah laut, dimana Ketika kapal lewat tepat di atas jalur pipa bawah laut, gagal mesin pada kapal, dan sebuah jangkar yang dijatuhkan dalam kondisi darurat. Dua faktor utama yang mengakibatkan efek dari energi adalah kedalaman air yang

memberikan dampak sangat besar terhadap kemungkinan jangkar mengenai pipa dan lapisan pipa yang mampu mengurangi dampak kerusakan terhadap pipa. Besarnya probabilitas dan besarnya energi yang ditimbulkan untuk menentukan besarnya kerusakan yang diakibatkan oleh jangkar terhadap pipa.

2.6.2. Pergeseran pipa dari posisinya

Pergeseran pipa dari posisinya menjadi faktor yang menyebabkan kerusakan pada pipa bawah laut hal ini dikarenakan peralatan yang digunakan untuk mensuplay *crude oil* dengan debit aliran yang cukup besar dan dengan tekanan yang tinggi sehingga memungkinkan pipa bergeser dan berpindah dari posisinya. (Devi dkk, 2017).

2.6.3. Kerusakan oleh pukut

Kerusakan oleh pukut menjadi salah satu faktor yang menyebabkan kerusakan pada pipa bawah laut hal ini karena jaring yang menyangkut pada pipa. Ketika nelayan menangkap ikan di laut, Kapal ikan tersebut mengeluarkan jaring sampai ke dasar laut, kemudian jaring tersebut tersangkut pada pipa bawah laut. Jaring kemudian ditarik oleh kapal sehingga tarikan tersebut akan merusak lapisan pada pipa. Tarikan dari jaring terhadap pipa merupakan sebuah fungsi dari *net-casting depth*, *water* dan *the pipeline coating* (Devi dkk, 2017).

2.6.4. Kerusakan oleh pelalatan

Kerusakan oleh peralatan menjadi salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya kerusakan pada pipa bawah laut, hal ini dikarenakan komponen pipa yang akan digunakan ataupun peralatan pendukungnya mengalami kerusakan sehingga tidak dapat beroperasi dengan baik sebagaimana mestinya. Dan jika hal ini terjadi maka akan menyebabkan kerusakan pada lingkungan karena fluida atau cairan yang ada didalam pipa tumpah keluar pipa. Untuk upaya pencegahannya yaitu dengan cara melakukan inspeksi pada bagian bagian kritis seperti jalur utama pipa, katup, *relieve valve* dan komponen lainnya secara teratur (Azisah, 2020).

2.6.5. Kerusakan akibat penggalan

Kerusakan akibat penggalan menjadi salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya kerusakan pipa bawah laut hal ini dikarenakan ketika proses penggalan pipa dan tanpa sengaja mengenai lapisan atau

coating pada pipa atau menyebabkan pipa tergores, pada umumnya terjadi pada pipa yang diletakkan di bawah permukaan tanah, Adapun cara untuk mengatasi hal ini yaitu memberikan tanpa pada pipa yang ditanam di bawah tanah agar pekerja dapat berhati hati ketika melakukan pekerjaan penggalian pipa.

2.7. Analisa Konsekuensi / kerusakan yang terjadi pada pipa

2.7.1. Kecepatan tumbukan

Benda yang tenggelam atau melewati fluida biasanya akan mencapai kecepatan terminal. Hal ini sangat bergantung pada massa dan bentuk benda, Ketika objek telah mencapai keseimbangan ini, ia jatuh dengan kecepatan konstan, kecepatan konstan yaitu kecepatan terminal, hal ini dapat dinyatakan sesuai Persamaan DNV-RP-F107, berikut :

$$(m - V \cdot \rho_{water}) \cdot g = \frac{1}{2} \cdot \rho_{water} \cdot C_D \cdot A \cdot V_T^2 \quad (2.1)$$

$$V_T = \sqrt{\frac{2(m - V \cdot \rho) \cdot g}{\rho \cdot C_D \cdot A}} \quad (2.2)$$

Dimana :

m = Massa benda (kg)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

V = Volume benda (m³)

ρ = Massa jenis air laut (1025 kg/m³)

C_D = Koefisien drag

A = Luas area yang diproyeksikan dari objek (m²)

V_T = Kecepatan terminal (m/s)

Untuk nilai Koefisien drag dan koefisien massa bisa dilihat pada Tabel 2.2 di bawah.

