



TUGAS AKHIR - MO141326

**ANALISIS KEANDALAN PIPA BAWAH LAUT TERHADAP  
*PROPAGATION BUCKLING* BERBASIS *MONTE CARLO* STUDI  
KASUS INSTALASI PROYEK SANGATTA PT. DWISATU MUSTIKA  
BUMI.**

HASYIM ASFA'UN

04311240000018

**DOSEN PEMBIMBING :**

**Prof. Ir Daniel M. Rosyid Ph.D. M.RINA**

**Ir. Handyanu M.Sc. Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN**

**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA 2019**



*FINAL PROJECT - MO141326*

*ANALYSIS OF SUBSEA PIPELINES REALIBILITY ON  
PROPAGATION BUCKLING BASED ON MONTE CARLO. CASE  
STUDY SANGATTA PROJECT INSTALLATION PT. DWISATU  
MUSTIKA BUMI.*

*HASYIM ASFA'UN  
04311240000018*

*SUPERVISORS :*

*Prof. Ir Daniel M. Rosyid Ph.D. M.RINA  
Ir. Handayanu M.Sc. Ph.D.*

*DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE ENGINEERING  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA 2019*

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS KEANDALAN PIPA BAWAH LAUT TERHADAP *PROPAGATION*  
*BUCKLING* BERBASIS *MONTE CARLO* STUDI KASUS INSTALASI PROYEK  
SANGATTA PT. DWISATU MUSTIKA BUMI.**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

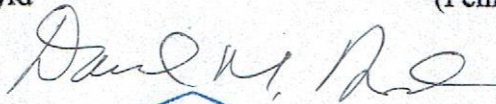
Oleh :

**HASYIM ASFA'UN**

NRP. 0431 12 40000 018

Disetujui oleh :

1. Prof. Ir. Daniel Mohammad Rosyid (Pembimbing 1)



2. Ir. Handyanu M.Sc, Ph.D (Pembimbing 2)



3. Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D (Penguji 1)

4. Dr. Eng. Shade Rahmawati, S.T. M.T (Penguji 2)



Surabaya, Juli 2019

..... *Halaman ini sengaja dikosongkan* .....

**ANALISIS KEANDALAN PIPA BAWAH LAUT TERHADAP *PROPAGATION*  
*BUCKLING* BERBASIS *MONTE CARLO* STUDI KASUS INSTALASI PROYEK  
SANGATTA PT. DWISATU MUSTIKA BUMI.**

**Nama Mahasiswa** : Hasyim Asfa'un  
**NRP** : 0431 1240000 018  
**Departemen** : Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Ir. Daniel Mohammad Rosyid, Ph.D., M.RINA.  
Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

**ABSTRAK**

Proses instalasi pipa bawah laut memerlukan analisis yang kompleks untuk menghindari terjadinya kegagalan. Pertimbangan kondisi lingkungan sangat penting untuk diperhatikan selama proses instalasi, dikarenakan selama proses instalasi pipa akan mendapatkan pengaruh langsung baik dari gaya gelombang, gaya arus, ataupun gaya berat dari beban perpipaan itu sendiri. Dalam tugas akhir ini, dibahas analisis keandalan pipa bawah laut terhadap *propagation buckling* dengan metode *Monte Carlo*, saat instalasi pipa dengan metode *Push Pull* dimana sebelumnya dilakukan analisis terhadap gaya dan beban yang dialami pipa untuk mengetahui kondisi pipa selama instalasi. Data pipa yang digunakan dalam analisis ini merupakan pipa untuk penyaluran solar berbahan carbon steel standar API 5L. Gaya tarik maksimal yang diterima pipa bawah laut sebesar 174,35 kN pada bentangan pipa terpanjang 1150 m didaerah *roller barge*. Tegangan pipa saat proses instalasi yang terbesar sebesar 281,03 MPa pada bentangan pipa terpanjang 1150 m didaerah *roller barge*, dan belum melewati batas tegangan ijin yakni 288 MPa. Keandalan pipa bawah laut terhadap *propagation buckling* selama proses instalasi yakni 100% ketika tekanan eksternal sebesar 0,22 MPa, namun dengan variasi peningkatan tekanan eksternal masing-masing sebesar 1,96 MPa, 2 MPa, dan 2,04 MPa pada input moda kegagalan, keandalan pipa semakin menurun berturut turut menjadi 72 %, 42 % dan 16 %.

**Kata Kunci** : Keandalan, *Monte Carlo*, Gaya, Tegangan, *Propagation Buckling*

..... *Halaman ini sengaja dikosongkan* .....

**ANALYSIS OF SUBSEA PIPELINES REALIBILITY ON PROPAGATION BUCKLING  
BASED ON MONTE CARLO. CASE STUDY SANGATTA PROJECT INSTALLATION  
PT. DWISATU MUSTIKA BUMI.**

**Student Name** : Hasyim Asfa'un  
**Reg** : 0431 1240000 018  
**Department** : Ocean Engineering  
Faculty of Marine Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology Surabaya  
**Supervisors** : Prof. Ir. Daniel Mohammad Rosyid, Ph.D., M.RINA.  
Ir. Handyanu, M.Sc., Ph.D.

**ABSTRACT**

*The process of subsea pipelines installation requires complex analysis to avoid failure. Consideration of environmental conditions is very important to note during the installation process, because during the installation process the pipe will get a direct influence from the wave force, current force, or gravity of the piping load itself. In this final project, an analysis of the reliability of subsea pipelines on propagation buckling is discussed with the Monte Carlo method, when installing pipes with the Push Pull method where an analysis of the force and load experienced by the pipe was carried out to determine pipe conditions during installation. The pipe data used in this analysis is a pipeline for distributing diesel fuel made from carbon steel API 5L standard. The maximum tensile force received by the subsea pipe is 174.35 kN on the longest stretch of pipe 1150 m in the area of the roller barge. The largest pipe tension during the installation process is 281.03 MPa on the longest stretch of pipe 1150 m in the roller barge area and has not exceeded the voltage limit permission of 288 MPa. The reliability of the subsea pipeline against propagation buckling during the installation process is 100% when the external pressure is 0.22 MPa, but with variations in the increase in external pressure respectively 1.96 MPa, 2 MPa, and 2.04 MPa in the input failure mode, pipeline reliability has decreased in succession to 72%, 42% and 16%.*

**Keywords** : Realibiliy, Monte Carlo, Force, Stress, Propagation Buckling

..... *Halaman ini sengaja dikosongkan* .....



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kehadiran Allah Subhanahu wa Ta'ala, yang telah memberikan rahmat, nikmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas Akhir merupakan salah satu mata kuliah yang wajib diambil oleh setiap mahasiswa Teknik Kelautan untuk memperoleh gelar Sarjana S1 Departemen Teknik Kelautan.

Tugas akhir ini berjudul “**Analisis Keandalan Pipa Bawah Laut terhadap *Propagation Buckling* Berbasis *Monte Carlo* Studi Kasus Instalasi Proyek Sangatta PT. Dwisatu Mustika Bumi**”. Tujuan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui gaya yang diterima oleh pipa dan mengetahui tegangan yang terjadi pada pipa selama proses instalasi, selain itu juga untuk mendapatkan keandalan pipa terhadap *propagation buckling*.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan ini masih terdapat banyak sekali kekurangan, untuk itu kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan tugas akhir ini. Penulis berharap laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

..... *Halaman ini sengaja dikosongkan* .....

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Bapak Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D, M.RINA dan Bapak Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu membimbing penulis dengan baik dan seksama.
2. Ibu Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D., dan Ibu Dr. Eng Shade Rahmawati, S.T. M.T. selaku dosen penguji 1 dan penguji 2 tugas akhir yang memberikan masukan selama pelaksanaan siding tugas akhir.
3. Ibu, bapak, paman, nenek, dan seluruh keluarga penulis yang senantiasa mendoakan penulis agar dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan selalu memberikan dukungan baik moril maupun materiil kepada penulis.
4. Mbah K. Ahmad Dardiri selaku guru penulis yang selalu mendoakan agar penulis dapat segera menyelesaikan studinya
5. Sahabat sahabati UKM Rebana ITS dan PMII Sepuluh Nopember, khususnya angkatan 2012, serta keseluruhan anggota dan kader pada umumnya. "SALAM PERGERAKAN".
6. Seluruh penggerak PMII Special Force, JVN dan geng kamar mburi yang selalu mendukung perjuangan penulis menyelesaikan tugas akhir ini. Mbah Margono, Gust Irawan, Gust Gagah, Syafi'i, A. Syafaat, Mas Iklil, Mas Daroin, Mas Fajar, Mas Imam, Angga, Gusst Taqi, Sholeh, Hanif, Oki, Feliex, Abi, Ujang, Gupron, Gussi Zidny, Ipin dan seluruh penghuni yang tidak bisa saya sebutkan satu PERSATU.
7. Konco ngopi cak Udin dan cak Mat ketel yang selalu memberikan nasehat nasehatnya pada penulis
8. Masyarakat gang 3E timur atas keramahan dan motivasi yang diberikan pada penulis
9. Konco Surgo terkhusus Titin, Nizam, dan Aris tanpa alasan untuk seluruhnya.
10. Teman-teman angkatan 2012 L30-VARUNA yang selalu hadir memberikan semangat dan menemani penulis berdiskusi serta senior-senior penulis yang banyak membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini baik dalam perhitungan dan pembahasan.
11. Erna, Ika Nur, Isma, Asmaul, Lidya yang senantiasa memberikan dukungan bagi penulis lewat teror-terornya.

12. Muhammad fathurrozi dan Yoffan Ramadhan selaku teman KP penulis yang selalu memberikan masukan dan saran pada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini, lewat diskusi yang panjang
13. Channel Diskus OP yang menghibur penulis
14. Dan semua pihak yang telah memberikan bantuan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
UCAPAN TERIMA KASIH.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR NOTASI.....	xxi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 Metode Instalasi Pipa Bawah laut.....	6
2.2.1.1 Metode <i>S-Lay</i> .....	6
2.2.1.2 Metode <i>J-Lay</i> .....	7
2.2.1.3 Metode Reel-Lay .....	7
2.2.1.4 Metode Tow To Side .....	8
2.2.1.5 Metode Push Pull .....	9
2.2.2 Gaya – gaya yang Bekerja Pada Pipa Bawah Laut .....	10
2.2.2.1 Berat Pipa dan Gaya Apung.....	10
2.2.2.2 Gaya Arus .....	12
2.2.2.3 Gaya Gelombang .....	12

2.2.3	Konfigurasi Pelampung ( <i>Floater Drum</i> ) .....	16
2.2.4	Gaya Tarik .....	17
2.2.5	Gaya Drag berdasarkan Frontal Area Pipa .....	18
2.2.6	Gaya Drag berdasarkan Frontal area Floater .....	19
2.2.7	Perhitungan Gaya Tarik Total.....	19
2.2.8	Konsep Tegangan.....	19
2.2.8.1	Komponen Tegangan Normal.....	20
2.2.8.2	Komponen Tegangan Geser.....	21
2.2.9	Balok dua Bahan .....	22
2.2.9.1	Kuat tekan <i>Concrete</i> .....	23
2.2.9.2	Kuat tarik beton.....	24
2.2.10	<i>Propagation Buckling</i> .....	24
2.2.11	Konsep Analisis Keandalan dalam Perancangan.....	25
2.2.11.1	Keandalan pada sistem rekayasa.....	26
2.2.11.2	Indeks Keandalan.....	28
2.2.11.3	Moda Kegagalan .....	29
2.2.11.4	Metode Simulasi <i>Monte Carlo</i> .....	30
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....		33
3.1	Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	33
3.2	Prosedur Penelitian.....	34
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		35
4.1	Pengumpulan Data .....	35
4.1.1	Data Pipa dan Materialnya.....	35
4.1.2	External Anti Corrosion Coating .....	36
4.1.3	Offshore Concrete Weight Coating .....	36
4.1.4	Anode Cathodic Protection .....	36
4.1.5	Data <i>Floater Drum</i> .....	37
4.1.6	Data Lingkungan.....	38
4.2	Pembebanan Pipa .....	38
4.3	Kebutuhan Pelampung ( <i>Floater Drum</i> ) .....	39
4.3.1	Konfigurasi Pelampung ( <i>Floater Drum</i> ) .....	40
4.4	Gaya Tarik.....	40
4.5	Transformasi Balok 2 Bahan .....	42

4.6 Tegangan Pipa .....	42
4.7 Simulasi Monte Carlo.....	45
4.7.1 Moda Kegagalan .....	45
4.7.2 Variabel Acak .....	46
4.7.3 Peluang Kegagalan.....	47
4.7.4 Keandalan .....	52
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>55</b>
4.8 Kesimpulan.....	55
4.9 Saran.....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>57</b>

..... *Halaman ini sengaja dikosongkan* .....



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Proses instalasi pipa dengan metode Push Pull.....	1
Gambar 1. 2 Ilustrasi instalasi pipa bawah laut dengan metode Push Pull.....	2
Gambar 2. 1 Ilustrasi Instalasi Metode S-lay.....	6
Gambar 2. 2 Ilustrasi Instalasi Metode J-Lay .....	7
Gambar 2. 3 Ilustrasi Instalasi Metode <i>Reel Lay</i> .....	8
Gambar 2. 4 Ilustrasi Instalasi Metode <i>Tow to Side</i> .....	9
Gambar 2. 5 Grafik <i>Region of Validity</i> .....	13
Gambar 2.6 Gaya geser dan gaya tarik a. gaya tarik searah dengan benda b. Gaya tarik yang mempunyai sudut terhadap benda c. gaya tarik pada benda miring. ....	17
Gambar Gambar 2. 7 Diagram tegangan dan Regangan pada penampang Dua Bahan.....	23
Gambar 2. 8 a.Padanan dalam bahan 1, b. padanan dalam bahan 2 .....	23
Gambar 2. 9 Skema Propagation Buckling.....	24
Gambar 2. 10 Grafik Fungsi Kerapatan peluang (fkp) dari kapasistas X dan tuntutan Y .....	26
Gambar 2. 11 Grafik distribusi kumulatif dan fungsi kerapatan peluang pada angka keamanan $Z=X/Y$ .....	27
Gambar 2. 12 Grafik fungsi kerapatan peluang untuk margin keselamatan .....	28
Gambar 2. 13 Tahapan simulasi Monte Carlo .....	31
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	33
Gambar 4. 1 Konfigurasi Pelampung.....	40
Gambar 4. 2 Grafik Gaya Tarik <i>Pipeline</i> .....	41
Gambar 4. 3 Free body diagram beam.....	43
Gambar 4. 4 Free body diagram beam satu ujung bebas .....	43
Gambar 4. 5 Hasil running 10.000 non variasi .....	47
Gambar 4. 6 Hasil running 100.000 non variasi .....	48
Gambar 4. 7 hasil running 10.000 kali variasi 1,96 MPa .....	49
Gambar 4. 8 hasil running 100.000 variasi 1,96 MPa .....	49
Gambar 4. 9 hasil running 10.000 variasi 2 MPa .....	50
Gambar 4. 10 Hasil running 100.000 variasi 2 MPa.....	50
Gambar 4. 11 Hasil running variasi 2 MPa.....	51
Gambar 4. 12 Hasil running 100.000 variasi 2,04 MPa.....	51
Gambar 4. 13 Grafik hubungan keandalan dan tekanan eksternal.....	53
Gambar 4. 14 grafik hubungan keandalan dan tekanan eksternal hasil running 100.000 .....	53

..... *Halaman ini sengaja dikosongkan* .....

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 <i>Recomended Hydrodynamics Coefficient</i> (Mouselli,1981) .....	16
Tabel 4. 1 Data Pipa dan Propertisnya .....	35
Tabel 4. 2 <i>Data Properties Corrosion Coating</i> .....	36
Tabel 4. 3 <i>Data Concrete Coating</i> .....	36
Tabel 4. 4 Data Anoda .....	37
Tabel 4. 5 <i>Data Properties Floater Drum</i> .....	37
Tabel 4. 6 Data Lingkungan.....	38
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Pembebanan Pada Pipa .....	38
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Kebutuhan <i>Floater Drum</i> .....	39
Tabel 4. 9 Perhitungan Gaya Tarik .....	40
Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Defleksi Maksimum.....	41
Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Transformasi Pipa Dan Beton .....	42
Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan Tegangan Aksial <i>Bending</i> Dan Tegangan Total .....	44
Tabel 4. 13 Variabel – Variabel moda kegagalan.....	46
Tabel 4. 14 Distribusi Variabel Acak .....	46
Tabel 4. 15 Peluang Kegagalan .....	52
Tabel 4. 16 Keandalan .....	52

..... *Halaman ini sengaja dikosongkan* .....

## DAFTAR NOTASI

$A_c$  = Total metal surface (m<sup>2</sup>)

$B_j$  = Buoyancy Requirement (N/m)

$B_{fa}$  = Buoyancy Force of Floater (N)

$du/dt$  = percepatan aliran (m/s<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  = Utilization Factor

$f_{cm}$  = mean coating breakdown factor

$L_{sa}$  = Panjang Pipa yang dianalisis (m)

$L_j$  = Panjang antar joint dalam satu pipa (m)

$z$  = ketebalan layer (m)

$z_o$  = parameter kekasaran sea bed

$Z_r$  = ketinggian di atas sea bed (m)

$\Theta$  = sudut fasa (derajat)

$\theta_{curr}$  = sudut datang arus (derajat)

..... *Halaman ini sengaja dikosongkan* .....

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A Perhitungan Beban Pipa
- Lampiran B Perhitungan Kebutuhan Anoda
- Lampiran C Perhitungan *Floater Drum*
- Lampiran D Perhitungan Gaya
- Lampiran E Perhitungan Gaya Tarik
- Lampiran F Perhitungan Tegangan
- Lampiran G Perhitungan transformasi 2 bahan
- Lampiran H Simulasi *Monte Carlo*

..... *Halaman ini sengaja dikosongkan* .....



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Instalasi pipa bawah laut dilepas pantai saat ini menjadi sebuah hal yang sangat familiar dalam perkembangan industri minyak dan gas dilepas pantai, karena sebelum pipa bawah laut tersebut beroperasi terlebih dahulu harus melalui tahap instalasi. Pipa bawah laut atau lebih sering dikenal dengan istilah *Offshore Pipelines* digunakan untuk berbagai maksud dan tujuan dalam pengembangan sumber daya hidrokarbon di lepas pantai, termasuk pipa transportasi untuk ekspor, pipa penyalur untuk mengangkut produksi dari suatu *platform* ke pipa ekspor (Soegiono, 2007).

Proses instalasi pipa bawah laut memerlukan analisis yang kompleks untuk menghindari terjadinya kegagalan. Pertimbangan kondisi lingkungan sangat penting untuk diperhatikan selama proses instalasi, dikarenakan selama proses instalasi pipa akan mendapatkan pengaruh langsung baik dari gaya gelombang, gaya arus, ataupun gaya berat dari beban perpipaan itu sendiri. Hal ini dikarenakan dalam proses instalasi pipa bawah laut, pipa akan mendapatkan beban hidrodinamis secara langsung mengenai pipa, yakni berupa gaya *drag*, dan *internal force* melalui gelombang arus (Stewart dan Frazer, 1966).

Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis tentang gaya yang dialami oleh pipa selama proses instalasi dalam proyek instalasi pipa bawah laut oleh PT. Dwisatu Mustika Bumi di daerah Sangatta dengan metode *Push Pull*.

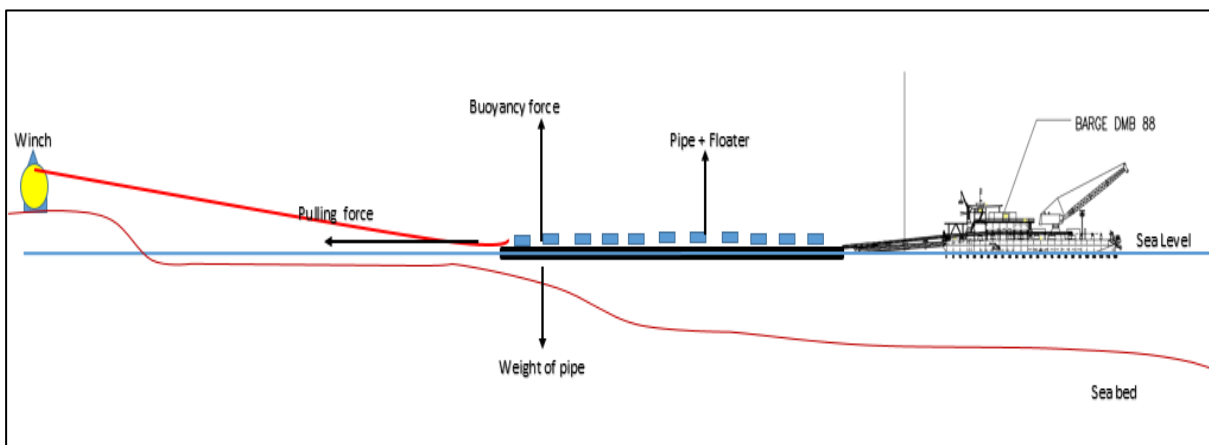


Gambar 1. 1 Proses instalasi pipa dengan metode Push Pull

(Sumber : Asfaun, Laporan Kerja Praktek, 2015)

Hal ini dimaksudkan ketika sudah diketahui besar gaya yang diterima oleh pipa dapat dijadikan pertimbangan untuk dilakukan instalasi secara aman berdasar tegangan yang dialami pipa. Instalasi pipa bawah laut pada umumnya menggunakan metode *S-Lay*, *J-Lay*, *Towing* dan *Reeling*. Namun ada metode khusus dalam instalasi *pipeline* yang disebut dengan metode *Push Pull*. Di mana dalam metode *Push pull* tersebut, pipa disambung di atas *laybarge* kemudian ditarik menuju darat (*onshore*) dengan menggunakan *winch*. Pemilihan metode instalasi yang digunakan bergantung pada kondisi lingkungan dan perilaku system instalasi pipa yang mendapatkan berbagai gaya yang bekerja selama instalasi yang dapat mengakibatkan kegagalan (Rizal,2015)

Metode *Push Pull* merupakan salah satu metode instalasi pipa bawah laut yang di gunakan di area yang cenderung tegak lurus dengan daerah rawa atau garis pantai. Dalam hal instalasi, pipa di sambung diatas *barge* melalui roller dan diluncurkan dengan bantuan stinger yang dimiliki *lay barge*, selanjutnya untuk melakukan penarikan pipa dari kapal menuju daratan, dilakukan dengan bantuan *Winch* yang terlebih dahulu terpasang di darat. Jalur yang dilalui oleh pipa sebelumnya telah dibuat semacam parit (*trenching*) untuk memudahkan dalam proses penarikan. Metode *Push Pull* ini, pada tahun 2015 metode ini pernah diterapkan juga oleh Saipem, melalui anak perusahaannya ERSAI Caspian Contractor LLC, telah diberikan oleh GAS KCO (anak perusahaan Kazakh dari GAS Italy) kontrak untuk survei dan penentuan posisi konstruksi dua pipa masing-masing 95 km. Pipa-pipa akan menghubungkan Pulau D di Laut Kaspia ke pabrik darat di Kazakhstan. Untuk proses instalasi pipa tersebut menggunakan Tug bpat untuk mendukung metode *Push Pull* ini.