Tabel 2.2 Koefisien drag dan koefisien massa

Deskripsi bentuk	C _D	C _a
Bentuk Silinder	0,7-1.5	0,1-1
Bentuk Kotak	1,2-1.3	0,6-1,5
Bulat ke kompleks	0,6-2	1-2

Sumber : (DNV RP-F107 (2010)).

2.7.2. *Impact energy*

Energi impact merupakan gabungan energi kinetik benda dan energi kinetic yang mempunyai *added mass*. Energi kinetik dari jangkar jatuh akan bergantung kepada massa jangkar dan juga kecepatan jatuhnya sesuai Persamaan berikut.

$$E_E = \frac{1}{2} (m + m_a) \cdot V_T^2 \quad (2.3)$$

Dimana :

E_E = *Energy impact* (J)

M = Massa jangkar (kg)

m_a = added massa (kg)

$$m_a = \rho \cdot C_a \cdot v \quad (2.4)$$

v = volume jangkar

V_T = Kecepatan terminal (m/s)

C_a = nilai koefisien massa

2.7.3. *Dent*

Sebuah pipa memiliki ketahanan tertentu dalam menahan energi dari benda yang menumbuk atau mengenainya, Jika energi tumbukan pada benda lebih besar dari pada daya tahan pipa maka pipa akan mengalami perubahan bentuk yang disebut *dent*. Besarnya nilai *dent* dipengaruhi oleh besarnya energi tumbukan pada benda, diameter pipa, tebal pipa dan SMYS pipa. Untuk besarnya energi yang dapat ditahan oleh saluran pipa tanpa lapisan pelindung dapat dihitung berdasarkan Persamaan DNV-RP-F107 pada persamaan 2.5.

$$\delta = \left(\frac{E \cdot g^{1/2} \cdot t^{1/2}}{16 \cdot (2\pi)^{1/2} \cdot m_p \cdot D^{3/2}} \right)^{2/3} \cdot D \quad (2.5)$$

Dimana :

δ = kedalaman pipa penyok / *dent* (m)

E = *Energi impact* atau tumbukan (J)

t = Tebal dinding pipa (m)

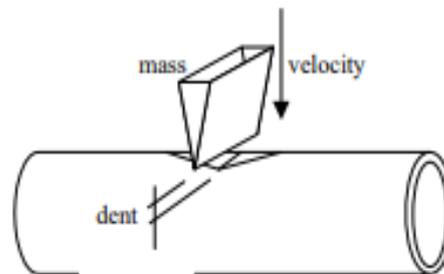
σ_y = *Yield stress* (N/m²)

m_p = Momen dinding pipa

$$(1/4 \times \sigma_y \times t^2) \quad (2.6)$$

D = Diameter luar pipa (m)

Untuk visualisasi mengenai dent dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Model prediksi penyok
(DNV RP-F107 (2010))

2.8. Klasifikasi Tingkat Kerusakan

Tingkat kerusakan yang terjadi pada pipa menentukan tindakan yang akan diambil sebagai langkah selanjutnya dalam menangani permasalahan pada pipa tersebut, Tingkat kerusakan sangat penting untuk diketahui agar nantinya ketika pipa mengalami kerusakan untuk upaya penanganan yang dilakukan pun tepat. Berdasarkan DNV RP- F107 Kerusakan material pada pipa diklasifikasikan berdasarkan kategori sebagai berikut :

2.9.1. Kerusakan kecil (D1)

Kerusakan yang tidak memerlukan perbaikan, atau mengakibatkan pelepasan hidrokarbon. Penyok yang lebih kecil yaitu hanya sekitar 5% dari diameter dan biasanya tidak akan langsung mempengaruhi pengoperasian saluran pada pipa. Namun perlu diperhatikan jika terjadi kerusakan, maka inspeksi dan evaluasi harus dilakukan.