Gambar 1. 2 Ilustrasi instalasi pipa bawah laut dengan metode *Push Pull*

(Sumber : PT.DMB,2015)

Dalam konsep keandalan selama proses instalasi, analisis keandalan diperoleh melalui moda kegagalan *propagation buckling* menggunakan simulasi *Monte Carlo*. Berdasarkan API RP 1111 adalah :

*Propagation Buckling* :

$$P_o - P_i \geq f_p P_p$$
$$P_p = 24 \cdot S \cdot \left[ \frac{t_n}{D} \right]^{2.4} \quad (1.1)$$

Dengan :

$P_o$  = Tekanan Eksternal (MPa)

$P_i$  = Tekanan Internal (MPa)

$f_p$  = Faktor Desain *Propagation Buckling* = 0.8

$P_p$  = Tekanan *Propagation Buckling* (MPa)

$t_n$  = Ketebalan Dinding Nominal Pipa (m)

$S$  = *Specified minimum yield Strength* (MPa)

## 1.2 Perumusan Masalah

Berikut adalah rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini, meliputi :

1. Berapa besar gaya-gaya yang diterima pipa saat instalasi pipa bawah laut dengan metode *Push Pull* ?
2. Bagaimana tegangan yang dialami pipa saat instalasi pipa bawah laut dengan metode *Push Pull* ?
3. Bagaimana keandalan pipa bawah laut terhadap *propagation buckling* selama proses instalasi ?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Menganalisis gaya-gaya yang diterima pipa serta pengaruhnya terhadap pipa selama instalasi dengan metode *Push Pull* berlangsung.
2. Menganalisis tegangan yang dialami pipa selama instalasi pipa bawah laut dengan metode *Push Pull*.
3. Mengetahui keandalan pipa bawah laut terhadap *propagation buckling* selama proses instalasi.

## 1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya gaya dan tegangan yang dialami pipa selama proses instalasi serta pengaruhnya terhadap kondisi pipa. Dapat menjadi acuan dalam aplikasi metode *Push Pull* untuk penggelaran pipa bawah laut dengan kondisi

alam dekat pantai dengan aman setelah mengetahui keandalan pipa terhadap *propagation buckling* selama proses instalasi.

### **1.5 Batasan Masalah**

1. Menggunakan studi kasus proyek instalasi pipa bawah laut oleh PT Dwisatu Mustika Bumi di Sangatta.
2. Metode instalasi yang digunakan adalah metode instalasi *Push Pull*.
3. Beban yang bekerja pada pipa adalah beban internal dan eksternal
4. Setiap line pipe panjangnya 12,2 meter
5. *Pipe Lay Barge* dalam kondisi tertambat (diam)
6. Arah datang gelombang pada 90 derajat
7. Diameter pipa yang digunakan adalah 20 inch
8. Kondisi lingkungan yang dipertimbangkan adalah gelombang dan arus
9. Data arus dan gelombang adalah data yang digunakan saat proses instalasi
10. Analisis keandalan menggunakan metode simulasi *Monte Carlo*

### **1.6 Sistematika Penulisan Tugas Akhir**

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dijelaskan sebagai berikut :

1. Bab I Pendahuluan, berisi tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam tugas akhir ini, manfaat yang diperoleh, batasan masalah dan sistematika penulisan laporan.
2. Bab II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori, berisi tentang tinjauan pustaka dari penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya yang menjadi sumber referensi dalam tugas akhir ini dan dasar-dasar teori, rumus-rumus dan code yang digunakan dalam penelitian tugas akhir.
3. Bab III Metodologi Penelitian, berisi tentang penjelasan metodologi penelitian yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir. Penjelasan tentang langkah-langkah yang ada dan data-data yang digunakan dalam penelitian.
4. Bab IV Analisis dan Pembahasan, berisi tentang uraian dari hasil pengolahan data dan hasil perhitungan dan pembahasan mengenai keduanya.
5. Bab V Kesimpulan dan Saran, berisi tentang kesimpulan akhir dari hasil analisis dan pembahasan serta saran yang diperlukan untuk penelitian lebih lanjut dari tugas akhir.
6. Bagian terakhir dari laporan ini adalah Daftar Pustaka. Bagian ini menampilkan seluruh informasi dan dokumen tertulis yang dijadikan landasan dan pengembangan penelitian. Penulisan daftar pustaka ini mengikuti *Harvard System*.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Pipa Bawah laut atau lebih sering dikenal dengan istilah *Offshore Pipelines* digunakan untuk berbagai maksud dalam pengembangan sumber daya hidrokarbon di lepas pantai, termasuk pipa transportasi untuk ekspor, pipa penyalur untuk mengangkut produksi dari suatu *platform* ke pipa ekspor (Soegiono, 2007).

Penelitian yang dilakukan oleh Ardiansyah (2015) menjelaskan tentang analisis terkait proses instalasi dengan metode *Surface tow*, dalam proses instalasinya dijelaskan bahwa instalasi pipa bawah laut dengan metode ini memerlukan pelampung (*floater*) tambahan untuk mengapungkan pipa selama proses instalasi, namun sedikit berbeda dengan metode *Push Pull*, metode *Surface tow* menggunakan kapal untuk menarik pipa dari darat menuju ke perairan, sedangkan metode *Push Pull* sebaliknya yakni penarikan pipa dilakukan dari darat menggunakan bantuan *Winch*.

Penelitian yang lain dilakukan oleh Harmasto (2002) menjelaskan tentang konsep keandalan dengan menggunakan simulasi *monte carlo* yang diaplikasikan untuk mengetahui tingkat stabilitas pipa bawah laut akibat dari adanya pengaruh beban-beban Hidrodinamis pipa bawah laut, namun demikian dalam penentuan moda kegagalan *pipeline* hanya mengacu pada gaya yang bekerja pada pipa, hal ini belum sesuai dengan yang penulis harapkan, terkait adanya *propagation buckling* yang berpengaruh pada proses instalasi pipa.

Penelitian yang dilakukan oleh Nuraini (2016) menjelaskan juga terkait dengan penggunaan metode simulasi monte carlo untuk mengetahui analisis resiko pipa bawah laut, meskipun secara penjelasan persamaan umum dari moda kegagalan sudah dicantumkan, yakni moda kegagalan diperoleh dengan menjumlahkan pengurangan antara variasi kekuatan dengan variasi beban. Moda kegagalan yang digunakan adalah pengaruh tegangan dinamis pada pipa akibat gabungan tegangan normal dan tegangan tangensial, sedangkan penulis hanya akan membahas terkait tegangan longitudinal.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Fathurrozi (2016) menjelaskan tentang tegangan longitudinal yang dialami oleh pipa selama proses instalasi menggunakan metode *Push Pull*. Dengan memperhatikan gaya gaya dan faktor lingkungan, analisis yang dilakukannya bisa dikatakan sesuai dengan yang penulis harapkan, namun belum ada gambaran terkait faktor faktor lain yang bisa menyebabkan kegagalan saat instalasi pipa bawah laut dengan metode tersebut. Hal inilah yang mendasari penulis untuk menganalisis pengaruh *Propagation*

*Buckling* sebagai salah satu hal yang mungkin menjadi penyebab kegagalan selama proses instalasi pipa bawah laut dengan metode *Push Pull*.

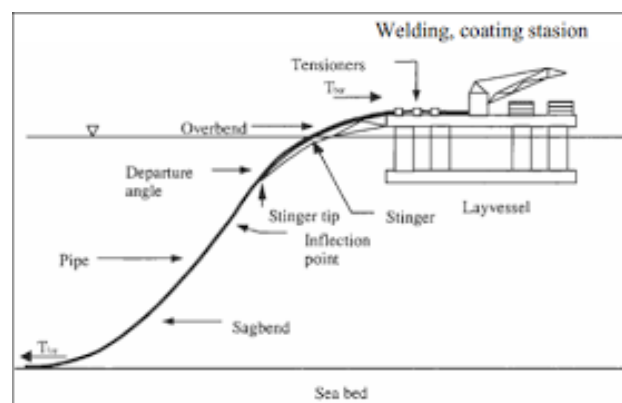
## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Metode Instalasi Pipa Bawah laut

Instalasi pipa bawah laut dilakukan menggunakan kapal khusus (*lay-vessel* atau *Pipe lay barge*). Ada beberapa metode dalam instalasi pipa bawah laut, pemilihan ini didasarkan atas dua aspek yakni dari lokasi proses fabrikasi dan pertimbangan kedalaman perairan. Metode yang umum digunakan yaitu *S-Lay*, *J-Lay* serta *reel lay*, dan ada beberapa metode lain yang juga diterapkan sesuai dengan keadaan lokasi instalasi diantaranya metode *Tow to Side* meliputi *Bottom Tow*, *Off Bottom Tow*, *Surface Tow*, *Control Depth Tow*, dan juga metode lain yaitu *Push Pull*.

#### 2.2.1.1 Metode S-Lay

Metode instalasi jenis ini sering digunakan untuk instalasi pipa bawah laut dengan tingkat kedalaman dasar laut relatif dangkal berkisar sampai kedalaman 150 meter. Pada metode ini, pengelasan pipa dilakukan di *barge* tepatnya pada bagian *roller* yang kemudian disalurkan menuju ke *stinger* hingga menuju dasar laut. Pipa pada *stinger* akan mengalami lekukan akibat perbedaan elevasi awal pipa terhadap dasar laut yang biasa disebut sebagai daerah *overbend*. Lekukan yang terjadi sebelum pipa mencapai dasar laut inilah yang disebut sebagai daerah *sagbend*. Konfigurasi *overbend* dan *sagbend* ini membentuk huruf “S” sehingga metode instalasi ini disebut sebagai metode *s-lay*. Hal yang perlu diperhatikan dalam instalasi pipa bawah laut terutama dalam metode *S-Lay* adalah besarnya tegangan yang terjadi, ada 2 area yang harus diperhatikan yaitu *overbend* dan *sagbend*. Kedua daerah tersebut sangat rawan terjadi *buckling* akibat tekanan hidrostatik, *tension*, dan *bending* saat pembebanan (Yong bay, 2001).

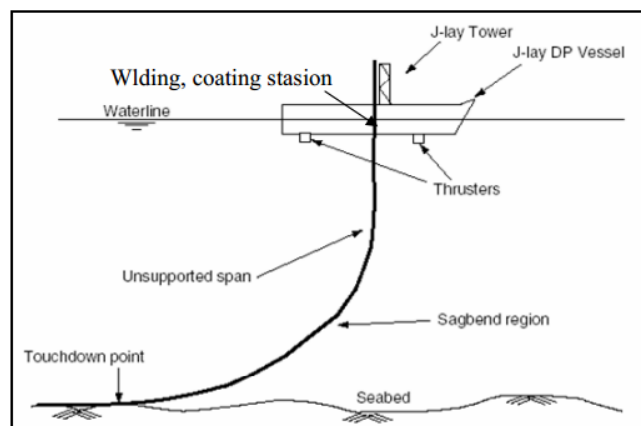


Gambar 2. 1 Ilustrasi Instalasi Metode S-lay

(Sumber : Yong bay, 2001)

### 2.2.1.2 Metode J-Lay

Berbeda dengan metode *S-Lay*, metode *J-Lay* diaplikasikan untuk instalasi pipa bawah laut dengan kedalaman perairan relatif dalam berkisar antara 150-300 meter. Saat instalasi, tidak terjadi overbend karena pada *barge* tidak digunakan *stinger*. Dibandingkan dengan metode *S-Lay* metode ini hanya mempertimbangkan 1 kondisi kritis yakni adanya daerah *sagbend*. Instalasi dilakukan dengan cara menempatkan pipa dalam posisi vertikal. *Barge* yang digunakan untuk instalasi dilengkapi dengan menara (*J-Lay tower*) yang berguna untuk memposisikan pipa dan tempat penyambungan pipa.



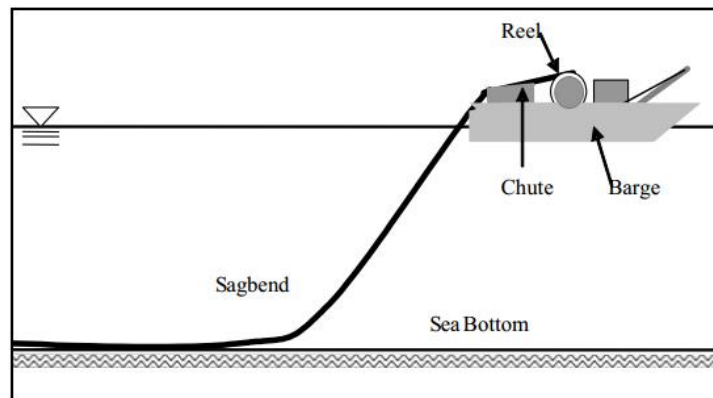
Gambar 2. 2 Ilustrasi Instalasi Metode J-Lay

(Sumber : Yong bay, 2001)

### 2.2.1.3 Metode Reel-Lay

Metode *Reel-lay* merupakan metode instalasi pipa bawah laut dengan mempertimbangkan aspek fabrikasi, yakni proses pembuatan dan penyambungan pipa dilakukan di daratan (*onshore fabrication yard*). Metode *reel-lay* diaplikasikan untuk instalasi pipa bawah laut dengan tingkat kedalaman perairan berkisar antara 100-1000 meter. Dalam metode ini ada keterbatasan dari segi jenis dan ukuran pipa yang akan di instal, mayoritas pipa yang di instal berukuran kecil dan dari jenis pipa fleksibel. Saat instalasi dibutuhkan lay barge yang memiliki pipe reel besar karena pipa yang akan di instal akan di gulung di *pipe reel* tersebut. Cara menggulung pipa panjang pada sebuah gulungan berukuran raksasa (*pipe reel*) yang kemudian pipa tersebut akan dipasang di dasar laut seperti pada pemasangan kabel bawah laut. Pipa yang digunakan untuk metode ini tidak dilapisi dengan selimut beton. Adapun lapisan pelindung yang digunakan berupa lapisan anti korosi seperti lapisan dari bahan “epoxy”. Pipa terlebih dahulu dibuat di darat baru kemudian ditarik dan digulung ke *pipe reel* dalam *barge*. Setelah proses penggulangan kemudian barge bergerak menuju tempat pemasangan pipa.

Adapun dalam prosesnya instalasinya dapat menggunakan metode *S-lay* atau *J-lay* bergantung pada tingkat kedalaman dan jenis *lay barge*.



Gambar 2. 3 Ilustrasi Instalasi Metode *Reel Lay*

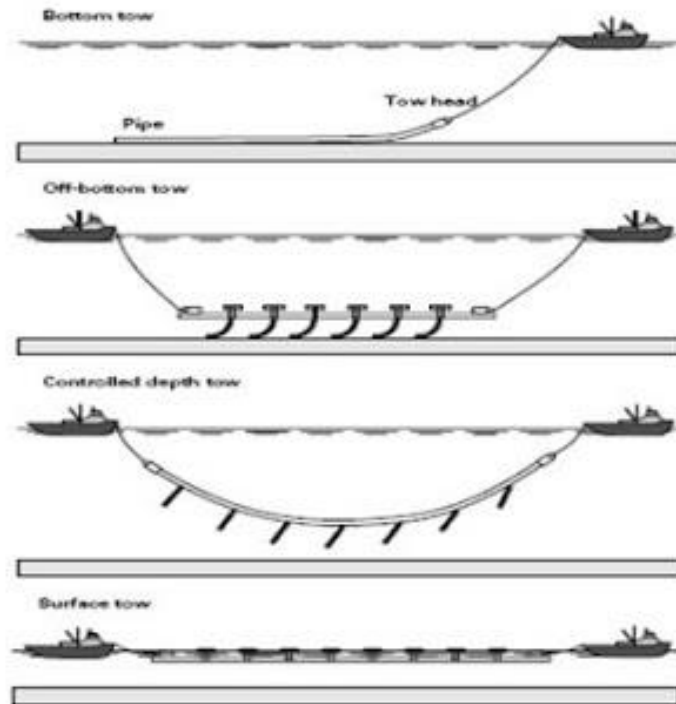
(Sumber : Yong bay, 2001)

#### 2.2.1.4 Metode Tow To Side

Metode ini hampir sama dengan metode *Reel-lay* dalam hal fabrikasi, yakni proses pembuatan dan penyambungan pipa dilakukan di daratan (*onshore fabrication yard*). Perbedaannya adalah dalam hal Instalasi, ketika proses Instalasi, metode Tow to Side menggunakan kabel control berupa kabel baja (*wire rope*) untuk menarik pipa ke perairan dengan bantuan floater untuk menjaga agar pipa dalam kondisi terapung di permukaan laut. Dalam prosesnya ada 4 jenis yang dikelompokkan dalam metode Tow to Side yakni:

1. Bottom Tow
2. Surface Tow
3. Off Bottom Tow
4. Control Depth tow





Gambar 2. 4 Ilustrasi Instalasi Metode *Tow to Side*

Sumber : ([http://bukit-dago-selatan.blogspot.co.id/2010\\_12\\_21\\_archive.html](http://bukit-dago-selatan.blogspot.co.id/2010_12_21_archive.html))

### 2.2.1.5 Metode Push Pull

Metode ini dalam aplikasinya hampir sama dengan metode *Tow to Side*, namun berbeda dalam hal penarikannya, jika dalam metode *Tow to side* dilakukan penarikan pipa dari darat menuju ke perairan, hal ini berlaku sebaliknya dalam metode *push pull*. Metode ini biasa digunakan di area yang cenderung tegak lurus dengan daerah rawa atau garis pantai. Dalam hal Instalasi, pipa di sambung diatas *barge* melalui roller dan diluncurkan dengan bantuan stinger yang dimiliki lay *barge*, selanjutnya untuk melakukan penarikan pipa dari kapal menuju daratan, dilakukan dengan bantuan Winch yang terlebih dahulu terpasang di darat. Jalur yang dilalui oleh pipa sebelumnya telah dibuat semacam parit (*Trenching*) untuk memudahkan dalam proses penarikan. Saat Instalasi ujung pipa yang masih berada pada roller *barge* di tambahkan pull head untuk mengikat kabel wire yang selanjutnya kabel tersebut disambungkan ke winch yang ada di darat. Untuk mempermudah proses penarikan, sebelum pipa diluncurkan terlebih dahulu pipa di tambahkan semacam pelampung (*floaters drum*). Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi besarnya gesekan antara pipa dengan tanah selama proses penarikan berlangsung, penentuan jumlah pelampung disesuaikan dengan jumlah kebutuhan tiap satu line pipe dengan sebelumnya telah dilakukan analisis terhadap daya apung pelampung.

## 2.2.2 Gaya – gaya yang Bekerja Pada Pipa Bawah Laut

### 2.2.2.1 Berat Pipa dan Gaya Apung

Salah satu pertimbangan dalam perhitungan kestabilan pipa bawah air adalah berat pipa didalam air sehingga mampu menahan gaya-gaya yang dapat membuat pipa menjadi tidak stabil. Berat pipa dapat dihitung berdasarkan berat bajanya (*steel pipe*), lapisan anti korosi (*corrothion coating*), lapisan beton (*concrete coating*) dan lapisan lainnya, serta isi yang ada didalam pipa.

Berikut adalah perhitungan berat pipa berdasar (Mousselli, 1981) yaitu dengan memperhitungkan berat semua lapisan pada pipa.

- Diameter total pipa

$$D_{tot} = D_{st} + 2.t_{corr} + 2.t_{conc} \quad (2.1)$$

- Berat baja (*steel pipe*)

$$W_{st} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{st}^2 - D_t^2) \cdot \rho_{st} \cdot g \quad (2.2)$$

- Berat lapisan korosi (*corrosion coating*)

$$W_{corr} = \frac{\pi}{4} \cdot [(D_{st} + 2.t_{corr})^2 - D_{st}^2] \cdot \rho_{corr} \cdot g \quad (2.3)$$

- Berat isi pipa (*content*)

$$W_{cont} = \frac{\pi}{4} \cdot D_i^2 \cdot \rho_{cont} \cdot g \quad (2.4)$$

- Berat total pipa

$$W_{tot} = W_{st} + W_{corr} + W_{conc} + W_{cont} \quad (2.5)$$

Berat pipa diatas pipa pada rumus diatas merupakan berat pipa sebelum masuk ke dalam air. Diketahui bahwa setiap benda yang masuk ke dalam air akan mengalami gaya apung. Dikenal dengan hukum Archimedes, bahwa sebuah benda yang seluruhnya atau sebagian tercelup didalam fluida akan mengalami gaya apung (*bouyancy*) ke atas dengan suatu gaya yang sama dengan berat fluida yang dipindahkan volume dari benda tersebut.

Gaya apung ini sesuai dengan persamaan dalam (Mousselli, 1981) dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$F_{bouyancy} = \rho_{fluida} \cdot V_{benda \ yang \ tercelup} \cdot g \quad (2.6)$$

Gaya apung dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$B = \rho_{sw} \cdot V \cdot g = \frac{\pi}{4} \cdot D_{tot}^2 \cdot \rho_{sw} \cdot g \quad (2.7)$$

Sehingga berat total pipa dalam air (*submerge weight*) adalah:

$$W_s = W_{tot} - B = W_{st} + W_{corr} + W_{cont} + W_{conc} - B \quad (2.8)$$

Untuk menghindari melayangnya pipa dipermukaan air, maka berat pipa tidak boleh kurang dari gaya apungnya dan diusahakan minimal 10% dari berat gaya apungnya. Dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$W_{tot}/B \geq 1.1 \quad (2.9)$$

Atau ditulis juga dengan berat pipa yang terendam di dalam air sebagai berikut :

$$(W_s + B)/B \geq 1.1 \quad (2.10)$$

Dari persamaan diatas faktor g dapat saling meniadakan. Sehingga dalam hal ini, satuan dari gaya berat pipa dan gaya apungnya dapat dianggap sebagai massa per satuan panjang dari pipa.

Keterangan :

$D_{st}$  = Diameter terluar pipa baja (steel) (m)

$D_{corr}$  = Diameter terluar lapisan korosi (m)

$D_{tot}$  = Diameter total dari pipa (m)

$D_i$  = Diameter dalam pipa baja (m)

$T_{corr}$  = Tebal lapisan korosi (m)

$T_{conc}$  = Tebal lapisan beton (*concrete*) (m)

$W_{st}$  = Berat dari pipa baja (N/m)

$W_{corr}$  = Berat dari lapisan korosi (N/m)

$W_{conc}$  = Berat dari lapisan beton (N/m)

$W_{cont}$  = Berat isi dalam pipa (N/m)

$W_s$  = Berat pipa dalam air (N/m)

$\rho_{st}$  = Massa jenis pipa baja ( $Kg/mm^3$ )

$\rho_{corr}$  = Massa jenis lapisan korosi ( $Kg/mm^3$ )

$\rho_{conc}$  = Massa jenis lapisan beton ( $Kg/mm^3$ )

### 2.2.2.2 Gaya Arus

Gaya arus laut juga memberikan pengaruh terhadap struktur lepas pantai. Arus akibat pasang surut memiliki kecepatan yang semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman sesuai fungsi non-linear. Sedangkan arus yang disebabkan oleh angin memiliki karakter yang sama, tetapi dalam fungsi linear. Kecepatan arus berdasarkan DNV RP 109 dirumuskan dalam formulasi matematis berikut :

$$U_r = \left[ \frac{\left(1 + \frac{z_0}{D}\right) \cdot \left(\ln\left(\frac{D}{z_0} + 1\right) - 1\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0} + 1\right)} \cdot \sin(\theta_{curr}) \right] \quad (2.11)$$

Keterangan :

U = kecepatan arus pada ketinggian y dari seabed (m/s)

U<sub>0</sub> = kecepatan arus yang diketahui pada y<sub>0</sub> (m/s)

D = diameter luar pipa (m)

Y = kedalaman laut (m)

Y<sub>0</sub> = ketinggian orbit partikel dari seabed, m

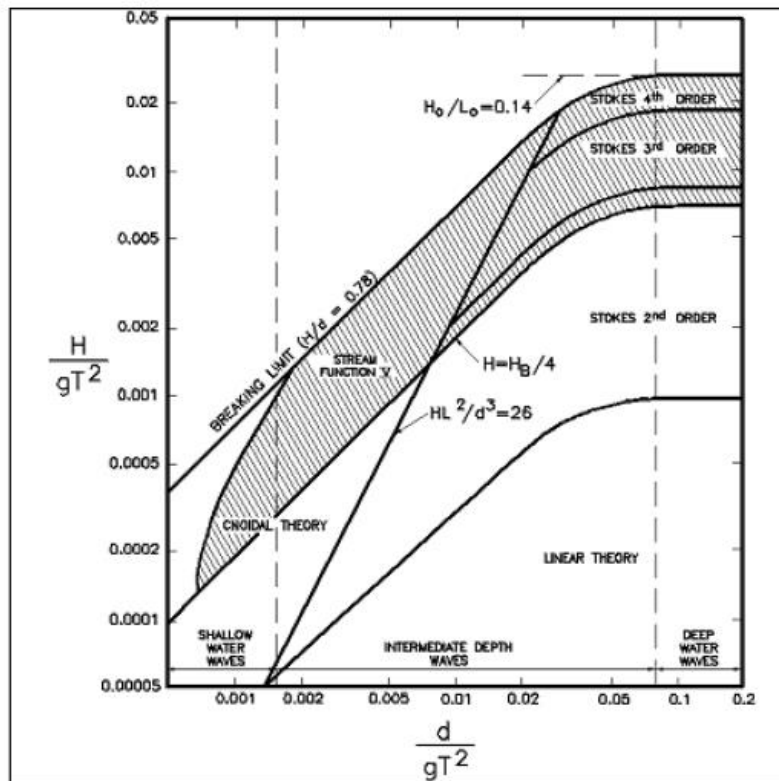
### 2.2.2.3 Gaya Gelombang

#### 1. Penentuan Teori Gelombang

Penentuan teori gelombang yang akan digunakan dapat dilakukan dengan menggunakan grafik validitas yang disebut “*Region of Validity of Wave Theories*” dengan menggunakan parameter-parameter gelombang yang ada seperti tinggi gelombang (H), Periode gelombang (T), dan kedalaman air (d). Dengan pendekatan formula matematika, Mousseli (1981) memberikan rumusan sebagai berikut :

$$\left[\frac{H}{gT^2}\right] \text{ dan } \left[\frac{d}{gT^2}\right] \quad (2.12)$$

Hasil dari formulasi matematika tersebut kemudian disesuaikan dengan grafik. Daerah aplikasi teori gelombang “*Regions of Validity of Wave Theories*”, sehingga dapat diketahui teori gelombang yang akan digunakan.



Gambar 2. 5 Grafik *Region of Validity*

Sumber : (Mousseli,1981)

## 2. Perhitungan Properti Gelombang

Panjang gelombang sebagai fungsi dari kedalaman untuk teori gelombang stokes orde 2 diperoleh dari iterasi persamaan berikut :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi}{L} \quad (2.13)$$

Teori gelombang stokes orde 2

Persamaan kecepatan dan percepatan partikel gelombang pada arah horizontal untuk teori gelombang stokes orde 2 dapat diketahui dari persamaan berikut (Chakrabarti, 1987)

Kecepatan Horizontal :

$$\mu = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left( \frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh^4 kd} \quad (2.14)$$

Keterangan :

d = Kedalaman laut (m)

k = Angka gelombang

H = Tinggi gelombang pada kedalaman yang ditinjau (m)

T = Periode gelombang, (s)

$\emptyset$  = Frekuensi gelombang (rad/s)

h = Kedalaman laut (m)

s = Jarak vertikal titik yang ditinjau dari dasar laut (m)

y = Jarak vertikal suatu titik yang ditinjau terhadap muka air diam (m)

L = Panjang gelombang pada kedalaman yang ditinjau (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

### 3. Gaya Hidrodinamika

Gaya-gaya hidrodinamis seperti gaya drag, gaya inersia dan gaya angkat, terjadi akibat adanya gerakan relatif antara pipa dengan fluida disekitarnya. Dengan adanya gerakan relatif ini, maka akan timbul kecepatan dan percepatan relatif partikel air. Gerakan ini dapat disebabkan gelombang dan arus.

### 4. Gaya drag (*drag force*)

Gaya drag yang bekerja pada struktur pipa di dasar laut per satuan panjang pipa dirumuskan berikut ini (Mousselli, 1981) :

$$F_d = \frac{1}{2} \rho \cdot C_d \cdot D \cdot U_e^2 \quad (2.15)$$

Keterangan :

$\rho$  = Densitas Fluida (Kg/mm<sup>3</sup>)

C<sub>d</sub> = Koefisien Drag

D = Diameter terluar pipa (m)

U<sub>e</sub> = Kecepatan efektif partikel (m/s)

### 5. Gaya Inersia (*Inertia Force*)

Gaya inersia yang bekerja pada struktur pipa persatuan panjang dirumuskan sebagai berikut (Mousselli, 1981) :

$$F_i = \rho \cdot C_i \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot U_e^2 \quad (2.16)$$

Keterangan :

$\rho$  = Densitas Fluida (Kg/mm<sup>3</sup>)

C<sub>i</sub> = Koefisien Inersia

D = Diameter terluar pipa (m)

dU/dt = Percepatan horizontal partikel air (m/ss<sup>2</sup>)

## 6. Gaya Angkat (*Lift Force*)

Gaya angkat (*Lift force*) yang bekerja pada struktur pipa bawah laut sebagai berikut (Mousselli, 1981) :

$$FL = \frac{1}{2} \rho \cdot Cl \cdot D \cdot Ue^2 \quad (2.17)$$

Keterangan :

$\rho$  = Densitas Fluida (Kg/mm<sup>3</sup>)

CL = Koefisien Lift

D = Diameter terluar pipa (m)

Ue = Kecepatan efektif partikel (m/dt)

## 7. Koefisien Hidrodinamis

Banyak penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan harga koefisien hidrodinamis, baik dilakukan di laboratorium maupun langsung dilakukan di lapangan. Hasil penelitian sangat beragam. Ketidak seragaman hasil penelitian tersebut disebabkan oleh banyak faktor, antara lain jumlah dan arah gelombang, perbedaan teori gelombang yang digunakan, kekasaran akibat *marine growth*, arus, formasi *vortex* dan lainnya. Perintis dalam penelitian nilai koefisien hidrodinamis tersebut adalah Keulegan dan Carpenter (Chakrabarti, 1987). Penelitian di laboratorium dilakukan untuk mendapat hubungan antara Cd, Cm dan Cl dengan *Reynold Number* (Re) dan *Keulegan Carpenter Number* (KC), sehingga diketahui bahwa koefisien hidrodinamis tergantung pada dua parameter nondimensional tersebut. Perumusannya sebagai berikut (Sarpkaya and Isaacson, 1981) :

*Reynold Number* :

$$Re = \frac{UeD}{\nu} \quad (2.18)$$

*Keulegan Carpenter* :

$$K = \frac{UeT}{D} \quad (2.19)$$

Koefisien Kekasaran Pipa (k) :

$$E = k \cdot D \quad (2.20)$$

Hasil dari perhitungan parameter tersebut dimasukkan pada grafik variasi koefisien *drag*, *lift*, dan inersia. Berikut ini grafik untuk mencari koefisien drag dan koefisien massa. Hasil dari perhitungan parameter tersebut dimasukkan pada grafik variasi koefisien *drag*, *lift*, dan inersia. Desainer harus dapat menerapkan nilai koefisien hidrodinamis sesuai dengan keadaan sebenarnya di lapangan. Beberapa pihak mempunyai cara tersendiri dapat menentukan koefisien hidrodinamis. Salah satunya adalah koefisien hidrodinamis yang direkomendasikan oleh Mousselli (1981) untuk desain pipa.

Tabel 2. 1 *Recomended Hydrodynamics Coefficient* (Mouselli,1981)

Reynolds number ( $Re$ )	Hydrodynamic Coefficient		
	$C_d$	$C_l$	$C_m$
$Re < 5.0 \times 10^4$	1.3	1.5	2.0
$5.0 \times 10^4 < Re < 1.0 \times 10^5$	1.6	1.0	2.0
$1.0 \times 10^5 < Re < 2.5 \times 10^5$	$1.53 - \frac{Re}{3 \times 10^5}$	$1.2 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$	2.0
$2.5 \times 10^5 < Re < 5.0 \times 10^5$	0.7	0.7	$2.5 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$
$Re > 5.0 \times 10^5$	0.7	0.7	1.5

### 2.2.3 Konfigurasi Pelampung (*Floater Drum*)

Pelampung atau floater drum adalah alat tambahan yang digunakan untuk mengurangi gaya berat pada pipa didalam air selain itu, floater drum dalam kaitan dengan metode *Push Pull* juga berfungsi untuk membantu pipa dalam kondisi terapung dipermukaan air laut. Dalam menganalisis instalasi dengan metode *Push Pull* ini, perlu diketahui konfigurasi dari pelampung (floater drum) itu sendiri pelampung yang dibutuhkan, dan jarak antar pelampung.

Jumlah dari Floater drum yang dibutuhkan sesuai dengan rumus yang diberikan dalam *Book Guide Pipeline Installation Procedure* PT.DMB keseluruhan :

$$N_f = \frac{F_{bp}}{F_{bf}} \quad (2.21)$$

Dengan :

$N_f$  = Jumlah pelampung yang dibutuhkan keseluruhan (pcs)

$F_{bp}$  = Gaya apung pipa ( $m^3$ )

$F_{bf}$  = Gaya apung pelampung ( $m^3$ )



### 2.2.4 Gaya Tarik

Perhitungan yang akan dipakai adalah :

$$F_p = \mu \cdot L \cdot W \quad (2.22)$$

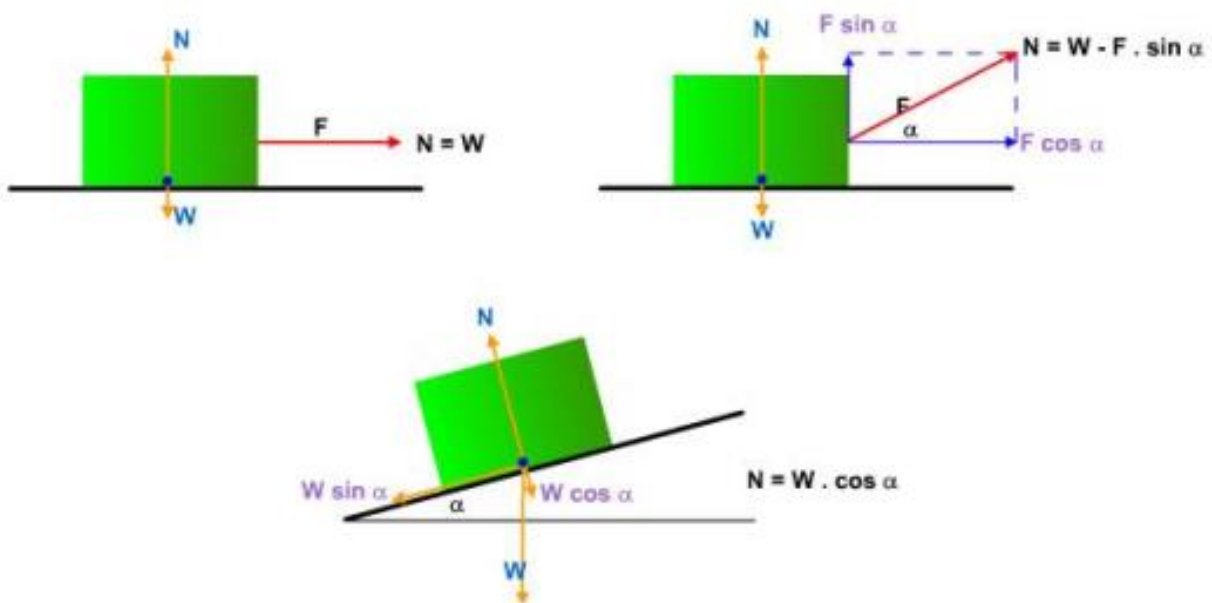
Dengan :

$F_p$  = Gaya Tarik (kN)

$W$  = Berat pipa (kN/m)

$L$  = Panjang pipa yang ditarik

$\mu$  = Faktor gesek longitudinal



Gambar 2.6 Gaya geser dan gaya tarik a. gaya tarik searah dengan benda b. Gaya tarik yang mempunyai sudut terhadap benda c. gaya tarik pada benda miring.

(Sumber : Fathurozi, Tugas Akhir 2016/ E.P. Popov)

Rumus diatas digunakan jika tarikan searah dengan benda seperti gambarr diatas. Tetapi jika tarikan mempunyai sudut terhadap benda yang ditunjukkan gambar 2.6. b maka gaya normal dan tarikan benda menjadi :

sesuai dalam buku Mekanika Teknik (E.P. Popov, 1984)

- Gaya gaya dalam arah sumbu x

Karena kecepatan konstan, maka :

$$ax = 0$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F \cos \Theta - f_k = 0$$

$$F \cos \Theta = f_k \tag{2.23}$$

- Gaya gaya dalam arah sumbu y :

$$N + F \sin \Theta - mg = 0 \tag{2.24}$$

$$N + F \sin \Theta = mg \tag{2.25}$$

Dengan mensubtitusi kedua persamaan tersebut maka dapat ditentukan gaya F yang dibutuhkan untuk menarik benda.

Untuk gambar 2.4.c benda bergerak pada bidang miring, maka :

- Gaya yang bekerja pada sumbu x :

$$W_x = w \sin \Theta \tag{2.26}$$

- Gaya yang bergerak pada sumbu y

$$W_y = w \cos \Theta \tag{2.27}$$

- Gaya Normal

$$N = w_y = w \cos \Theta \tag{2.28}$$

### 2.2.5 Gaya Drag berdasarkan Frontal Area Pipa

Sebuah benda dalam suatu fluida akan mengalami gaya drag bila benda itu diam dan fluidanya bergerak atau benda bergerak dengan fluida yang diam atau kedua duanya sama- sama bergerak dengan kecepatan yang berbeda berdasarkan (Mouselli, 1981) diberikan :

$$F \text{ drag pipe} = \frac{1}{2} \rho_{sea} V^2 C_d A_p \tag{2.29}$$

Dengan ;

$\rho_{sea}$  = Massa jenis air laut ( $\text{kg/m}^3$ )

V = kecepatan tarikan (m/s)

$C_d$  = Coefficient drag

$A_p$  = Frontal area pipa ( $m^2$ )

### 2.2.6 Gaya Drag berdasarkan Frontal area Floater

Floater yang digunakan oleh penulis mempunyai bentuk tabung. Dalam proses towing ditariknya pipa dan floater menimbulkan gaya drag pula yang dapat menjadi hambatan dan menambah beban tarik. Hal tersebut dapat dihitung sebagai berikut :

$$F \text{ drag float} = \frac{1}{2} \rho_{\text{sea}} V^2 C_d N_f \quad (2.30)$$

Dengan :

$\rho_{\text{sea}}$  = Massa jenis air laut ( $kg/m^3$ )

$V$  = kecepatan tarikan ( $m/s$ )

$C_d$  = Coefficient drag

$N_f$  = Jumlah floater yang dibutuhkan (pcs)

### 2.2.7 Perhitungan Gaya Tarik Total

Dalam menganalisis sebuah permasalahan penting untuk mengkaji setiap kondisi meski kondisi terbaik sudah terlihat. Dalam kasus ini penulis juga menganalisis kondisi shore pull pada saat proses ini dijalankan tanpa menggunakan floater drum.

Rumus yang digunakan sesuai dengan (Mouselli,1987). Untuk gaya tarik gabungan :

$$F_{\text{pull}} = F \text{ drag pipe} + F \text{ drag float} + F_{\text{res\_buoy}} \quad (2.31)$$

Dengan :

$F_{dp}$  = gaya drag yang dialami pipa (kN)

$F_{df}$  = gaya drag yang dialami floater (kN)

$F_{\text{res}}$  = tahanan gaya yang diperoleh dengan adanya floater drum (kN)

### 2.2.8 Konsep Tegangan

Tegangan adalah besaran pengukuran intensitas gaya atau reaksi dalam yang timbul per satuan luas. Tegangan dibedakan menjadi dua yaitu *engineering stress* dan *true stress*. Dalam praktek Teknik, umumnya diberikan dalam pound atau newton, dan luas yang menahan dalam  $inch^2$  dan  $mm$ . akibatnya tegangan biasanya dinyatakan dalam  $pound/inch^2$  yang sering disingkat psi atau  $Newton/mm^2$  (MPa). Tegangan yang dihasilkan pada keseluruhan benda tergantung dari gaya yang bekerja.

Dalam praktek, kata tegangan sering memberi dua pengertian :

- a. Gaya per satuan luas atau intensitas tegangan, yang umumnya ditunjukkan sebagai tegangan satuan
- b. Gaya dalam total suatu batang tunggal yang umumnya dikatakan sebagai tegangan total

Pada saat benda menerima beban sebesar P kg, maka benda akan bertambah panjang sebesar L mm. Saat itu pada material bekerja tegangan yang dapat dihitung dengan rumus (*engineering stress*). Tegangan normal dianggap positif jika menimbulkan suatu tarikan (*tensile*) dan negatif jika menimbulkan penekanan (*compression*).

Berdasarkan code ASME B31.4 tegangan dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori, yakni : Tegangan Normal (*Normal Stress*) dan Tegangan Geser (*Shear Stress*)

### 2.2.8.1 Komponen Tegangan Normal

#### 1. Tegangan Longitudinal (*Longitudinal Stress*)

Tegangan Longitudinal adalah tegangan yang bekerja searah dengan sumbu pipa. Tegangan longitudinal sendiri terdiri dari tegangan aksial (*axial stress*), tegangan tekuk (*bending stress*) dan tegangan longitudinal tekan (*pressure stress*).

Berikut uraian macam-macam tegangan longitudinal antara lain :

Tegangan aksial ( $\sigma_{ax}$ ) adalah tegangan yang ditimbulkan akibat adanya gaya aksial ( $F_{ax}$ ) yang bekerja searah dengan sumbu pipa (Beer.at.al,2006)

$$\sigma_{ax} = \frac{P}{A} \quad (2.32)$$

$$A = \left( \frac{\pi (do^2 - di^2)}{4} \right) \quad (2.33)$$

Keterangan :

- A = Luas penampang pipa, mm<sup>2</sup>  
do = diameter luar pipa, mm  
di = diameter dalam pipa mm  
P = gaya aksial sepanjang pipa, N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{ax}$  = tegangan aksial, psi

Tegangan tekuk ( $\sigma_b$ ) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh momen (M) yang bekerja pada ujung ujung pipa (Beer. et al, 2006).

$$\sigma_b = \frac{M \times c}{I} \quad (2.34)$$

Keterangan :

- c = jarak dinding pipa ke sumbu netral, mm

- do = diameter luar pipa, mm
- di = diameter dalam pipa mm
- I = momen inersia penampang, kg/m<sup>2</sup>
- M = momen pada ujung – ujung pipa, lb/in
- σ<sub>b</sub> = tegangan tekuk, psi

Tegangan Longitudinal tekan (σ<sub>Lp</sub>) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh gaya tekan internal (p) yang bekerja pada dinding pipa searah sumbu pipa,

Rumus tegangan longitudinal tekan berdasarkan (ASME B31.4) adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{Lp} = \frac{PA_i}{A_m} = \frac{P di^2}{(do^2 - di^2)} = \frac{P di^2}{4td_m} = \frac{P do}{4t} \quad (2.35)$$

Keterangan :

- Ai = luas permukaan dalam pipa, mm
- Am = luas rata-rata permukaan pipa, mm
- do = diameter luar pipa, mm
- P = tekanan pada pipa, mm
- T = tebal pipa, mm
- σ<sub>Lp</sub> = tegangan longitudinal tekan, psi

## 2. Tegangan Tangensial (*Hoop Stress*)

Tegangan tangensial (σ<sub>Sh</sub>) ditimbulkan oleh tekanan internal yang bekerja secara tangensial dan besarnya bervariasi tergantung pada tebal dinding pipa.