2.9.2. Kerusakan sedang (D2)

Kerusakan yang membutuhkan perbaikan, tetapi tidak menyebabkan pelepasan hidrokarbon. Ukuran penyok lebih dari 5% untuk pipa baja dan biasanya akan membutuhkan perbaikan.

2.9.3. Kerusakan besar (D3)

Kerusakan yang menyebabkan pelepasan hidrokarbon atau air, Jika dinding pipa pecah maka operasi harus dihentikan dan saluran pipa harus diperbaiki, bagian yang rusak harus dilepas atau diganti.

Pada kerusakan yang menyebabkan pelepasan hidrokarbon, Klasifikasi pelepasan digolongkan menjadi 3 bagian antara lain :

1. Tidak ada pelepasan (R0) : Tidak ada pelepasan gas hidrokarbon
2. Pelepasan kecil (R1) : Pelepasan dari lubang kecil hingga menengah pada dinding pipa, Saluran pipa mungkin melepaskan Sebagian kecil dari isinya hingga terdeteksi baik oleh penurunan tekanan maupun secara visual.
3. Pelepasan besar (R3) : Pelepasan gas dari pipa yang pecah, *full repture* akan menyebabkan pelepasan total dari volume saluran pipa dan kan berlanjut hingga saluran pipa diisolasi.

Untuk lebih detail mengenai klasifikasi kerusakan dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 *Damage Classification*

Peringkat	<i>Dent/Diameter (%)</i>	Klasifikasi kerusakan
1	<5	Kerusakan kecil
2	5-10	Kerusakan sedang Antisipasi kebocoran
3	10-15	Kerusakan besar antisipasi kebocoran dan pecah
4	15-20	Kerusakan besar antisipasi kebocorann dan pecah
5	>20	pecah

Sumber : (DNV RP-F107 (2010))

Kerusakan pipa juga dilihat dari tegangan von mises, yaitu nilai tegangan equivalen yang digunakan untuk menentukan apakah material tertentu akan mulai luluh, dimana material tertentu tidak akan luluh selama nilai tegangan von mises maksimum tidak melebihi kekuatan luluh material tersebut, yang dapat dilihat pada Persamaan 2.7 berikut.

$$\frac{\sigma_e}{\sigma_y} < 1 \quad (2.7)$$

Dimana :

σ_e = Nilai *equivalent stress* (MPa)

σ_y = *Yield stress* (N/m²)

2.9. Concrete Mattresses

Concrete mattresses adalah unit yang berbentuk seperti persegi Panjang, model ini terbuat dari balok beton yang kemudian disatukan oleh tali polipropilen. Matras ini begitu flexibel dalam dua dimensi dan tersedia dalam berbagai ketebalan sesuai dengan kondisi yang dibutuhkan. Matras ini digunakan atau diperuntukkan untuk perlindungan dari penjangkaran dan untuk melindungi fondasi struktur dari gerusan air. Adapun untuk bahan yang digunakan dalam matras ini disesuaikan dengan umur disain yang diperlukan dan didisain kuat dan tahan di air laut dan stabil secara kimiawi, Pengangkatan matras ini dilakukan dengan menggunakan kerangka perangkat yan terhubung ke loop perangkat, Tingkat flexibel dari matras ini memungkinkan matras menekuk tanpa terjadinya integrasi.

Concrete mattresses atau Kasur beton banyak digunakan dalam industri lepas pantai untuk melindungi struktur bawah laut, jaringan pipa dll. *Concrete mattresses* Sebagian besar digunakan untuk menstabilkan struktur bawah laut yang mengalami beban hidrodinamika, untuk mencegah gerusan dasar laut di sekitar struktur yang dilindungi dan sebagai dukungan untuk konstruksi penyebrangan pipa (Goldbold & Sackmann, 2014). Namun *concrete mattresses* juga bisa memberikan perlindungan terhadap bahaya jangkar jatuh dan terseret. Ini karena kekuatan benda tajam apapun yang mengenai pipa akan didistribusikan ke seluruh area matras yang bersentuhan dengan pipa (Tawekal & Velas, 2019).