Rumus tegangan tangensial (*hoop stress*) berdasarkan ASME B31.4 adalah sebagai berikut :

$$\sigma_{Sh} = \frac{Pd1L}{2tL} = \frac{Pd1}{2t} = \frac{Pd0}{2t} \quad (2.36)$$

Keterangan :

- do = diameter luar pipa, mm
- P = tekanan pada pipa, psi
- t = tebal pipa, mm
- σ<sub>Sh</sub> = tegangan tangensial (*hoop stress*), psi

### 2.2.8.2 Komponen Tegangan Geser

#### 1. Tegangan Puntir atau Tegangan Torsi (*Torsional Stress*)

Tegangan puntir adalah tegangan yang terjadi pada suatu bentangan bahan dengan luas permukaan tetap yang dikenai suatu puntiran (*twisting*) pada setiap ujungnya dan bentangan benda tersebut dikatakan sebagai poros (*shaft*). Untuk suatu poros dengan denga panjang L dan jari-jari r dikenai torsi T dengan momen inersia polar J pada luas permukaan, tegangan geser torsional pada suatu jarak c dari sumbu poros luas permukaan adalah : (Beer. et al, 2006)

$$\sigma_t = \frac{Tc}{J} \quad (2.37)$$

Keterangan :

- $\sigma_t$  = tegangan geser torsional, psia
- J = momen inersia polar, kg/m<sup>2</sup>
- c = jarak dari sumbu poros, m
- T = torsi, lb/in

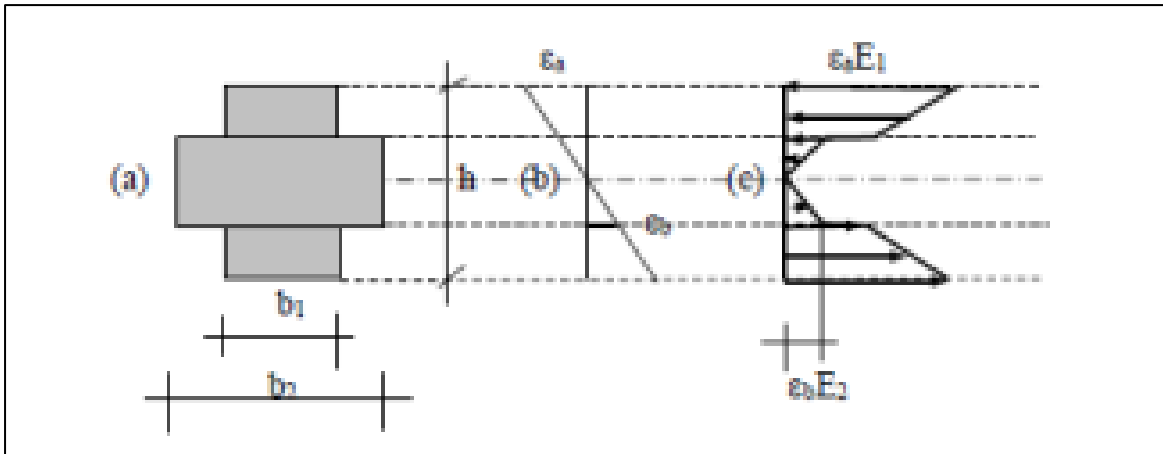
### 2.2.9 Balok dua Bahan

Dalam praktek komponen struktur tidak hanya terdiri dari satu bahan saja seperti baja atau kayu tetapi komponen struktur dapat juga terdiri dari kombinasi dua bahan atau lebih, misalnya bahan beton dikombinasi dengan bahan baja, contohnya antara lain beton bertulang. Bahan kayu juga dapat dikombinasi dengan bahan baja, dengan baja yang berfungsi sebagai penguat.

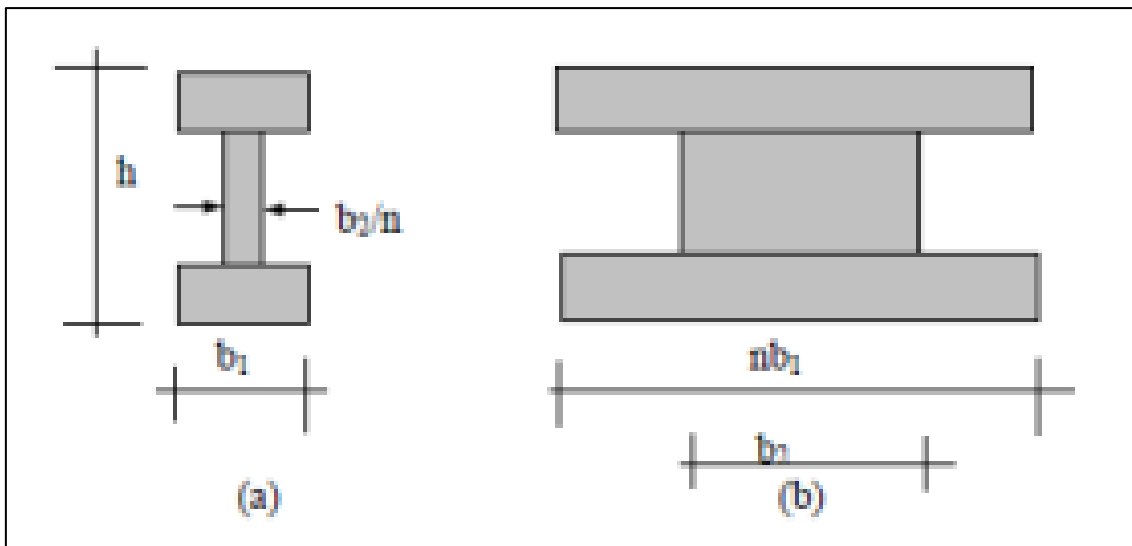
Apabila sebuah penampang balok terdiri dari dua bahan (bahan 1 dan bahan 2) mengalami momen lentur , maka deformasi (regangan) yang terjadi pada penampang akan tetap sebanding dengan jaraknya ke garis netral.

Walaupun regangan yang terjadi sama pada pertemuan kedua bahan, berdasarkan hokum Hooke tegangan yang terjadi yang terjadi pada serat penampang pada masing masing bahan akan berbeda besarnya, hal ini diakibatkan oleh nilai modulus elastisitas yang berbeda pada masing – masing bahan.

Dalam menghitung tegangan pada penampang dengan dua bahan maka penampang dibuat menjadi salah satu bahan padanan dengan ukuran penampang sesuai dengan perbandingan nilai modulus elastisitas kedua bahan tersebut ( $n=E1/E2$ ), terlihat pada gambar . Selanjutnya dihitung posisi garis netral sesuai dengan prinsip penampang satu bahan. Nilai tegangan yang diperoleh disesuaikan dengan perbandingan nilai modulus elastisitas kedua bahan tersebut.



Gambar Gambar 2. 7 Diagram tegangan dan Regangan pada penampang Dua Bahan  
(Sumber : E.P. Popov, 1996)



Gambar 2. 8 a.Padanan dalam bahan 1, b. padanan dalam bahan 2  
(Sumber : E.P. Popov,1996)

### 2.2.9.1 Kuat tekan Concrete

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2004).

Nilai kuat tekan beton didapat dari pengujian standar dengan benda uji yang lazim digunakan berbentuk silinder. Dimensi benda uji standar adalah tinggi 300 mm dan diameter 150 mm. Tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah standar ASTM C39-86. Kuat tekan masing – masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi ( $f_c'$ ) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan (Dipohusodo,1996).

Kekuatan tekan beton dapat dihitung dengan rumus :

$$F_c' = (E_{conc}/4700)^2 \quad (2.38)$$

Dengan :

$F_c'$  = kuat tekan tertinggi (MPa)

$E_{conc}$  = Modulus elastisitas beton (MPa)

### 2.2.9.2 Kuat tarik beton

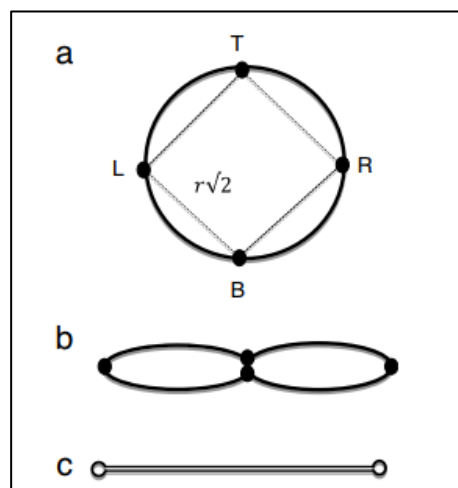
Kuat tarik beton lebih rendah daripada kuat tekan. Oleh karena itu, saat terjadi penarikan, beton rawan mengalami keretakan dan akhirnya mengalami kehancuran. Rumus kuat tarik beton berdasar (Popov,1996) sebagai berikut :

$$\text{Kuat tarik beton} = 0,5 \cdot \sqrt{f_c'} \quad (2.39)$$

Rumus tegangan tarik beton dalam satuan MPa

### 2.2.10 Propagation Buckling

Berdasarkan codes API RP 1111 *Propagation Buckling* adalah deformasi bentuk pada penampang melintang pipa yang kemudian berubah menjadi buckle yang memanjang dan merambat disepanjang pipa. Penyebab utama dari propagation Buckling ini adalah tekanan eksternal (hidrostatik) yang nilainya lebih besar dari tekanan yang diperlukan untuk mencegah terjadinya perambatan buckle tersebut. Terjadinya propagation buckling didahului oleh adanya local buckling dan tidak bisa menjalar ke bagian lain jika tekanan eksternal masih dibawah tekanan propagasi ( $P_p$ ). Apabila kondisi Tekanan eksternal melebihi tekanan propagasi maka perlu diberikan adanya penahan *buckle* (*Buckle arrestor*).



Gambar 2. 9 Skema Propagation Buckling

(sumber : Elsevier , F. Albermani 2011)



### **2.2.11 Konsep Analisis Keandalan dalam Perancangan**

Dalam sebuah sistem perancangan menghitung tingkat keandalan sangat penting dalam hubungannya dengan kemampuan suatu struktur menghindari kegagalan. Keandalan sebuah komponen atau sistem adalah peluang komponen atau sistem tersebut untuk memenuhi tugas yang telah ditetapkan tanpa mengalami kegagalan selama kurun waktu tertentu apabila dioperasikan dengan benar dalam lingkungan tertentu (Rosyid,2008).

Dalam konsep keandalan, suatu masalah akan didefinisikan dalam hubungan permintaan dan penyediaan, yang keduanya merupakan variabel-variabel acak. Peluang terjadinya kegagalan suatu rancangan, dimana penyediaan (ketahanan atau kekuatan sistem) tidak dapat memenuhi permintaan (beban yang bekerja pada sistem) (ang dan Tang, 1985).

Pemakaian konsep analisa keandalan yang didasarkan pada metode probabilistik telah berkembang dan semakin penting peranannya terutama untuk memecahkan masalah – masalah dalam perancangan praktis (Baker dan wyat, 1979). Kecenderungan ini salah satunya dikarenakan adanya kerusakan yang terjadi pada siste rekayasa yang disebabkan oleh interaksi panas, bahan statis maupun beban dinamis dapat dijelaskan secara lebih baik dengan metode ini.

Dalam konsep ini perancang dapat menggambarkan suatu system dengan segala hal yang mempengaruhi dan mengakibatkan kerusakan pada system tersebut misalnya kondisi pembebanan, ketahanan struktur, kondisi lingkungan yang lebih mendekati keadaan yang sebenarnya karena melibatkan aspek ketidakpastian dalam analisisnya. Dalam analisis keandalan system struktur maka perlu untuk mendefinisikan ketidak pastian yang diterima oleh struktur. Cristenson dan Murotsu (1985) membagi ketidak pastian dalam 3 kelompok yaitu :

1. Ketidakpastian fisik, adalah ketidakpastian yang berhubungan dengan keragaman (variability) fisik seperti : beban, sifat material dan ukuran material. Keragaman fisik ini hanya bias dinyatakan dalam data sampel, dengan pertimbangan praktis dan ekonomis
2. Ketidakpastian statistical, adalah ketidak pastian yang berhubungan dengan data yang dibuat untuk membuat model secara probabilistic dari berbagai macam keragaman fisik diatas.
3. Ketidakpastian model, yaitu ketidakpastian yang berhubungan dengan tanggapan dari jenis struktur yang dimodelkan secara matematis dalam bentuk deterministic atau probabilistik. Ketidakpastian yang terjadi disini merupakan hasil dari penyederhanaan dengan memakai bermacam macam asumsi. Kondisi batas yang tidak diketahui, dan sebahgai hasil dari pengaruh interaksi ketidakpastian yang tidak tercakup dalam model.

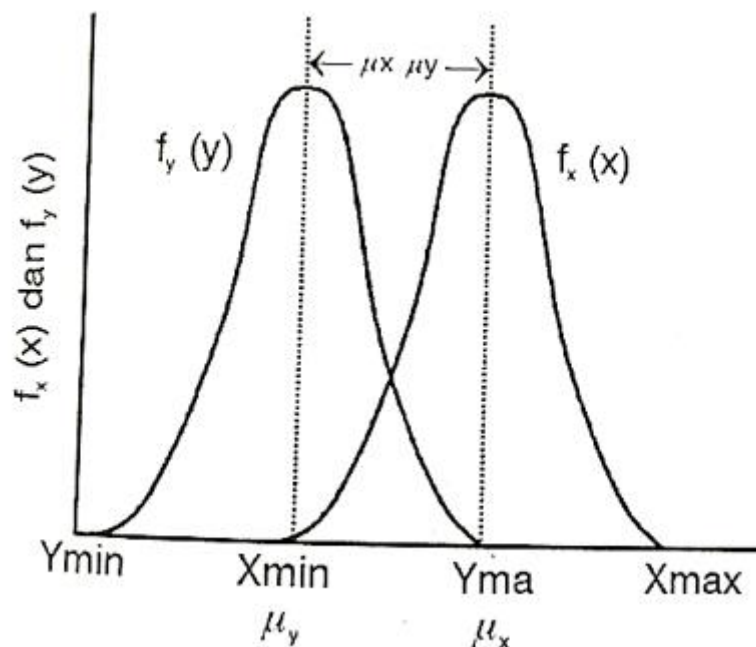
### 2.2.11.1 Keandalan pada sistem rekayasa

Pemakaian konsep analisis keandalan yang didasarkan pada metode probabilistik telah berkembang semakin penting peranannya terutama untuk memecahkan berbagai masalah dalam perancangan praktis. Kecenderungan ini salah satunya dikarenakan adanya kerusakan yang terjadi pada sistem rekayasa yang disebabkan oleh intraksi panas, beban statis maupun beban dinamis dapat dijelaskan secara lebih baik dengan konsep ini.

Sistem dari keandalan pada dasarnya dapat ditunjukkan sebagai problematika antara demand (tuntutan atau beban) dan capacity (kapasitas atau kekuatan). Secara tradisional didasarkan atas safety factor (angka keamanan) yang diperkenankan. Ukuran konvensional untuk angka keamanan adalah perbandingan antara asumsi nilai nominal kapasitas  $X^*$  dan beban  $Y^*$  yang berdasarkan (Rosyid,2008) dirumuskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$Z^* = \frac{x^*}{y^*} \quad (2.40)$$

dinyatakan dengan mengingat nilai nominal dari kapasitas  $x^*$  dan beban  $y^*$  tidak dapat ditentukan dengan pasti, fungsi fungsi kapasitas dan beban perlu dinyatakan sebagai peluang sebagaimana ditunjukkan pada gambar. Dengan demikian angka keamanan dinyatakan dengan perbandingan  $Z = X/Y$  dari dua variabel acak  $X$  dan  $Y$ .



Gambar 2. 10 Grafik Fungsi Kerapatan peluang (fkp) dari kapasitas  $X$  dan tuntutan  $Y$

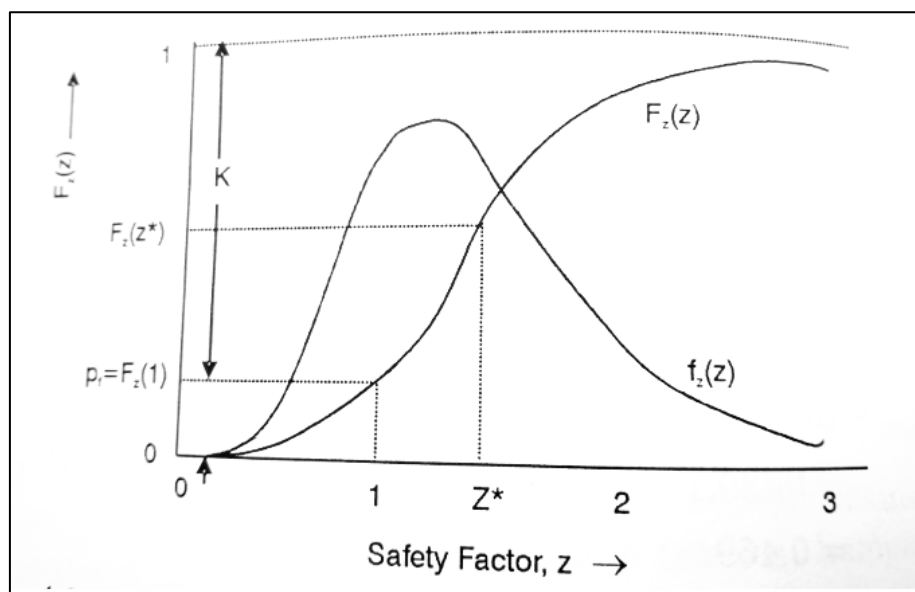
(Sumber : Rosyid,2008)

Ketidakpastian suatu system untuk memenuhi tuntutan dan tugasnya yang diukur dengan peluang kegagalan, dapat dihubungkan dengan bagian dari distribusi angka keamanan yang nilainya kurang dari satu, yaitu porsi dalam dimana  $Z=X/Y \leq 1$  lihat gambar. Peluang kegagalan sistem Pf diberikan dengan persamaan

$$P_f = Pr[Z \leq 1] = F_z \tag{2.41}$$

Dengan  $F_z$  adalah fungsi distribusi kumulatif dari  $Z$ , dengan pernyataan lain, peluang system untuk tidak gagal (keandalan) adalah :

$$K = 1 - p_f = Pr [Z \leq 1] = 1 - F_z \tag{2.42}$$



Gambar 2. 11 Grafik distribusi kumulatif dan fungsi kerapatan peluang pada angka keamanan  $Z=X/Y$

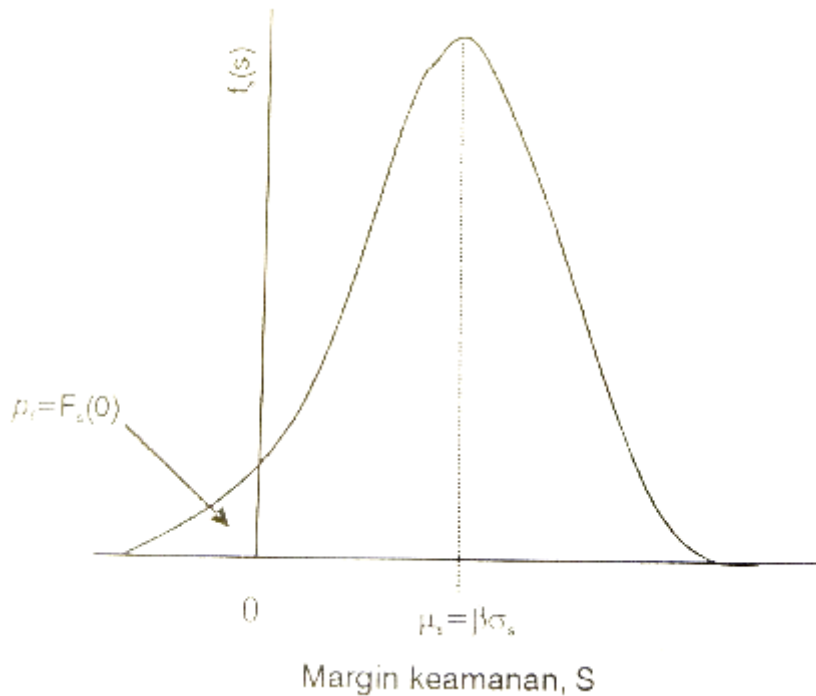
(Sumber : Rosyid,2008)

Ketika distribusi peluang Bersama (joint probability distribution) dari  $X$  dan  $Y$  diketahui, keandalan sebuah sistem dapat dihitung berdasarkan fungsi distribusi kumulatif dari  $X/Y$ . Peluang kegagalan nol ( $P_f = 0$ ) dan keandalan 100% ( $K=1$ ) hanya terjadi ketika tuntutan maksimum  $Y_{max}$  tidak melewati kapasitas maksimum  $X_{max}$  sehingga kedua distribusi tidak saling overlap.

Jika demand maksimum  $Y_{max}$  melampaui kapasitas maksimum  $X_{max}$ . Distribusi kedua-duanya akan mengalami overlap dan probabilitas kegagalan tidak lagi bernilai nol. Untuk menilai probabilitas dapat diambil perbedaan diantara kapasitas dan beban yang biasanya disebut dengan margin keselamatan atau *safety margin*,  $S$  :

$$S = X - Y \quad (2.43)$$

oleh karena nilai X dan Y adalah acak, margin keselamatan juga merupakan perubah acak sebagaimana dipresentasikan pada gambar.



Gambar 2. 12 Grafik fungsi kerapatan peluang untuk margin keselamatan

(Sumber : Rosyid,2008)

Ketidakmampuan suatu system untuk memenuhi tuntutannya, yang diukur dengan peluang kegagalan  $p_f$ , dapat diperkirakan menggunakan fungsi kerapatan peluang dari margin keselamatan, yaitu pada bagian dimana S bernilai negative, atau  $S = X - Y \leq 0$

### 2.2.11.2 Indeks Keandalan

Cara untuk mengukur keandalan adalah dengan cara menggunakan indeks keandalan  $\beta$ , yang didefinisikan sebagai perbandingan antara nilai rata-rata dan nilai simpangan baku dari margin keselamatan S, yaitu :

$$\beta = \frac{\mu_s}{\sigma_s} \quad (2.44)$$

Keterangan :

$\beta$  = indeks Keandalan

$\mu_s$  = nilai rata-rata margin keselamatan

$\sigma_s$  = simpangan baku margin keselamatan

Jika menggunakan nilai kritis margin keselamatan  $s=0$  dan jaraknya dengan nilai rata-rata margin keselamatan maka indeks kendalan ini dapat diinterpretasikan sebagai jumlah kelipatan simpangan baku pada jarak ini. Artinya jarak antara  $S=0$  dengan ini dapat dibagi menjadi beberapa simpangan baku semakin panjangnya relative terhadap simpangan baku maka semakin besar indeks keandalannya. selanjutnya, indeks keandalan juga sberbanding terbalik dengan koefisien variasi margin keselamatan atau dapat dituliskan  $=1/Vs$

Untuk menghasilkan ekspresi yang lebih umum atas indeks keandalan dapat digunakan persamaan yang secara sepintas dibahas pada bagian sebelumnya mengingat

Dimana  $\rho_{xy}$  adalah koefisien korelasi anantara kapasistas dan beban (tuntutan). Oleh karena itu, indeks keandalan adalah maksimum jika  $\rho_{xy} = +1$  dan minimum jika  $\rho_{xy} = -1$  untuk X dan Y terdistribusi normal maka peluang kegagalan adalah :

$$P_f = 1 - \Phi \beta \tag{2.45}$$

Dan

$$K = -\Phi^{-1}(\beta) \tag{2.46}$$

### 2.2.11.3 Moda Kegagalan

Langkah pertama sebelum menentukan Moda kegagalan terlebih dahulu menentukan kegagalan yang akan dialami oleh struktur (Rosyid,2008). Moda kegagalan terdiri dari dua parameter penting yaitu kekuatan dan beban.

Persamaan umum dari moda kegagalan seperti dibawah ini :

$$MK=K-B \tag{2.47}$$

Keterangan :

K= Variabel kekuatan

B= Variabel Beban

Dalam Tugas akhir ini moda kegagalan yang akan digunakan adalah kegagalan akibat *propagation buckling* berdasarkan API RP 1111 adalah :

$$\begin{matrix} P_o - P_i \geq f_p P_p \\ P_p = 24 \cdot S \cdot \left[ \frac{t_n}{D} \right]^{2.4} \end{matrix} \tag{2.48}$$

Dengan :

$P_o$  = Tekanan Eksternal (MPa)

$P_i$  = Tekanan Internal (MPa)

$f_p$  = Faktor Desain *Propagation Buckling* = 0.8

$P_p$  = Tekanan *Propagation Buckling* (MPa)

$t_n$  = Ketebalan Dinding Nominal Pipa (m)

$S$  = *Specified minimum yield Strength* (MPa)

$D$  = Diameter Luar Pipa (m)

#### 2.2.11.4 Metode Simulasi *Monte Carlo*

Metode Monte Carlo adalah salah satu metode kuantitatif yang dapat digunakan untuk memprediksi kemungkinan keandalan struktur yang memiliki variabel acak. Unsur pokok yang diperlukan untuk simulasi Monte Carlo adalah *random number generator* (RNG). Hal ini dikarenakan prinsip dasar metode ini menggunakan sampel dan peubah acak yang terlibat dalam sistem yang dipelajari dapat diasumsikan atau telah diketahui. Dengan metode ini memberikan prediksi *probabiliy of failure* yang cukup akurat sesuai dengan Melakukan simulasi Monte Carlo dengan cara mencari peluang kegagalan untuk beberapa kali simulasi. Persamaan untuk menghitung peluang kegagalan adalah sebagai berikut :

$$P_f = \frac{n}{N} \quad (2.49)$$

Keterangan :

$P_g$  = Peluang kegagalan

$N$  = Jumlah Simulasi Monte Carlo

$n$  = jumlah kejadian simulasi dengan  $MK < 0$

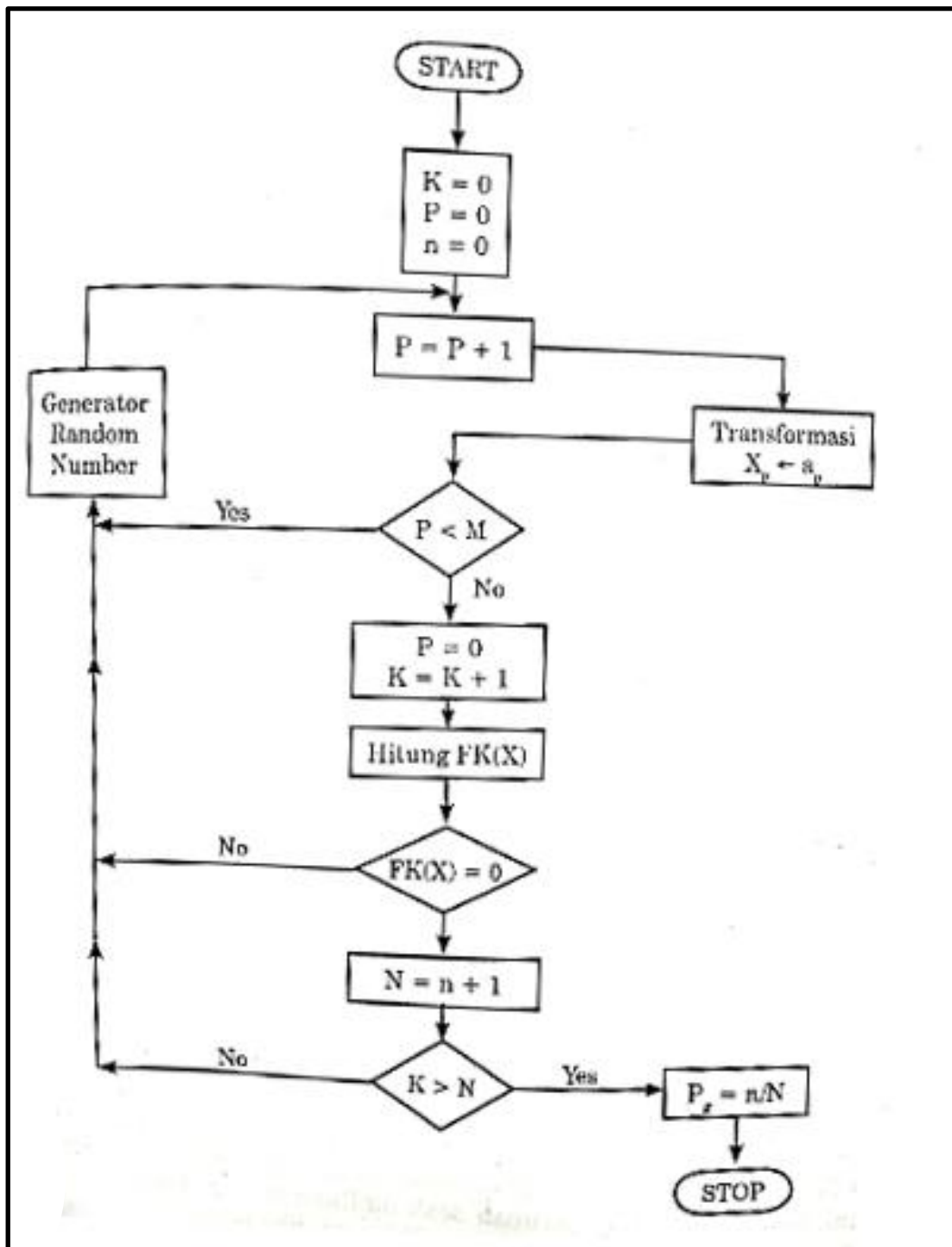
maka keandalan dapat dicari dengan cara sebagai berikut :

$$K = 100\% - pof \quad (2.50)$$

Keterangan :

$K$  = Keandalan

Tahapan Simulasi *Monte Carlo* berdasarkan buku Pengantar Rekayasa Keandalan (Rosyid,2008) sebagai berikut :



Gambar 2. 13 Tahapan simulasi Monte Carlo

(Sumber : Rosyid,2008)

..... *Halaman ini sengaja dikosongkan* .....

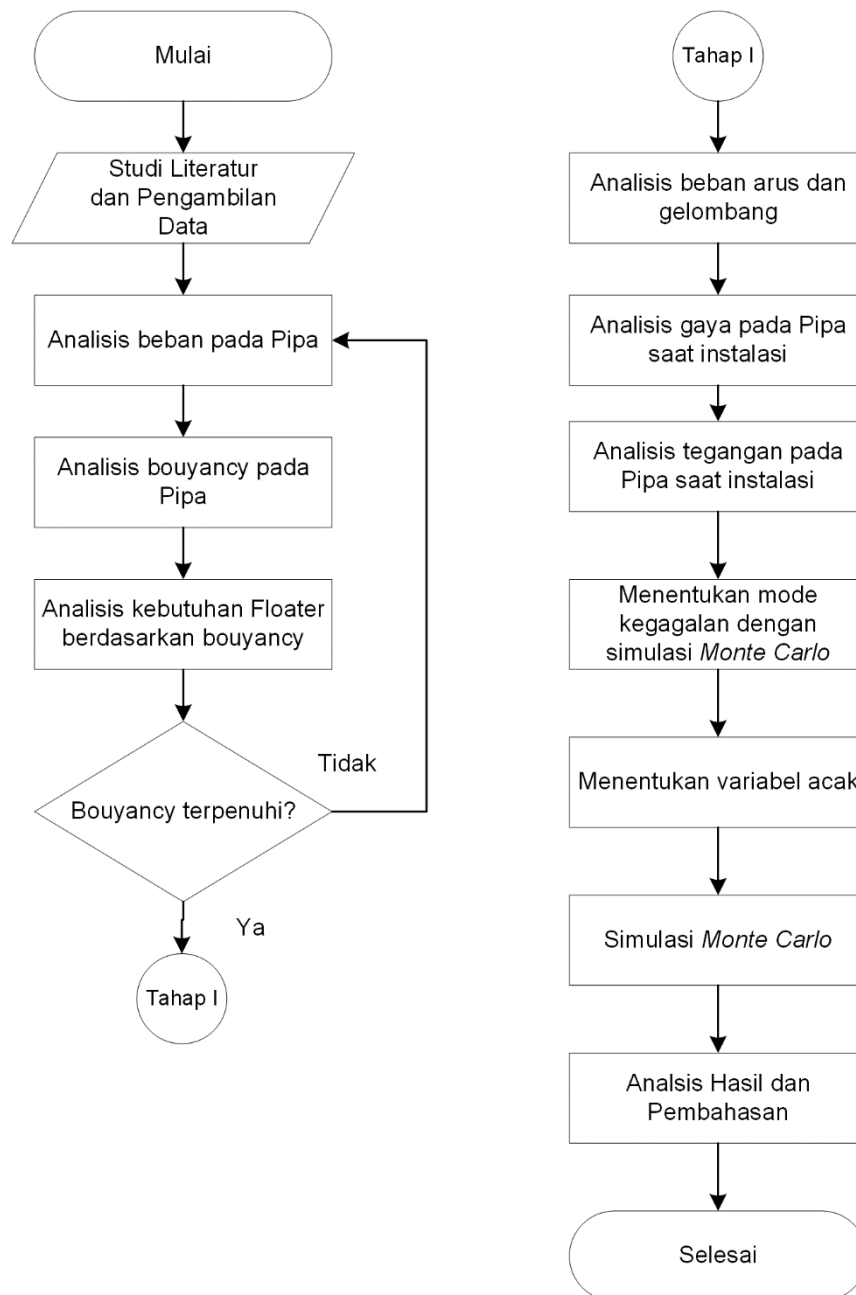


## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Untuk mempermudah evaluasi perkembangan penelitian untuk tugas akhir akan dibuat diagram pengerjaan/metodologi. Secara garis besar pengerjaan tugas akhir ini dapat dijelaskan dalam gambar 3.1 :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian dalam diagram alir pada Gambar 3.1 dapat dijelaskan sebagai berikut :

#### 1. Studi Literatur

Studi dan pengumpulan literatur sebagai bahan –bahan acuan dan sumber teori yang diperlukan dalam tugas akhir ini baik itu berupa buku, jurnal, penelitian sebelumnya termasuk laporan tugas akhir terdahulu, *codes*, maupun standard yang berhubungan dengan analisis instalasi *pipeline* dengan metode *Push Pull*.

#### 2. Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari PT.Dwisatu Mustika Bumi pada proyek Instalasi pipa bawah laut di Sangatta , Kalimantan Timur dalam dokumen (Pipeline Installation Procedure. “*EPCIC of Mooring System and 3 km Subsea and Onshore Pipeline Sangatta Project*”). Khusus untuk instalasi dengan metode *Push Pull* panjang dari keseluruhan pipa adalah 1150 m (1000 m area *shore* dan 150 m area *offshore*). Untuk mendukung proses instalasi, sebelumnya telah dibuat parit (*trenching*) sepanjang 1000 m pada area *shore*. Setelah keseluruhan proses *instalasi Push Pull* ini selesai maka nantinya pipa akan dikubur (*Burried Pipeline*).

#### 3. Analisis Data

Analisis akan dilakukan terhadap data data yang terkait pengerjaan tugas akhir meliputi analisis gaya gaya yang diterima oleh pipa baik oleh beban pipa ataupun oleh beban lingkungan serta terkait tegangan yang terjadi pada pipa selama proses instalasi.

#### 4. Simulasi

Simulasi akan dilakukan dengan menggunakan metode simulasi *Monte Carlo* untuk mengetahui keandalan pipa selama proses instalasi

## BAB 4

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari PT.Dwisatu Mustika Bumi pada proyek instalasi pipa bawah laut di Sangatta , Kalimantan Timur dalam dokumen (*Pipeline Installation Procedure. "EPCIC of Mooring System and 3 km Subsea and Onshore Pipeline Sangatta Project"*). Khusus untuk instalasi dengan metode *Push Pull* panjang dari keseluruhan pipa adalah 1150 m (1000 m area *shore* dan 150 m area *offshore*). Untuk mendukung proses instalasi, sebelumnya telah dibuat parit (*trenching*) sepanjang 1000 m pada area *shore*. Setelah keseluruhan proses *instalasi Push Pull* ini selesai maka nantinya pipa akan dikubur (*Burried Pipeline*). Data-data yang digunakan dalam tugas akhir ini meliputi data material pipa, data floater drum, data lingkungan.

##### 4.1.1 Data Pipa dan Materialnya

Data pipa yang diperoleh merupakan data umum untuk analisis meliputi material pipa,diameter pipa,ketebalan pipa,korosi yang di izinkan, *Poisson Ratio*,modulus elastisitas pipa, dan densitas baja. Berikut data pipa dan propertisnya disajikan dalam bentuk tabel dibawah ini :

Tabel 4. 1 Data Pipa dan Propertisnya

<i>Pipeline Design Parameter</i>	Units	
Service	-	Diesel Oil
Material	-	API 5L Grade X52 PSL2 CS SAWL
Outside Diameter (OD)	mm	508
Internal Diameter	mm	476.25
Wall Thickness	mm	15.875
Corrosion Allowance (CA)	Mm	3
SMYS	Mpa	360,0 (52,20ksi)
SMTS	Mpa	460,0 (66,70 ksi)
Poisson Ratio	-	0.3
Young Modulus pipa	Mpa	$2,07 \times 10^5$ (30022,9 ksi)
Density steel	kg/m <sup>3</sup>	7850
Maximum Out-of-Roundness (Ovality)	-	OD min - OD max < 3 % of OD
Pipe Joint Length	m	12.2
Panjang pipa keseluruhan (L)	m	1150

#### 4.1.2 External Anti Corrosion Coating

Korosi menjadi salah satu permasalahan yang dialami pipa saat instalasi dikarenakan ada pengaruh kondisi lingkungan yang korosif. Korosi yang terjadi akan mengakibatkan terkikisnya lapisan pipa dan mengurangi kekuatan pipa. Untuk itu perlu dilakukan perlindungan terhadap masalah korosi ini. Semakin Tebal lapisan dari *External Anti Corrosion Coating* tentu akan memberikan penambahan berat bagi total berat keseluruhan pipa nantinya. Hal inilah nantinya akan berpengaruh terhadap penentuan berapa banyak floater yang dibutuhkan. Berikut adalah data *External Anti Corrosion Coating* yang digunakan dalam project ini ditunjukkan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 4. 2 Data Properties Corrosion Coating

Parameter	unit	
<i>Selected External Anti Corrosion Coating</i>	-	3LPE
<i>Thickness</i>	mm	2.5
<i>Density</i>	Kg/m <sup>3</sup>	985.23
<i>Coating Cutback</i>	mm	150 (±20)

#### 4.1.3 Offshore Concrete Weight Coating

Untuk menambah tingkat kestabilan pipa dianjurkan dalam setiap pemasangan pipa bawah laut dilengkapi dengan lapisan beton, hal ini dimaksudkan selain menambah berat dari pipa juga untuk melindungi pipa dari lingkungan yang sangat korosif yakni air laut. Dalam pemakaiannya harus disesuaikan dengan kebutuhan. Berikut ini data *Concrete Coating* yang digunakan :

Tabel 4. 3 Data Concrete Coating

Parameter	unit	
<i>Concrete Density</i>	Kg/m <sup>3</sup>	3040
<i>Concrete Coating cutback</i>	mm	300 (±20)
<i>Water Absortion</i>	%	5

#### 4.1.4 Anode Cathodic Protection

Untuk menghambat laju korosi pada pipa diperlukan anoda tumbal, hal ini dimaksudkan agar pipa tidak terkorosi secara cepat. Dengan adanya penambahan anoda ini akan mempengaruhi berat pipa yang akan di instal, sehingga diperlukan perhitungan terkait berat anoda karena akan

berpengaruh pada penentuan jumlah floater drum yang akan digunakan. Berikut data anoda yang dibutuhkan dibawah ini :

Tabel 4. 4 Data Anoda

<i>Parameter</i>	<i>Units</i>	
<i>Type and material</i>	-	Bracelet type, Galvanu, III
<i>Current Capacity</i>	Ah/kg	2500
<i>Efficiency (Utilization Faktor)</i>		0.8
<i>Design Current Density</i>	mA/m <sup>2</sup>	20
<i>Seawater Resistance</i>	Ohm.cm	13
<i>Lifetime protection required</i>	Years	30
<i>Coating</i>	mm	2.5 mm
<i>Length of anode</i>	mm	387
<i>Thickness of anode</i>	mm	50
<i>Minimum Net Weight</i>	Kg	82
<i>Utilization Factor</i>	v	0.8

#### 4.1.5 Data Floater Drum

Dalam pelaksanaan instalasi pipa bawah laut dengan metode *Push Pull* hal yang paling penting adalah memastikan pipa dalam kondisi terapung. Untuk menunjang hal ini, diperlukan tambahan floater drum dikarenakan beban pipa diudara lebih besar dari gaya apungnya. Perhitungan diperlukan untuk menentukan jumlah optimal floater drum yang dibutuhkan selama proses instalasi. Data floater drum sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Data *Properties Floater Drum*

<i>Parameter</i>	<i>Unit</i>	
<i>Drum Material :</i>	ASTM A598	sheet rolled steel
<i>Drum Inside diameter</i>	mm	571.5
<i>Drum wall thickness</i>	mm	1.21
<i>Drum outside diameter</i>	mm	573.9
<i>drum volume</i>	m <sup>3</sup>	0.21
<i>Drum density</i>	kg/m <sup>3</sup>	7850
Gravitasi		9.81
massa jenis air laut	kg/m <sup>3</sup>	1025

#### 4.1.6 Data Lingkungan

Data lingkungan yang diperlukan berupa data arus, data gelombang, kedalaman, massa jenis air laut, kemiringan muka pantai. Berikut data lingkungan yang dibutuhkan :

Tabel 4. 6 Data Lingkungan

<i>Parameter</i>	<i>Units</i>	
<i>Significant Wave Height 1 year</i>	m	0.9
<i>Maximum wave height 1 year</i>	sec	1.67
<i>Peak Peride</i>	sec	5
<i>Current Velocity Maximum</i>	m/s	0.25
<i>Waterdepth</i>	m	4.5
<i>Density of sea water</i>	Kg/m <sup>3</sup>	1025
<i>Slope of beach</i>		0.01
<i>Gravitation</i>	m/s <sup>2</sup>	9.81

#### 4.2 Pembebanan Pipa

ASME B31.4 *Pipeline Transportation Systems for liquids and Slurries* (2012) menyatakan bahwa pembebanan pada pipa saat kondisi instalasi terbagi menjadi 2, yaitu *installation loads* (beban instalasi) dan *enviromental loads* (beban lingkungan). Beban instalasi merupakan beban yang diakibatkan oleh beban fisik dari pipa, sedangkan beban lingkungan merupakan beban yang diakibatkan oleh interaksi pipa dengan lingkungan disekitar pipa.