Untuk macam-macam bentuk dari *Concrete mattresses* menurut *pipeshield* dikategorikan sebagai berikut

1. Matras beton Bi-Flex

Matras ini digunakan sebagai sistem perlindungan dan stabilitas pada pipa bawah air, Matras ini biasanya 10% lebih berat dari matras biasanya, matras ini memberikan stabilitas yang baik bagi pipa bawah laut. Matras ini biasanya berukuran 6 m x 3 m dan memiliki ketebalan 0,15 m ,0,3 m dan 0,45 m yang tentunya ukuran ini disesuaikan dengan umur disain dari matras yang ingin dibuat.



Gambar 2.3 Matras beton Bi-Flex

(Pipeshield, *Concrete Mattresses*)

2. Matras beton Bi-Flex N2 Edge

Jenis matras ini telah dikembangkan untuk meningkatkan stabilitas dalam pengangkatan tepi sehingga ideal untuk kondisi kecepatan yang lebih tinggi. Hal ini secara signifikan dapat mengurangi kemungkinan terjadi penggulungan pada matras akan tetapi menggunakan kepadatan beton yang tinggi sehingga membuat matras ini lebih mahal.



Gambar 2.4 Matras beton Bi-Flex N2 Edge

(Pipeshield, *Concrete Mattresses*)

3. Matras beton Uni-Flex

Matras beton ini merupakan matras beton yang terbuat dari beton bertulang yang dapat menahan beban berlebih untuk melindungi jaringan pipa atau sebagai penyangga beban,

Matras ini sangat ideal untuk digunakan dikarenakan sangat ideal untuk menahan beban di tanah lunak, matras ini juga memiliki kelebihan yaitu mudah digunakan dengan menggunakan loop pengangkat tali polipropilena dengan menggunakan kerangka instalasi konvensional. Untuk gambar dari matras ini dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Matras beton Uni-Flex

(Pipeshield, *Concrete Mattresses*)

Dalam penggunaan matras ini tentunya terbagi menjadi 3 tahapan sampai matras ini dapat berfungsi dengan baik sebagaimana mestinya.

1. Tahap pembuatan / produksi



Gambar 2.6 Proses pembuatan matras beton

(Maccaferi, 2013)

Pada tahap ini tentunya matras dibuat berdasarkan kebutuhan yang diinginkan, ukuran dan dimensi yang biasa digunakan dalam pembuatan matras beton dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Ukuran dan dimensi dari *Concrete Mattresses*

Dimensi dan berat matras dalam air (ton)												
Lebar (m)	1,93				2,26				2,59			
Tebal (m)	0,15	0,2	0,25	0,3	0,15	0,2	0,25	0,3	0,15	0,2	0,25	0,3
Panjang (m)												
3,14	0,8	1,1	1,4	1,6	1	1,3	1,6	1,8	1,1	1,5	1,8	2,1
3,67	1	1,3	1,6	1,8	1,1	1,5	1,9	2,2	1,3	1,8	2,2	2,5
4,2	1,1	1,5	1,8	2,1	1,3	1,8	2,2	2,5	1,5	2	2,5	2,8
4,73	1,3	1,7	2,1	2,4	1,5	2,1	2,4	2,8	1,7	2,3	2,8	3,2
5,26	1,4	1,9	2,3	2,6	1,7	2,2	2,7	3,1	1,9	2,5	3,1	3,5
5,79	1,6	2,1	2,6	2,9	1,8	2,4	3	3,7	2,1	2,8	3,4	3,9
6,32	1,7	2,3	2,8	3,2	2	2,7	3,3	3,7	2,3	3	3,7	4,3

Sumber : (Maccaferi, 2013, *Articulated Concrete Block Mattress*)

2. Tahap pengangkatan

Pada tahap ini matras yang sudah kering kemudian diangkut ke tempat instalasinya menggunakan alat angkut khusus, pada matras beton diikatkan tali untuk mencegah matras tersebut jatuh.