Perhitungan pembebanan yang dialami oleh pipa ini perlu dilakukan untuk analisis tegangan pada pipa saat instalasi dengan menggunakan metode *Push Pull* dan berkenaan langsung dengan kelancaran proses penarikan pipa. Untuk perhitungan dapat dilihat pada lampiran B. Berikut ini hasil perhitungan beban yang dialami oleh pipa :

Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Pembebanan Pada Pipa

<i>Pipe type</i>	<i>Parameter</i>	<i>Unit</i>	
20 “ OD Pipeline	Berat pipa baja	kN/m	1,89
	Berat <i>Corrosion Coating</i>	kN/m	0,038
	Berat <i>Concrete Coating</i>	kN/m	2,64
	Gaya berat pipa	kN/m	4,56
	Gaya berat pipa keseluruhan	kN	5247,24
	Gaya apung pipa	kN/m	2,97
	Berat pipa tercelup	kN/m	1,60

### 4.3 Kebutuhan Pelampung (*Floater Drum*)

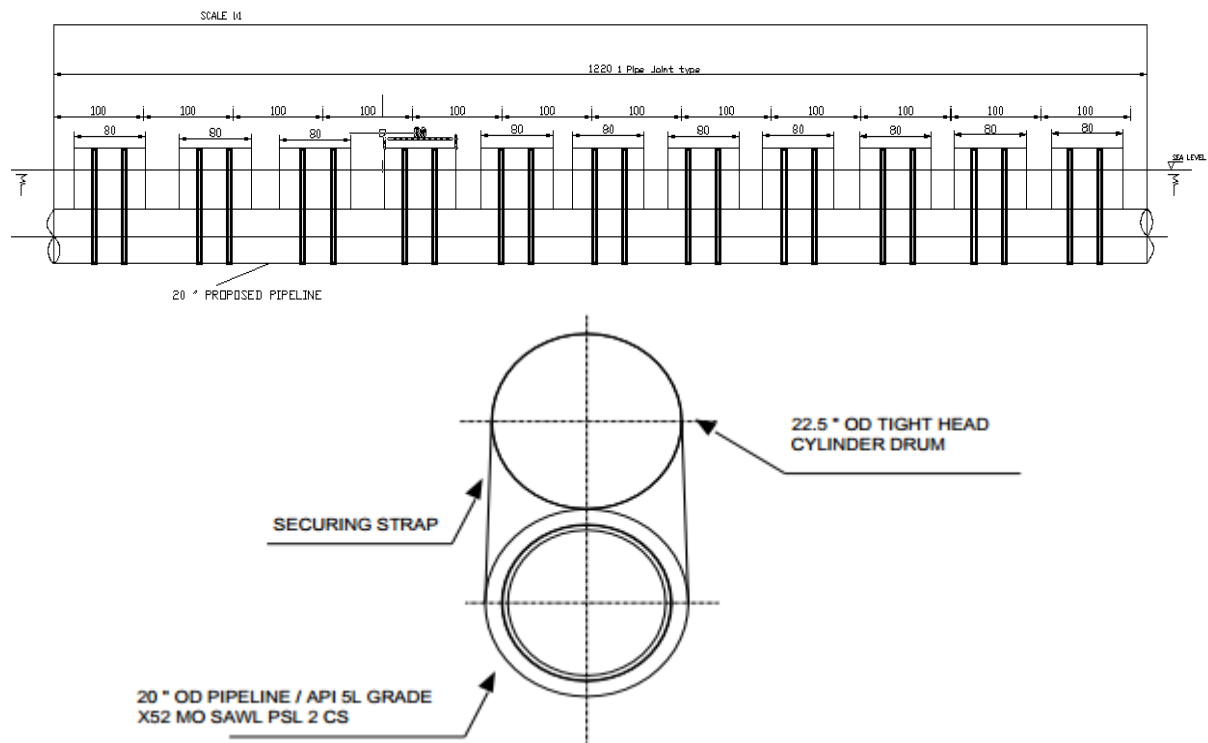
Floater dibutuhkan untuk mengurangi besarnya gaya tarik yang dialami pipa. Untuk menentukan jumlah kebutuhan floater dilakukan perhitungan berdasarkan pertimbangan perbandingan berat keseluruhan pipa dan bouyancy pipa. Apabila berat pipa lebih kecil dari bouyancy pipa maka tidak perlu penambahan floater drum. Untuk perhitungan lengkap dapat dilihat pada lampiran C. Berikut hasil perhitungan kebutuhan serta konfigurasi floater drum :

Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Kebutuhan *Floater Drum*

<i>Type</i>	<i>Parameter</i>	<i>Unit</i>	
<i>Tight head drum</i>	Gaya apung tiap pelampung	kN/m	2,60
	Berat total pipa dan pelampung	kN	4,75
	Pelampung yang dibutuhkan total	Pcs	1037
	Jumlah pelampung per join	Pcs	11
	Jarak per pelampung	m	1
	Sarat air	m	1,09
	Gaya Drag Floater	kN/m	0,03
	Gaya Inersia Floater	kN/m	0,1
	Gaya Lift Floater	kN/m	0,07

### 4.3.1 Konfigurasi Pelampung (*Floater Drum*)

Konfigurasi pelampung ini bertujuan untuk memberikan gambaran sketsa perletakan floater drum dalam satu line pipe dengan panjang per line pipe 12.2 m. Sketsa ini meliputi ukuran pelampung, tata letak pelampung, jarak optimal antar pelampung dan sarat pelampung dan pipa. Konfigurasi pelampung seperti dibawah ini :



Gambar 4. 1 Konfigurasi Pelampung

### 4.4 Gaya Tarik

Gaya tarik yang terjadi pada pipa sepanjang 1150 m dipengaruhi oleh beberapa faktor. Besarnya gaya tarik (*pulling force*) selama instalasi pipa bawah laut diakibatkan oleh gaya gaya yang bekerja pada pipa baik gaya gesek yang terjadi pada roller,pada pipa, dan pada floater serta *strapping cable*, koefesien gesekan dan juga kecepatan tarikan.

Berikut adalah hasil perhitungan gaya tarik yang dialami pipa selama proses instalasi :

Tabel 4. 9 Perhitungan Gaya Tarik

Parameter	Unit	
Gaya gesek pada <i>roller</i>	kN	171,72
Gaya drag pada pipa selama diatas air	kN	0,003
Gaya drag pada floater drum	kN	2,77
Gaya tarik total akibat gabungan 3 gaya	kN	174,35



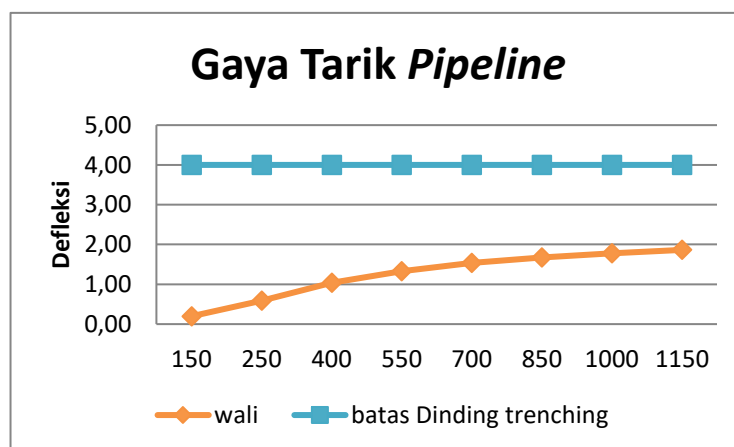
Dari tabel 4.9 diperoleh hasil bahwa gaya tarik maksimal yang diterima oleh pipa sebesar 174,35 kN pada bentangan terpanjang pipa 1150 m dan berada pada daerah dekat *roller barge*. Ketika pipa masih berada di *roller barge* gaya gesek yang diterima sebesar 171,72 kN. Besar gaya drag pipa ketika pipa berada diatas permukaan air laut yaitu 0,003 kN. Selain pipa gaya drag juga dialami oleh pelampung, besar gaya drag pada pelampung ini tergantung pada jumlah pelampung yang digunakan. Untuk kondisi sesuai perhitungan maksimal gaya drag pelampung yaitu sebesar 2,77 kN.

Perbedaan area antara tepi pantai dan area *trenching* mengakibatkan perlu adanya analisis terkait besarnya defleksi yang dialami pipa selama memasuki area *trenching*. Apabila defleksi yang dialami melebihi batas dinding *trenching* akan mengakibatkan peningkatan jumlah gaya gesek antara pipa dan dinding *trenching*, yang tentunya secara langsung akan berpengaruh pada besarnya gaya yang dibutuhkan untuk proses penarikan pipa.

Hasil perhitungan defleksi maksimum yang dialami pipa selama proses penarikan :

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Defleksi Maksimum

Panjang pipa	Unit	Besar Defleksi	Batas <i>trenching</i>
150	m	0,20	4
250	m	0,59	4
400	m	1,04	4
550	m	1,33	4
700	m	1,53	4
850	m	1,67	4
1000	m	1,78	4
1150	m	1,86	4



Gambar 4. 2 Grafik Gaya Tarik Pipeline

Dari tabel perhitungan diatas dapat diketahui bahwa besarnya defleksi saat penarikan pipa tidak melebihi batas dinding trenching sehingga tidak dibutuhkan tambahan gaya tarik. Dari hasil perhitungan dapat dilihat perubahan defleksi pada pipa, semakin Panjang pipa yang ditarik ke darat semakin besar pula defleksi yang terjadi defleksi tertinggi yakni sepanjang 1,86 m dari titik tengah *trenching*.

#### 4.5 Transformasi Balok 2 Bahan

Pipa yang akan diinstal tidak hanya terdiri dari satu bahan saja, akan tetapi ada dua macam yakni pipa yang terbuat dari baja dikombinasikan dengan beton bertulang yang digunakan untuk melapisi bagian luar pipa. Perhitungan dilakukan untuk memberikan asumsi kesamaan bahan pada saat Analisis struktur. Berikut hasil perhitungan transformasi pipa dan beton yang disajikan dalam tabel :

Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Transformasi Pipa Dan Beton

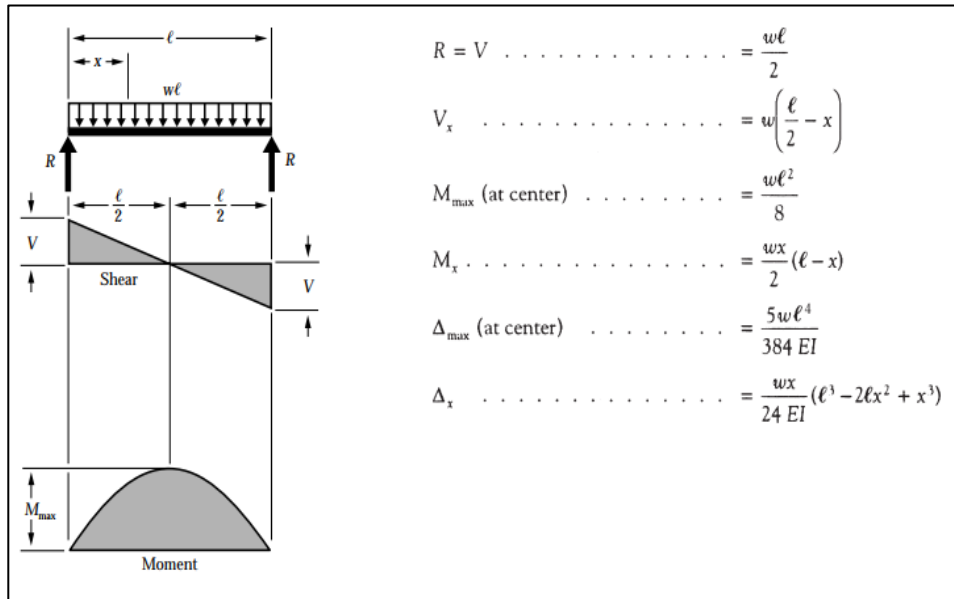
Parameter	Unit	
Tebal coating transformasi	m	0,00005
Tebal concrete transformasi	m	0,05
Tebal pipa keseluruhan	m	0,608
Luas area transformasi	m <sup>2</sup>	0,11
Inersia Transformasi	m <sup>4</sup>	0,004

Dari tabel diatas, diketahui bahwa tebal lapisan coating berubah setelah ditransformasi menjadi 0,000046 m. Selain itu lapisan beton untuk concrete coating juga mengalami perubahan menjadi 0,050 m. Tebal pipa keseluruhan hasil transformasi yakni 0,608 m. Luas area setelah transformasi menjadi 0,112 m<sup>2</sup>. dan inersia pipa sebesar 0,0041 m<sup>4</sup>

#### 4.6 Tegangan Pipa

Perhitungan tegangan yang terjadi selama proses instalasi dihitung menggunakan pendekatan mekanika teknek 1. Distribusi tegangan yang dialami pipa diakibatkan oleh beberapa faktor yaitu akibat pengaruh beban hidrodinamis pada area tepi pantai dan beban angin pada keseluruhan selama pipa ditarik. Untuk kondisi pipa pada area sepanjang 150 m, menggunakan pendekatan free body diagram dengan beban merata dengan tumpuan jepit dan roll. Sedangkan untuk area sepanjang trenching menggunakan pendekatan beam dengan salah satu ujung bebas. Tegangan yang dihitung adalah tegangan yang searah dengan sumbu pipa yakni tegangan aksial, tegangan bending, dan tegangan total longitudinal.

Untuk kondisi pipa sepanjang 150 m. berikut ini ditambahkan free body diagram berdasar (AWC NDS, 2005).

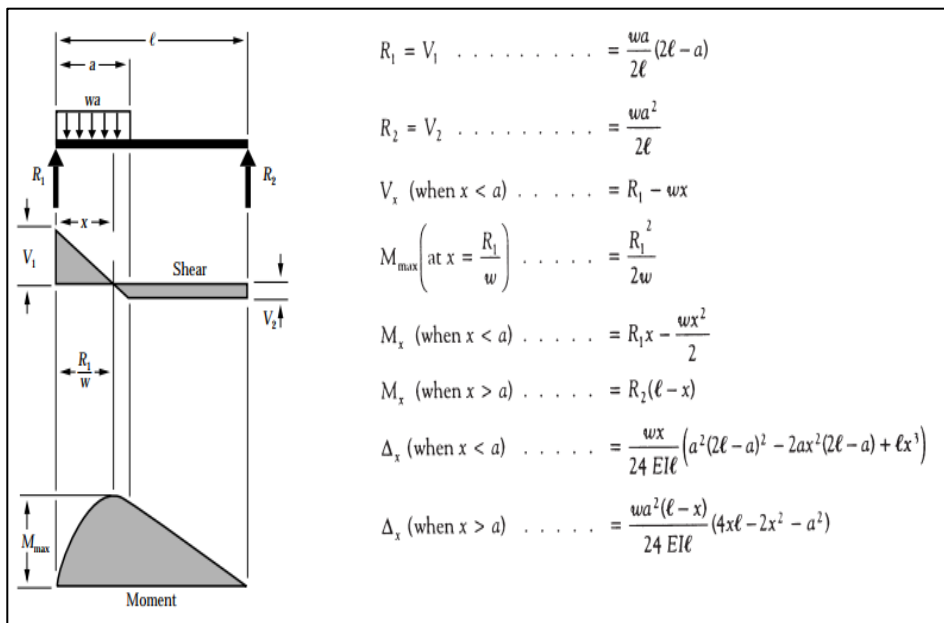


Gambar 4. 3 Free body diagram beam

(Sumber : AWC NDS,2005)

Pada kondisi ini, tegangan pipa dihitung berdasarkan momen inersia akibat beban merata yang diterima oleh pipa. Perhitungan tegangan pada kondisi ini dilakukan pada pipa sepanjang maksimal 150 m dari jarak bibir pantai menuju ke area trenching.

Untuk kondisi pipa sepanjang lebih dari 150 m. berikut ini ditampilkan free body diagram berdasar (AWC NDS, 2005).



Gambar 4. 4 Free body diagram beam satu ujung bebas

(Sumber : AWC NDS,2005)

Pada kondisi ini, tegangan pipa dihitung berdasarkan momen inersia akibat beban yang ditinjau dari titik pusat beam satu ujung bebas. Perhitungan tegangan pada kondisi ini dilakukan pada pipa sepanjang lebih dari 150 m dari jarak bibir pantai dan area trenching.

Berikut hasil perhitungan tegangan aksial bending dan tegangan total ;

Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan Tegangan Aksial *Bending* Dan Tegangan Total

Parameter	Unit	
Tegangan aksial	MPa	1,6
Tegangan Bending	MPa	279,48
Tegangan total longitudinal	MPa	281,03

Berdasarkan ASME B31.4 bahwa tegangan total longitudinal tidak diperkenankan melebihi batas tegangan yang diizinkan yakni sebesar 288 MPa. Dari tabel diatas diperoleh hasil bahwa tegangan longitudinal maksimal sebesar 281,03 MPa berada didaerah dekat *roller barge*. Dari hasil itu artinya pipa masih dalam kondisi aman karena tidak melebihi tegangan yang diizinkan. Untuk perhitungan tegangan dapat dilihat pada Lampiran F.

## 4.7 Simulasi Monte Carlo

### 4.7.1 Moda Kegagalan

Tahap pertama yang harus dilakukan dalam analisis keandalan dengan metode *Monte Carlo* yaitu menentukan moda kegagalan. Moda kegagalan ini berfungsi sebagai parameter yang akan menunjukkan kapan dan dalam keadaan seperti apa struktur tersebut mengalami kegagalan. Moda kegagalan ini nantinya akan berguna juga dalam hal menentukan peluang kegagalan (*Probability of Failure*) yang merupakan faktor penting untuk menentukan keandalan struktur. Moda kegagalan pada penelitian ini berdasar pada *Propagation Buckling*. Berdasarkan codes API RP 1111, penyebab utama dari *propagation buckling* ini adalah tekanan eksternal (hidrostatik) yang nilainya lebih besar dari tekanan yang diperlukan untuk mencegah terjadinya perambatan *buckle* tersebut. Terjadinya *propagation buckling* didahului oleh adanya *local buckling* dan tidak bisa menjalar ke bagian lain jika tekanan eksternal masih dibawah tekanan propagasi ( $P_p$ ). Apabila kondisi tekanan eksternal melebihi tekanan propagasi maka perlu diberikan adanya penahan *buckle* (*buckle arrestor*). Pengaruh *propagation buckling* dalam proses instalasi sangat mempengaruhi struktur pipa yang akan di instal, karena apabila terjadi kegagalan struktur dengan merambatnya *propagation buckling*, maka akan menghambat proses instalasi. Berdasarkan codes API RP 111 *propagation buckling* yang dijadikan moda kegagalan dirumuskan sebagai berikut :

*Propagation Buckling* :

$$P_o - P_i \geq f_p P_p$$
$$P_p = 24 \cdot S \cdot \left[ \frac{t_n}{D} \right]^{2.4}$$

Dengan :

$P_o$  = Tekanan Eksternal (MPa)

$P_i$  = Tekanan Internal (MPa)

$f_p$  = Faktor Desain *Propagation Buckling* = 0.8

$P_p$  = Tekanan *Propagation Buckling* (MPa)

$t_n$  = Ketebalan Dinding Nominal Pipa (m)

$S$  = *Specified minimum yield Strength* (MPa)

Dengan berdasar persamaan diatas, moda kegagalan yang digunakan selama simulasi ini adalah sebagai berikut :

### Moda Kegagalan : Kekuatan – Beban

$$M = F_p P_p - (P_o - P_i) \geq 0, \text{ sukses}$$

$$M = 0, \text{ sukses}$$

$$M \leq 0, \text{ gagal}$$

#### 4.7.2 Variabel Acak

Setelah moda kegagalan ditentukan, tahap berikutnya adalah menentukan variabel acak. Variabel acak ini berasal dari variabel – variabel persamaan moda kegagalan diatas yang memiliki ketidakpastian. Ketidakpastian ini yang digunakan untuk menggambarkan peluang kegagalan pada keadaan sebenarnya dialam yang juga memiliki ketidak pastian yang tinggi. Dari persamaan moda kegagalan akibat *propagation buckling* dapat ditentukan beberapa variabel yang digunakan sebagai variabel acak.

Data Variabel – variabel persamaan moda kegagalan sebagai berikut :

Tabel 4. 13 Variabel – Variabel moda kegagalan

Variabel	Distribusi	Mean	Standar Deviasi
Tekanan Eksternal (Po)	LogNormal	0,22	0,015
Tekanan Internal (Pi)	LogNormal	1,95	0,05
<i>S</i>	Normal	360	36
Ketebalan pipa (tn)	Normal	0,02	1,59
<i>fp</i>	Normal	0,8	0,08
Diameter Pipa (D)	Normal	0,51	50,8

Variabel acak yang digunakan dalam simulasi *Monte Carlo* dalam penelitian ini adalah tekanan eksternal (Pi), tekanan internal (Po), *SMYS* (*S*) :

Tabel 4. 14 Distribusi Variabel Acak

Variabel	Distribusi	Mean	Standar Deviasi
Tekanan Eksternal (Po)	LogNormal	0,22	0,015
Tekanan Internal (Pi)	LogNormal	1,95	0,05
<i>S</i>	Normal	360	36

### 4.7.3 Peluang Kegagalan

Peluang kegagalan (*Probability of Failure*) didapatkan dari hasil *running* simulasi *Monte Carlo* yang ditinjau dari tekanan eksternal, tekanan internal dan *SMYS* dengan menerapkan moda kegagalan yang telah disebutkan sebelumnya.

Setelah didapatkan parameter statistik dari masing masing variabel acak, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah *generate* masing masing variabel acak menjadi masing masing 10000 dan 100000 RNG (*Random Generate Number*). RNG ini didapatkan dengan bantuan perangkat lunak Ms. Excel 2013 sesuai dengan rata-rata, standar deviasi dan jenis distribusi masing – masing variabel acak. Untuk  $P_o$  dan  $P_i$  menggunakan rumus perintah “LOGNORM.INV(RAND();mean;standard\_dev)”, sedangkan untuk variabel  $S$  menggunakan rumus perintah “NORM.INV(RAND();mean;standard\_dev)”. Masing masing RNG dari variabel kemudian ditransformasi menjadi angka random dan disimulasikan pada moda kegagalan *propagation buckling*. Dari 10.000 dan 100.000 kali uji coba dengan memanfaatkan bantuan perangkat lunak Ms. Excel tersebut didapatkan peluang kegagalan (PoF) yang dapat dilihat pada lampiran H.

Untuk percobaan Sebanyak 10.000 kali *running* dapat dilihat pada gambar dibawah ini, sebagai berikut :

DATA BUCKLING :					Mean	StDev							
Po =		0,22	0,015	RNG	1,23								
Pi =		1,95	0,05	RNG	6,95								
fp =		0,8	0,08										
S =		360	36	RNG	367,15								
tn =		0,02	1,59										
D =		0,51	50,8										
percke	Po	Pi	fp	S	tn	D	Pp	Po - Pi	Pp*fp	Moda kegagalan	Status		
1	1,23	6,95	0,8	367,15	0,02	0,508	0,37	-5,72	0,30	6,02	1		
2	1,24	7,91	0,8	399,38	0,02	0,508	0,41	-6,67	0,33	7,00	1		
3	1,23	6,79	0,8	359,97	0,02	0,508	0,37	-5,56	0,29	5,85	1		
4	1,25	7,07	0,8	390,43	0,02	0,508	0,40	-5,82	0,32	6,14	1		
5	1,27	6,26	0,8	352,76	0,02	0,508	0,36	-4,99	0,29	5,28	1		
6	1,26	7,08	0,8	386,07	0,02	0,508	0,39	-5,82	0,32	6,14	1		
7	1,23	6,95	0,8	438,68	0,02	0,508	0,45	-5,72	0,36	6,07	1		
8	1,24	7,58	0,8	325,06	0,02	0,508	0,33	-6,34	0,27	6,60	1		
9	1,24	5,95	0,8	397,33	0,02	0,508	0,41	-4,71	0,32	5,04	1		
10	1,24	7,32	0,8	382,08	0,02	0,508	0,39	-6,08	0,31	6,39	1		
9996	1,25	6,74	0,8	343,26	0,02	0,508	0,35	-5,49	0,28	5,77	1		
9997	1,23	7,54	0,8	370,62	0,02	0,508	0,38	-6,31	0,30	6,61	1		
9998	1,24	6,84	0,8	289,48	0,02	0,508	0,30	-5,60	0,24	5,84	1		
9999	1,24	7,91	0,8	334,94	0,02	0,508	0,34	-6,67	0,27	6,95	1		
10000	1,26	7,16	0,8	368,37	0,02	0,508	0,38	-5,90	0,30	6,20	1		
											SUKSES		
							Keandalan	100	%		10000		
							Kegagalan	0	%		0		

Gambar 4. 5 Hasil running 10.000 non variasi

Untuk percobaan Sebanyak 100.000 kali *running* dapat dilihat dari gambar hasil sebagai berikut :

DATA BUCKLING :												
Po =		Mean	StDev									
		0,22	0,015	RNG	1,27							
Pi =		1,95	0,05	RNG	7,56							
fp =		0,8	0,08									
S =		360	36	RNG	394,74							
tn =		0,02	1,59									
D =		0,508	50,8									
perc ke	Po	Pi	fp	S	tn	D	Pp	Po - Pi	Pp*fp	Moda kegagalan	Status	
1	1,27	7,56	0,8	394,74	0,02	0,508	0,40	-6,29	0,32	6,61	1	
2	1,24	7,31	0,8	318,23	0,02	0,508	0,32	-6,07	0,26	6,33	1	
3	1,28	7,17	0,8	366,51	0,02	0,508	0,37	-5,89	0,30	6,19	1	
4	1,25	7,62	0,8	317,17	0,02	0,508	0,32	-6,37	0,26	6,63	1	
5	1,27	7	0,8	312,13	0,02	0,508	0,32	-5,73	0,25	5,98	1	
6	1,23	7,31	0,8	430,25	0,02	0,508	0,44	-6,08	0,35	6,43	1	
7	1,23	7,64	0,8	342,35	0,02	0,508	0,35	-6,41	0,28	6,69	1	
8	1,28	6,42	0,8	341,06	0,02	0,508	0,35	-5,14	0,28	5,42	1	
9	1,25	7,28	0,8	332,53	0,02	0,508	0,34	-6,03	0,27	6,30	1	
10	1,25	6,95	0,8	325,71	0,02	0,508	0,33	-5,70	0,27	5,97	1	
99996	1,22	7,13	0,8	370,56	0,02	0,508	0,38	-5,91	0,30	6,21	1	
99997	1,26	7,51	0,8	345,15	0,02	0,508	0,35	-6,25	0,28	6,53	1	
99998	1,25	6,78	0,8	343,73	0,02	0,508	0,35	-5,53	0,28	5,81	1	
99999	1,25	6,85	0,8	382,73	0,02	0,508	0,39	-5,60	0,31	5,91	1	
100000	1,20	7,42	0,8	340,34	0,02	0,508	0,35	-6,22	0,28	6,49	1	
											SUKSES	
							keandalan	100	%		100000	
							Kegagalan	0	%		0	

Gambar 4. 6 Hasil running 100.000 non variasi

Dari kedua gambar diatas, dengan tekanan sebesar 0,22 MPa didapatkan peluang kegagalan 0% dan keandalan 100%. Untuk uji validitas terhadap simulasi *Monte Carlo*, variasi tekanan eksternal perlu dinaikkan dengan kenaikan variasi masing masing 1,96 MPa, 2 MPa dan 2,06 MPa untuk tiap running 10.000 dan 100.000 kali agar diketahui peluang kegagalan dan kevalidan simulasi.



Hasil running 10.000 kali variasi 1,96 MPa

DATA BUCKLING :		Mean	StDev									
Po =		1,96	0,015	RNG	7,09							
Pi =		1,95	0,05	RNG	6,89							
fp =		0,8	0,08									
S =		360	36	RNG	368,12							
tn =		0,02	1,59									
D =		0,51	50,8									
percke	Po	Pi	fp	S	tn	D	Pp	Po - Pi	Pp*fp	Moda kegagalan	Status	
1	7,09	6,89	0,8	368,12	0,02	0,508	0,38	0,20	0,30	0,10	1	
2	7,07	6,64	0,8	411,29	0,02	0,508	0,42	0,43	0,34	-0,10	0	
3	6,98	7,05	0,8	334,81	0,02	0,508	0,34	-0,07	0,27	0,34	1	
4	7,08	7,21	0,8	408,89	0,02	0,508	0,42	-0,13	0,33	0,46	1	
5	7,04	7,53	0,8	357,11	0,02	0,508	0,36	-0,49	0,29	0,78	1	
6	7,12	7,43	0,8	340,13	0,02	0,508	0,35	-0,31	0,28	0,58	1	
7	7,25	7,39	0,8	431,15	0,02	0,508	0,44	-0,14	0,35	0,49	1	
8	7,27	7,36	0,8	450,61	0,02	0,508	0,46	-0,09	0,37	0,46	1	
9	7,05	6,93	0,8	347,24	0,02	0,508	0,35	0,10	0,28	0,19	1	
10	7,13	6,8	0,8	345,46	0,02	0,508	0,35	0,33	0,28	-0,05	0	
9996	6,99	7,03	0,8	357,26	0,02	0,508	0,36	-0,04	0,29	0,33	1	
9997	7,08	6,61	0,8	393,65	0,02	0,508	0,40	0,47	0,32	-0,15	0	
9998	7,18	6,43	0,8	438,35	0,02	0,508	0,45	0,75	0,36	-0,40	0	
9999	7,24	7,48	0,8	332,00	0,02	0,508	0,34	-0,24	0,27	0,51	1	
10000	7,08	6,58	0,8	401,00	0,02	0,508	0,41	0,50	0,33	-0,17	0	
											SUKSES	
							Keandalan		72,73	%	7273	
							Kegagalan		27,27	%	2727	

Gambar 4. 7 hasil running 10.000 kali variasi 1,96 MPa

Hasil Running 100.000 variasi 1,96 MPa

DATA BUCKLING :		Mean	StDev									
Po =		1,96	0,015	RNG	7,12							
Pi =		1,95	0,05	RNG	6,87							
fp =		0,8	0,08									
S =		360	36	RNG	331,58							
tn =		0,02	1,59									
D =		0,51	50,8									
percke	Po	Pi	fp	S	tn	D	Pp	Po - Pi	Pp*fp	Moda kegagalan	Status	
1	7,12	6,87	0,8	331,58	0,02	0,508	0,34	0,25	0,27	0,02	1	
2	6,95	6,96	0,8	341,85	0,02	0,508	0,35	-0,01	0,28	0,29	1	
3	7,04	6,56	0,8	361,56	0,02	0,508	0,37	0,48	0,30	-0,19	0	
4	7,12	7,64	0,8	320,87	0,02	0,508	0,33	-0,52	0,26	0,78	1	
5	7,00	6,72	0,8	419,15	0,02	0,508	0,43	0,28	0,34	0,06	1	
6	7,02	6,93	0,8	332,49	0,02	0,508	0,34	0,09	0,27	0,18	1	
7	7,15	7,17	0,8	322,55	0,02	0,508	0,33	-0,02	0,26	0,28	1	
8	7,16	7,51	0,8	365,99	0,02	0,508	0,37	-0,35	0,30	0,65	1	
9	7,02	7,11	0,8	304,78	0,02	0,508	0,31	-0,09	0,25	0,34	1	
9996	7,05	7,48	0,8	353,03	0,02	0,508	0,36	-0,43	0,29	0,72	1	
9997	7,31	6,68	0,8	328,55	0,02	0,508	0,34	0,63	0,27	-0,36	0	
9998	7,07	6,82	0,8	349,54	0,02	0,508	0,36	0,25	0,29	0,03	1	
9999	7,14	6,9	0,8	430,38	0,02	0,508	0,44	0,24	0,35	0,11	1	
10000	6,85	7,43	0,8	347,10	0,02	0,508	0,35	-0,58	0,28	0,86	1	
											SUKSES	
							Keandalan		72,41	%	7241	
							Kegagalan		27,59	%	2759	

Gambar 4. 8 hasil running 100.000 variasi 1,96 MPa

Dari kedua gambar diatas, dengan adanya kenaikan variasi tekanan eksternal 1,96 MPa,ada perubahan keandalan dari 100% menjadi kisaran 72 %. Dengan hasil tersebut, maka

diperoleh peluang kegagalannya dikisaran sebesar 27 %. Setelah itu kembali dilakukan running sebanyak 10.000 dan 100.000 kali untuk variasi tekanan eksternal 2 MPa.

Hasil running 10.000 variasi 2 MPa.

DATA BUCKLING :				Mean	StDev								
Po =		2	0,015	RNG	7,39								
Pi =		1,95	0,05	RNG	6,82								
fp =		0,8	0,08										
S =		360	36	RNG	345,52								
tn =		0,02	1,59										
D =		0,508	50,8										

perc ke	Po	Pi	fp	S	tn	D	Pp	Po - Pi	Pp*fp	Moda kegagalan	Status
1	7,39	6,82	0,8	345,52	0,02	0,508	0,35	0,57	0,28	-0,29	0
2	7,55	7,17	0,8	365,21	0,02	0,508	0,37	0,38	0,30	-0,06	0
3	7,37	7,44	0,8	358,18	0,02	0,508	0,37	-0,07	0,29	0,36	1
4	7,35	7,5	0,8	367,43	0,02	0,508	0,37	-0,15	0,30	0,45	1
5	7,30	7,05	0,8	377,89	0,02	0,508	0,39	0,25	0,31	0,06	1
6	7,36	7,17	0,8	342,76	0,02	0,508	0,35	0,19	0,28	0,09	1
7	7,52	7,17	0,8	320,49	0,02	0,508	0,33	0,35	0,26	-0,09	0
8	7,29	7,71	0,8	350,99	0,02	0,508	0,36	-0,42	0,29	0,70	1
9	7,27	6,59	0,8	365,70	0,02	0,508	0,37	0,68	0,30	-0,38	0
9996	7,28	7,28	0,8	387,65	0,02	0,508	0,40	0,00	0,32	0,32	1
9997	7,39	7,28	0,8	333,14	0,02	0,508	0,34	0,11	0,27	0,17	1
9998	7,33	6,92	0,8	381,64	0,02	0,508	0,39	0,41	0,31	-0,10	0
9999	7,18	7,2	0,8	336,73	0,02	0,508	0,34	-0,02	0,27	0,30	1
10000	7,51	6,97	0,8	378,88	0,02	0,508	0,39	0,54	0,31	-0,23	0
											SUKSES
								Keandalan	42,97	%	4297
								Kegagalan	57,03	%	5703

Gambar 4. 9 hasil running 10.000 variasi 2 MPa

Hasil running 100.000 variasi 2 MPa

DATA BUCKLING :				Mean	StDev								
Po =		2	0,015	RNG	7,34								
Pi =		1,95	0,05	RNG	7,29								
fp =		0,8	0,08										
S =		360	36	RNG	375,9								
tn =		0,02	1,59										
D =		0,508	50,8										

perc ke	Po	Pi	fp	S	tn	D	Pp	Po - Pi	Pp*fp	Moda kegagalan	Status
1	7,34	7,29	0,8	375,90	0,02	0,508	0,38	0,05	0,31	0,26	1
2	7,47	7,35	0,8	391,31	0,02	0,508	0,40	0,12	0,32	0,20	1
3	7,45	6,74	0,8	383,44	0,02	0,508	0,39	0,71	0,31	-0,39	0
4	7,51	6,78	0,8	343,22	0,02	0,508	0,35	0,73	0,28	-0,45	0
5	7,37	7,1	0,8	367,62	0,02	0,508	0,37	0,27	0,30	0,03	1
6	7,22	6,51	0,8	365,77	0,02	0,508	0,37	0,71	0,30	-0,41	0
7	7,28	6,26	0,8	338,74	0,02	0,508	0,35	1,02	0,28	-0,74	0
8	7,44	6,54	0,8	424,71	0,02	0,508	0,43	0,90	0,35	-0,56	0
9	7,27	7,06	0,8	358,53	0,02	0,508	0,37	0,21	0,29	0,08	1
99996	7,35	6,74	0,8	380,93	0,02	0,508	0,39	0,61	0,31	-0,30	0
99997	7,28	6,92	0,8	360,74	0,02	0,508	0,37	0,36	0,29	-0,06	0
99998	7,59	6,97	0,8	343,93	0,02	0,508	0,35	0,62	0,28	-0,34	0
99999	7,42	6,95	0,8	301,46	0,02	0,508	0,31	0,47	0,25	-0,22	0
100000	7,45	6,79	0,8	380,66	0,02	0,508	0,39	0,66	0,31	-0,35	0
											Sukses
								keandalan	42,87	%	42872
								Kegagalan	57,13	%	57128

Gambar 4. 10 Hasil running 100.000 variasi 2 MPa

Dari kedua gambar diatas, dengan adanya kenaikan variasi tekanan eksternal 2 MPa, ada perubahan keandalan dari 72 % menjadi kisaran 42 %. Dengan hasil tersebut, maka diperoleh peluang kegagalannya dikisaran sebesar 57 %. Setelah itu kembali dilakukan running sebanyak 10.000 dan 100.000 kali untuk variasi tekanan eksternal 2,04 MPa.

Hasil running 10.000 variasi 2,04 MPa

DATA BUCKLING :		Mean	StDev										
Po =		2,04	0,015	RNG	7,69								
Pi =		1,95	0,05	RNG	7,62								
fp =		0,8	0,08										
S =		360	36	RNG	327,64								
tn =		0,02	1,59										
D =		0,51	50,8										
perc ke	Po	Pi	fp	S	tn	D	Pp	Po - Pi	Pp*fp	Moda kegagalan	Status		
1	7,69	7,62	0,8	327,64	0,02	0,508	0,33	0,07	0,27	0,20	1		
2	7,54	7,14	0,8	370,82	0,02	0,508	0,38	0,40	0,30	-0,10	0		
3	7,71	6,99	0,8	353,47	0,02	0,508	0,36	0,72	0,29	-0,43	0		
4	7,86	7,31	0,8	361,95	0,02	0,508	0,37	0,55	0,30	-0,25	0		
5	7,51	6,75	0,8	398,72	0,02	0,508	0,41	0,76	0,33	-0,43	0		
6	7,55	6,83	0,8	396,99	0,02	0,508	0,40	0,72	0,32	-0,39	0		
7	7,76	7,73	0,8	356,21	0,02	0,508	0,36	0,03	0,29	0,26	1		
8	7,67	6,87	0,8	378,45	0,02	0,508	0,39	0,80	0,31	-0,49	0		
9	7,54	7,07	0,8	345,15	0,02	0,508	0,35	0,47	0,28	-0,19	0		
9996	7,58	6,97	0,8	390,64	0,02	0,508	0,40	0,61	0,32	-0,29	0		
9997	7,70	7,05	0,8	266,66	0,02	0,508	0,27	0,65	0,22	-0,44	0		
9998	7,70	6,77	0,8	387,79	0,02	0,508	0,40	0,93	0,32	-0,61	0		
9999	7,49	6,64	0,8	331,71	0,02	0,508	0,34	0,85	0,27	-0,58	0		
10000	7,61	7,09	0,8	380,30	0,02	0,508	0,39	0,52	0,31	-0,21	0		
													SUKSES
									16,63	%	1663		Gagal
									83,37	%	8337		

Gambar 4. 11 Hasil running variasi 2 MPa

Hasil running 100.000 variasi 2,04 MPa

DATA BUCKLING :		Mean	StDev										
Po =		2,04	0,015	RNG	7,7								
Pi =		1,95	0,05	RNG	7,25								
fp =		0,8	0,08										
S =		360	36	RNG	466,17								
tn =		0,02	1,59										
D =		0,508	50,8										
perc ke	Po	Pi	fp	S	tn	D	Pp	Po - Pi	Pp*fp	Moda kegagalan	Status		
1	7,70	7,25	0,8	466,17	0,02	0,508	0,48	0,45	0,38	-0,07	0		
2	7,63	6,43	0,8	328,31	0,02	0,508	0,33	1,20	0,27	-0,93	0		
3	7,69	7,24	0,8	383,27	0,02	0,508	0,39	0,45	0,31	-0,14	0		
4	7,82	6,74	0,8	383,41	0,02	0,508	0,39	1,08	0,31	-0,76	0		
5	7,69	6,33	0,8	387,30	0,02	0,508	0,40	1,36	0,32	-1,05	0		
6	7,77	7,4	0,8	368,92	0,02	0,508	0,38	0,37	0,30	-0,07	0		
7	7,82	7,23	0,8	319,57	0,02	0,508	0,33	0,59	0,26	-0,33	0		
8	7,89	6,75	0,8	325,60	0,02	0,508	0,33	1,14	0,27	-0,87	0		
9	7,74	6,06	0,8	372,06	0,02	0,508	0,38	1,68	0,30	-1,38	0		
99996	7,65	6,9	0,8	371,61	0,02	0,508	0,38	0,75	0,30	-0,45	0		
99997	7,76	6,96	0,8	359,16	0,02	0,508	0,37	0,80	0,29	-0,51	0		
99998	7,77	7,27	0,8	367,41	0,02	0,508	0,37	0,50	0,30	-0,20	0		
99999	7,77	7,47	0,8	410,73	0,02	0,508	0,42	0,30	0,34	0,04	1		
100000	7,71	7,08	0,8	372,58	0,02	0,508	0,38	0,63	0,30	-0,32	0		
													Hasil
									16,59	%	16590		
									83,41	%	83410		

Gambar 4. 12 Hasil running 100.000 variasi 2,04 MPa

Dari kedua gambar diatas, dengan adanya kenaikan variasi tekanan eksternal 2,04 MPa, ada perubahan keandalan dari 42 % menjadi kisaran 16 %. Dengan hasil tersebut, maka diperoleh peluang kegagalannya dikisaran sebesar 83 %. Dengan serangkaian hasil running sebanyak 10.000 dan 100.000 kali diperoleh peluang kegagalan dijelaskan dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 4. 15 Peluang Kegagalan

Kenaikan tekanan eksternal (MPa)	PoF 10.000	PoF 100.000
0,22	0%	0%
1,96	27,27 %	27,59%
2	57,03 %	57,13 %
2,04	83,37 %	83,41 %

#### 4.7.4 Keandalan

Setelah diketahui peluang kegagalan (PoF) dari serangkaian simulasi 10.000 dan 100.000 kali, maka dapat diketahui keandalan pipa bawah laut terhadap *propagation buckling* dengan tekanan eksternal awal 0,22 MPa dan variasi kenaikan tekanan eksternal masing masing 1,96 MPa, 2 MPa, dan 2,04 MPa dengan menggunakan perhitungan :

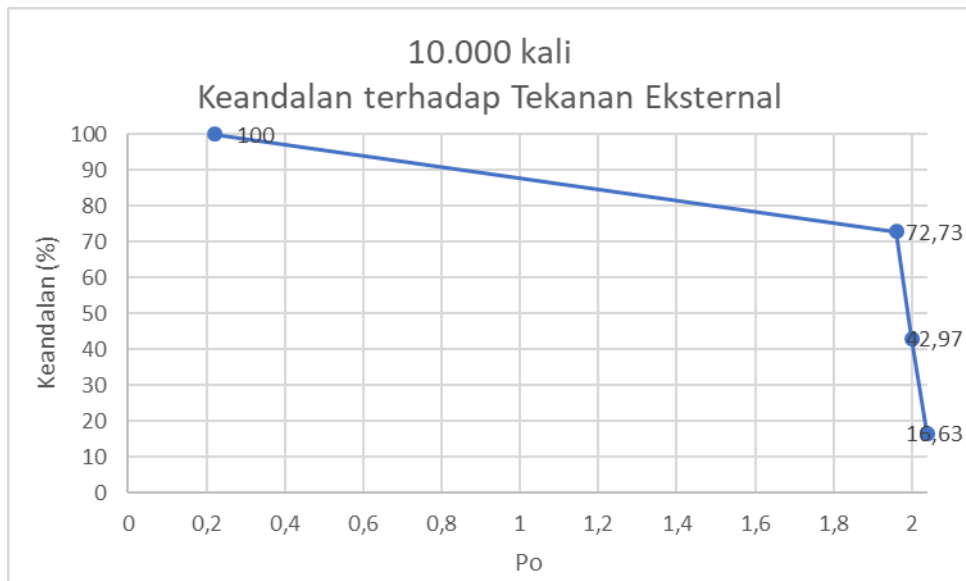
$$K = 100\% - Pof$$

Berikut ini Keandalan disajikan dalam bentuk tabel dibawah ini :

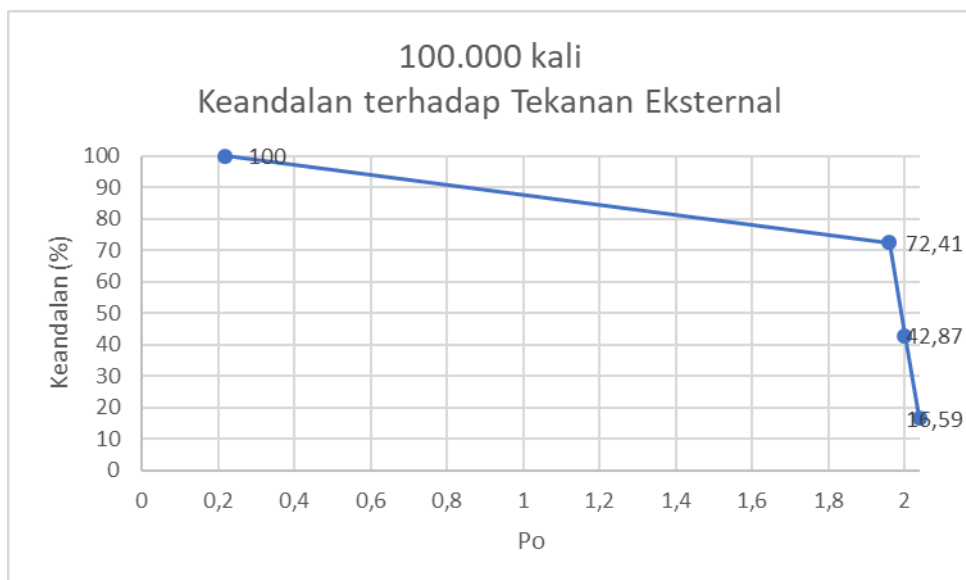
Tabel 4. 16 Keandalan

Kenaikan tekanan eksternal (MPa)	Keandalan 10.000	Keandalan 100.000
0,22	100%	100%
1,96	72,73 %	72,41%
2	42,97 %	42,87 %
2,04	16,63 %	16,59 %

Dari tabel keandalan diatas dapat divisualisasikan dalam bentuk diagram, untuk melihat kecenderungan antara keandalan dan variasi kenaikan tekanan eksternal.



Gambar 4. 13 Grafik hubungan keandalan dan tekanan eksternal



Gambar 4. 14 grafik hubungan keandalan dan tekanan eksternal hasil running 100.000

Dari dua grafik diatas dapat diperoleh hasil bahwa semakin tinggi tekanan eksternal maka keandalan akan semakin turun.