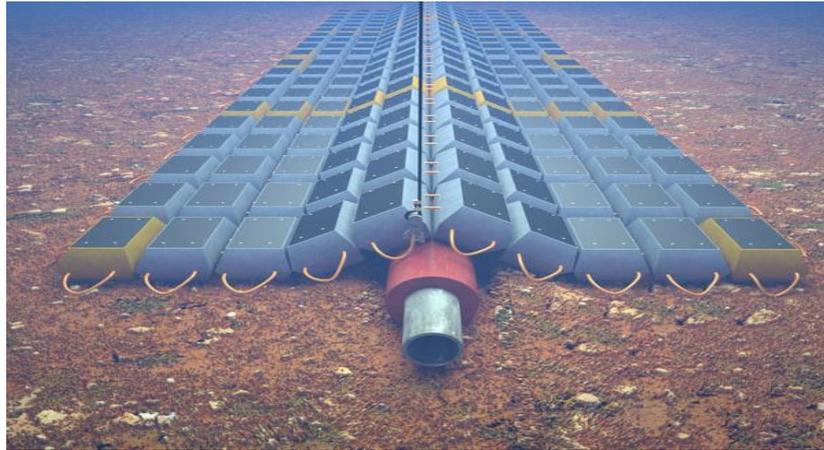
Gambar 2.7 Proses pengangkutan menuju lokasi pemasangan / instalasi

(Maccaferi, 2013)

3. Tahap pemasangan atau instalasi

Pada tahap ini matras yang diangkut tadi kemudian dijatuhkan secara perlahan pada lokasi pipa yang telah ditentukan sebelumnya.

Untuk proses pemasangan atau instalasi matras beton pada pipa dapat dilihat pada Gambar 2.8 berikut.



Gambar 2.8 Proses instalasi

(Maccaferi, 2013)

Instalasi matras beton ini tentunya tidak dilakukan atau tidak diinstal disepanjang jalur pipa, hanya wilayah atau daerah tertentu saja matras beton ini di install, seperti wilayah yang rawan kapal menjatuhkan jangkarnya yaitu daerah sekitar galangan yang tentunya menjadi lalu lintas bagi kapal-kapal yang lewat, sehingga daerah-daerah seperti inilah pelindung beton ini digunakan.

2.10. Simulasi ANSYS

ANSYS merupakan suatu perangkat lunak komputer yang digunakan khusus *engineering* untuk menyelesaikan persoalan-persoalan elemen hingga dari pemodelan hingga analisis (Dalimunthe, H.2014).

Pada program ANSYS ini pemodelan untuk objek yang akan disimulasikan dapat dilakukan di software ANSYS langsung ataupun dapat juga melakukan modeling di software lain seperti CAD, Rhinoceros ataupun Solidworks yang nantinya diekspor ke software ANSYS untuk disimulasikan, Setelah melakukan pembebanan pada objek kemudian melakukan analisis lalu hasil dapat dilihat sebagai bentuk numerik dan grafis. Untuk hasil yang diperoleh menggunakan software ANSYS ini meliputi pendekatan dengan menggunakan analisis numerik. Untuk ketelitian dari hasil yang diperoleh sangat bergantung pada kita dalam membuat model kemudian menganalisisnya.

Explicit dynamic merupakan bagian dari program atau sub program *analysis system* ANSYS yang bertujuan untuk mengkaji analisis *transient explicit dynamic* yang dapat menampilkan simulasi atau uji coba variasi dalam bidang-bidang rekayasa, termasuk kelakukan pemodelan dinamik nonlinear dari benda-benda

atau model yang berbentuk solid, fluida, gas dan interaksi yang berkaitan dengannya.