..... *Halaman ini sengaja dikosongkan* .....

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 4.8 Kesimpulan

Melalui proses analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Gaya tarik maksimal yang diterima pipa bawah laut sebesar 174,35 kN pada bentangan pipa terpanjang 1150 m di daerah *roller barge*.
2. Tegangan pipa saat proses instalasi yang terbesar sebesar 281,03 MPa pada bentangan pipa terpanjang 1150 m di daerah *roller barge*, dan belum melewati batas tegangan ijin yakni 288 MPa.
3. Keandalan pipa bawah laut terhadap *propagation buckling* selama proses instalasi yakni 100% ketika tekanan eksternal sebesar 0,22 MPa, namun dengan variasi peningkatan tekanan eksternal masing-masing sebesar 1,96 MPa, 2 MPa, dan 2,04 MPa pada input moda kegagalan, keandalan pipa semakin menurun berturut turut menjadi 72 %, 42 % dan 16 %.

#### 4.9 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Untuk penelitian selanjutnya, sangat diperlukan analisis terkait pengaruh gerakan stinger selama laying pipa
2. Menggunakan software untuk analisis yang membutuhkan pemodelan, agar dapat di visualisasikan proses instalasi dengan metode *push pull*
3. Menggunakan software lain yang sesuai untuk pengembangan metode simulasi *Monte Carlo*
4. Besarnya pengaruh beban lingkungan kondisi dinamis perlu dilakukan untuk proses operasi.

..... *Halaman ini sengaja dikosongkan* .....



## DAFTAR PUSTAKA

- API RP 1111.Code.1999. **Design, Construction, Operation, and Maintenance of Offshore Hydrocarbon Pipelines** (Limit State Design). USA : Washington D.C.
- Ardiansyah, Rizal.,(2015), Analisis Tegangan Pipa Saat Towing Pada Proses Instalasi dengan Metode *Surface Tow*. **Tugas Akhir**,Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Asfa'un, Hasyim., (2015), **Laporan Kerja Praktek**, Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- ASME B31.8 Code.2003. **Gas Transmission and Distribution Piping System**. USA: New York
- ASME B31.4 Code.2012. **Pipeline Transportation System for Liquids and Slurries**. USA: New York
- Bay, Y., (2001), Pipeline and Riser. Elsevier Ocean Engineering Book Series, volume 3.
- Beer Ferdinand P. et al. 2006. Mechanics of Materials. Fourth Edition. McGraw Hill
- Chakrabarti, S.K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structure*.Computational Mechanics Publ,Berlin.
- DNV–OS–F101.2013.*Submarine Pipeline System*.Det Norske Veritas,Norway
- DNV-RP-C205.2010.*Environmental Condition and Environmental Loads*.Det Norske Veritas,Norway
- DNV–RP–F103.2010.*Cathodic Protection of Submarine Pipelines by Galanic Anodes*.Det Norske Veritas,Norway
- DNV–RP–F109.2010.*On bottom Stability Design Of Submarine Pipeline*.Det Norske Veritas,Norway
- F.Albermani.Propagation buckling in deep sub-sea pipelines.Australia : Elsevier.2007
- Fantricsia (2008), Desain dan Analisis Pipa Bawah Laut.**Tugas Akhir**,Institut Teknologi Bandung.
- Fathurrozi, Muhammad.,(2016), Analisis Tegangan Pipa saat *Pulling* pada Instalasi *Pipeline* dengan Metode *Push Pull : Project PT.Dwisatu Mustika Bumi (DMB)*. **Tugas Akhir**,Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Guo, Boyun et al. 2014. *Offshore Pipelines : Design, Installation, and Maintenance* Elsevier Ocean Engineering Series. USA
- Harmasto, F.K.,(2002), Analisis Keandalan Stabilitas Pipa Bawah Laut Akibat Beban Beban Hidrodinamis di Perairan Tuban,Jatim. **Tugas Akhir**,Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.

- Mouselli,AH.1981. *Offshore Pipeline Design, Analysis, and Methods*. Pennwell Books,Oklahoma
- Nuraini, I.P.,(2016), Analisis Resiko Pipa Bawah Laut Akibat Tarikan Jangkar dengan Metode *Monte Carlo* Studi Kasus Jaringan Pipa Bawah Laut Tunu *Field*. **Tugas Akhir**,Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Pipeline Installation Procedure.” *EPCIC of Mooring System and 3 km Subsea and Onshore Pipeline Sangatta Project*”.2015.PT Dwisatu Mustika Bumi.
- Popov,E.P.1996. *Mechanics of Materials*. Prentice-Hall, Inc. New Jersey
- Rosyid, D.M.2008. **Pengantar Rekayasa Keandalan**. Surabaya : Airlangga University Press.
- Soegiono. 2007. **Pipa Laut**. Surabaya : Airlangga University Press.
- [http://bukit-dago-selatan.blogspot.co.id/2010\\_12\\_21\\_archive.html](http://bukit-dago-selatan.blogspot.co.id/2010_12_21_archive.html) diakses pada tanggal 21 september 2016 pukul 13.21

## LAMPIRAN A (PERHITUNGAN BEBAN PIPA)

### DATA PIPA (*PIPE PROPERTIES*)

<i>Pipeline Design Parameter</i>	Units	Value
Service	-	Diesel Oil
Material	-	API 5L Grade X52 PSL2 CS SAWL
Outside Diameter (OD)	mm	508
Internal Diameter	mm	476.25
Wall Thickness	mm	15.87
Corrosion Allowance (CA)	Mm	3
Coating Corrosion Type	-	3LPE
Coating Corrosion Thickness ( $t_{corr}$ )	mm	2.5
Concrete Coating Thickness	mm	50
SMYS	MPa	360,0 (52,20ksi)
SMTS	MPa	460,0 (66,70 ksi)
Poisson Ratio	-	0.3
Young Modulus pipa	MPa	$2,07 \times 10^5$ (30022,9 ksi)
Density steel	kg/m <sup>3</sup>	7850
Density of Coating Corrosion	kg/m <sup>3</sup>	958.23
Concrete Density	kg/m <sup>3</sup>	3040
Coefficient of thermal expansion	/deg C	$1.1 \times 10^{-5}$
Maximum Out-of-Roundness (Ovality)	-	OD min - OD max < 3 % of OD
Operating Pressure	psig	145 (9.8 barg)
Design Temperature	C	50.0
Design Pressure	psig	285 (196.6 barg)
Operating Temperature	C	47.0
Hydro test pressure (pipeline)	psig	356.25 (24.5 barg)
Pipe Joint Length	m	12.2
Panjang pipa keseluruhan (L)	m	1150

Yang dibutuhkan :

Data pipa untuk perhitungan **Berat pipa dan gaya apung**

	DATA PIPA					
Pipe Outside Diameter ( <i>OD</i> )	=	508	mm	=	0,51	m
Pipe Inside Diameter ( <i>ID</i> )	=	476,25	mm	=	0,48	m
wall thickness pipe ( <i>tst</i> )	=	15,875	mm	=	0,02	m
corrosion coating thickness ( <i>tcr</i> )	=	2,5	mm	=	0,003	m
Concrete Coating Thickness ( <i>tconc</i> )	=	50	mm	=	0,05	m
Density of steel pipe ( $\rho_{st}$ )	=	7850	kg/m <sup>3</sup>			
Density of corossion coating ( $\rho_{corr}$ )	=	958,23	kg/m <sup>3</sup>			
Density of Concrete Coating ( $\rho_{cc}$ )	=	3040	kg/m <sup>3</sup>			
Density of sea water ( $\rho_{sw}$ )	=	1025	kg/m <sup>3</sup>			
Panjang pipa keseluruhan (L)	=	1150	m			
gravitasi (g)	=	9,81	m/s <sup>2</sup>			

yang dicari : ?

Diameter total pipa

berat baja

berat lapisan korosi (corrosion coating)

Berat lapisan beton (concrete coating)

Berat total pipa (1 line pipe)

Berat keseluruhan pipa

Volume pipa tercelup

Gaya apung pipa

Beban pipa tercelup

$$\begin{aligned}
\mathbf{1} \quad \text{Diameter Total Pipa } (D_{tot}) &= OD + 2 (t_{cr} + t_{conc}) \\
&= 508 + 2 (2,5 + 50) \\
&= 613 \quad \text{mm} \\
&= 0,61 \quad \text{m} \\
\mathbf{2} \quad \text{Berat Steel Pipe } (M_{st}) &= (\pi/4) \cdot [OD^2 - ID^2] \cdot \rho_{st} \\
&= (3,14/4) \cdot [508^2 - 476,3^2] \cdot 7850 \\
&= 192,57 \quad \text{Kg/m} \\
&= 1,89 \quad \text{kN/m} \\
\mathbf{3} \quad \text{Berat Corrosion Coating } (M_{cr}) &= (\pi/4) \cdot [(OD + 2 \cdot t_{corr})^2 - OD^2] \cdot \rho_{corr} \\
&= (3,14/4) \cdot [(508 + 2 \cdot 2,5)^2 - OD^2] \cdot 958,2 \\
&= 3,84 \quad \text{Kg/m} \\
&= 0,038 \quad \text{kN/m} \\
\mathbf{4} \quad \text{Berat Concrete Coating } (M_{cc}) &= (\pi/4) \cdot [(OD + 2 \cdot t_{corr} + 2 \cdot t_{conc})^2 - (OD + 2 \cdot t_{corr})^2] \cdot \rho_{cc} \\
&= (3,14/4) \cdot [(508 + 2 \cdot 2,5 + 2 \cdot 50)^2 - (508 + 2 \cdot 2,5)^2] \cdot 3040 \\
&= 268,71 \quad \text{Kg/m} \\
&= 2,64 \quad \text{kN/m} \\
\mathbf{5} \quad \text{Berat pipa } (M_p) &= M_{st} + M_{corr} + M_{cc} \\
&= (192,5699274) + (3,840034858) + (268,70864) \\
&= 465,12 \quad \text{Kg/m} \\
&= 4,56 \quad \text{kN/m}
\end{aligned}$$

<b>6</b>	Berat Pipe keseluruhan (Mu)	= $M_p \cdot L$ = $(465,1186022) \cdot (1150)$ = 534886,39                      Kg = 5247,24                              kN
<b>7</b>	Volume pipa tercelup (Vp)	= $(\pi/4) \cdot (D_{tot})^2 \cdot L$ = $(3,14/4) \cdot (0,613)^2 \cdot (1150)$ = 339,2                                      m <sup>3</sup>
<b>8</b>	Gaya Apung pipa (Fbp)	= $\rho_{sw} \cdot g \cdot V$ = $(1025) \cdot (9,81) \cdot (339,2254648)$ = 3410996,85                              N = 3411,00                                      kN = 2,97    kN/m
<b>9</b>	Beban Pipa Tercelup	= $M_p - F_{bp}$ =    1,60      kN/m

**CORRECTED**

## LAMPIRAN B (PERHITUNGAN ANODA)

Data untuk perhitungan Anoda :

Data Anode dan Pipa				
Outside Diameter (OD) of Pipe	mm	508	0,51	m
overall Length of pipeline	m	1150		
Anode Type		Bracelet Type, Galvalum III		
Current Capacity (u)	Ah/kg	2500		
Utilization Factor ( ε )		0,8		
Design Current Density (icm)	A/m <sup>2</sup>	0,02		
Seawater Resistance	Ohm.cm	13		
Lifetime Protection Required (t <sub>f</sub> )	Years	30		
Length anode	mm	387		
thickness anode	mm	50		
Net Weight per Anode	kg	82	0,80	kN

$$\begin{aligned}
 1 \quad \text{Total metal surface that will be} \\
 \text{protected ( } A_c \text{)} &= \pi \cdot D_s \cdot L \\
 &= (3,14) \cdot (0,508) \cdot (1150) \\
 &= 1834,39 \text{ m}^2 \\
 2 \quad \text{mean coating breakdown factor (} f_{cm} \text{)} &= \frac{a + 0.5 \cdot b \cdot t_f}{t_f} \\
 &= \frac{(0,1) + ((0,5) \cdot (0,003) \cdot (30))}{30} \\
 &= 0,15 \\
 3 \quad \text{mean current demand (} I_{cm} \text{)} &= \frac{A_c \cdot f_{cm} \cdot i_{cm}}{i_{cm}} \\
 &= (1834,388) \cdot (0,1450) \cdot (0,020)
 \end{aligned}$$

$$= 5,32 \text{ A}$$

3 Mass of anode required (  $M_a$  ) =  $\frac{I_{cm} \cdot 8760 \text{ hrs. Protection lifetime } (t_f)}{\text{Current cap } (u) \cdot \text{Utilization factor } (\epsilon)}$

$$= \frac{(5,319725) \cdot (8760 \text{ hrs/year}) \cdot (30)}{(2500) \cdot (0,8)}$$

$$= 699,01 \text{ kg}$$

4 **RECOMMENDED use anode** = 0,61 kg/m

$$= 0,01 \text{ kN/m}$$

$$= 0,07 \text{ kN/joint}$$

5 mass of all anode required = 0,007 kN

6 total anode required = 8,5E-03 unit

$$= 9 \text{ unit}$$

7 Space of anode = 127,78 m

8 mass of pipa + Anode = 4,58 kN/m

**Table A.1: Recommendations for constants "a" and "b" to be used for calculation of coating breakdown factors associated with specific linepipe coating systems as defined in DNV-RP-F106.**

(Maximum temperatures refer to continuous operation and are indicative only. Manufacturer's recommendations shall always apply. For coatings with an inner layer of FBE and operating temperatures above 90°C, adequate properties shall be documented by pre-qualification and/or PQT. The same applies for polychloroprene based coatings at operating temperatures above 90°C)

Linepipe Coating Type	DNV-RP-F106 CDS	Concrete Weight Coating	Max. Temperature (°C)	a x100	b x100
Glass Fibre Reinforced Asphalt Enamel	No. 5	yes	70	0.3	0.01
Glass Fibre Reinforced Coal Tar Enamel	No. 6	yes	80	0.3	0.01
Single Layer FBE	No. 1	yes	90	0.1	0.03
3-layer FBE/PE	No. 2	yes	80	0.1	0.003
2-layer FBE/PE	No. 3	no	110	0.1	0.002
Multi-Layer FBE/PP	No. 4	no	140	0.03	0.001
Polychloroprene	No. 7	no	90	0.1	0.01

Note: x100 in the heading of the two column to the right means that all figures in these columns have been multiplied by a factor of 100; i.e. before use in eqns. (2) or (4), the numbers shall be multiplied with a factor 10<sup>-2</sup>.

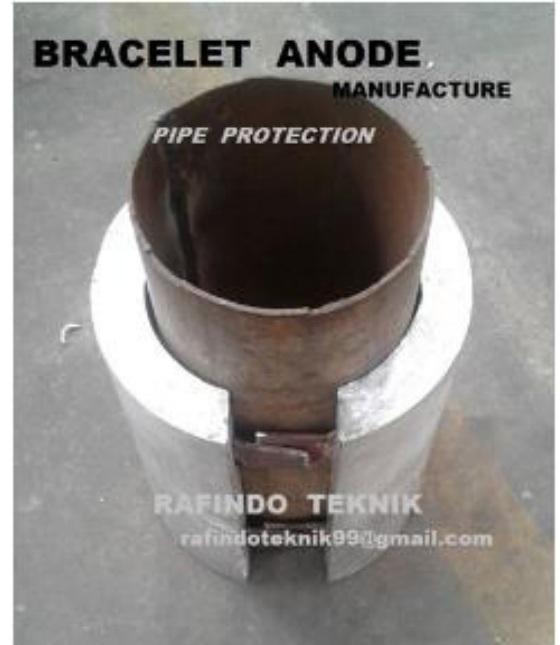
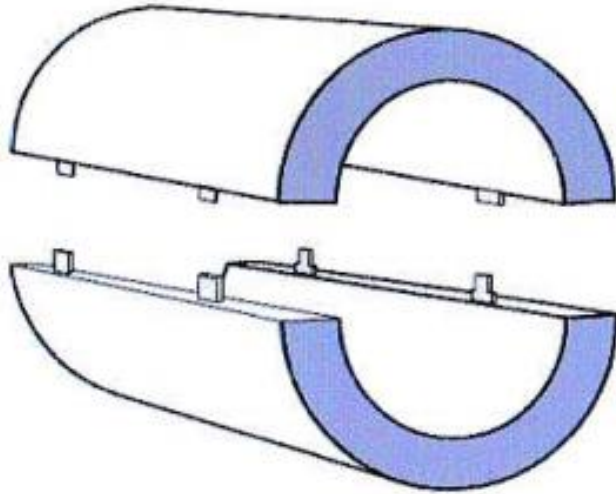
**Table 5-1 Recommended design mean current densities (in A/m<sup>2</sup>) as a function of internal fluid temperature**

Exposure Condition	Internal Fluid Temperature (°C)			
	≤ 50	>50 - 80	>80 - 120	>120
Non-Buried*)	0.050	0.060	0.070	0.100
Buried*)	0.020	0.025	0.030	0.040



DNV RP F 103 Cathodic Protection of submarine Pipeline by Galvanic Anodes

Model anode : Bracelet shell galvanum III





## LAMPIRAN

### Kebutuhan Floater Drum :

#### 5.3 Buoyancy Requirement

The cylinder tight head drum/tank is considered as buoyancy aid in shore pull calculation. The properties of cylinder drums/tanks taken from ANSI MH2. The volume of drum is around 55 gallons.

**Table 17 - Typical Tight Head Drums Dimension for Buoyancy Aid**

Properties	Unit	Value <sup>1)</sup>
Type	-	Tight Head Cylinder Drum
Wall Thickness	mm	1.21411
Outside diameter	mm (inch)	584.2 (22.5)
Volume	m <sup>3</sup> (Gallon)	0.208 (55)
Material	-	ASTM A568 Sheet Rolled Steel
Steel density of drums	Kg/m <sup>3</sup>	7850

Note:

1. The type, dimension and material of buoyancy aid shall be finalized by Installation Contractor during installation/construction stage.

#### 6.3 Buoyancy Requirement

The total number of buoyancy is summarized in table below.

**Table 20 - Buoyancy Requirement**

Shore Pull Location <sup>1)</sup>	Shore Pull Length (m)	Number of Buoyancy per Joint (pcs)	Total Number of Buoyancy (pcs)
KP 0.000 to KP 1.150	1150	11	1037

Notes:

1. Shore pull is proposed to be located at KP 1.150 where the water depth of 4m shall give sufficient clearance between laybarge draft and seabed.
2. Typical buoyancy aids is presented in Table 17

## Hitung Manual

Data yang dibutuhkan :

Data Floater Drum Properties			
		unit	
Drum Material :	sheet rolled steel	ASTM A598	
Drum Inside diameter	571.5	mm	0.57 m
Drum wall thickness	1.21	mm	0.001 m
Drum outside diameter	573.9	mm	0.57 m
drum volume	0.2082	m <sup>3</sup>	
Drum density	7850	kg/m <sup>3</sup>	
gravitasi	9.81		
massa jenis air laut	1025	kg/m <sup>3</sup>	

## BUOYANCY REQUIREMENT CALCULATION

### 1 Input Data

$$\text{Gravity Accelaration} \quad g = 9,81 \quad \text{m.s}^{-2}$$

$$\text{Seawater Density} \quad \rho_{sw} = 1025 \quad \text{kg.m}^{-3}$$

$$\text{KP start of pulled pipeline} \quad KP_{start} = 0,000 \quad \text{km}$$

$$\text{KP end of pulled pipeline} \quad KP_{end} = 1,15 \quad \text{km}$$

$$\text{Length of shore Approach} \quad L_{sa} = K_{p_{end}} - K_{p_{start}} = 1150 \quad \text{m}$$

a

Pipe Properties

$$\text{Pipe external diameter} \quad OD = 508 \quad \text{mm}$$

$$\text{Pipe wall thickness} \quad tp = 15,875 \quad \text{mm}$$

$$\text{Pipe internal diameter} \quad ID = 476,25 \quad \text{mm}$$

$$\text{Pipe length in one joint} \quad L_j = a \quad \text{m}$$

b

Pipe Material Properties

Pipe material : API 5L Grade X52 PSL2 CS  
SAWL

$$\text{Specified Minimum Yield Strength} \quad SMYS = 360,0 \text{ (52,20ksi)} \quad \text{Mpa}$$

$$\text{Pipe material density} \quad \rho_p = 7850 \quad \text{kg.m}^{-3}$$

c

External Anti-Corrosion Coating  
Geometris

$$\text{Corrosion Coating thickness} \quad tp_{cc} = 2,5 \quad \text{mm}$$

d	Corrosion Coating Outside diameter	$OD_{cc}$	=	513	mm
	Corrosion Coating internal diameter	$ID_{cc}$	=	508	mm
	External anti-Corrosion Coating properties				
	Corrosion Coating material type	<b><u>3LPE</u></b>			
e	Corrosion Coating density	$\rho_{cc}$	=	95823	kg.m <sup>-3</sup>
	External anti-Corrosion Coating properties				
	Corrosion Coating thickness	$t_{cwc}$	=	50	mm
	concrete coating density	$\rho_{cwc}$	=	3040	kg.m <sup>-3</sup>
	concrete coating outside diameter	$OD_{cwc}$	=	613	mm
	concrete coating internal diameter	$ID_{cwc}$	=	513	mm

## 2 Calculation

steel pipe weight per unit length

$$W_{pipe} = \rho_p \cdot g \cdot \pi \cdot \frac{((OD^2 - ID^2))}{4}$$

$$W_{pipe} = 1,89 \text{ kN.m}^{-1}$$

Corrossion coating weight per unit length

$$W_{pc} = \rho_{cc} \cdot g \cdot \pi \cdot \frac{((OD_{cc}^2 - ID_{cc}^2))}{4}$$

$$W_{pc} = 0,04 \text{ kN.m}^{-1}$$

Concrete Coating weight per unit length

$$W_{cwc} = \rho_{cwc} \cdot g \cdot \pi \cdot \frac{((OD_{cwc}^2 - ID_{cwc}^2))}{4}$$

$$W_{cwc} = 2,64 \text{ N.m}^{-1}$$

Total Weight of pipeline per unit length

$$W_{dryp} = (W_{pipe} + W_{pc} + W_{cwc})$$

$$W_{dryp} = 4,56 \text{ kN.m}^{-1}$$

Area of displaced sea water

$$A_{sf} = \pi \cdot \frac{(OD_{cwc}^2)}{4}$$

Buoyancy force on pipe per unit length

$$f_b = \rho_{sea} \cdot g \cdot A_{sf}$$

$$f_b = 2,97 \text{ kN.m}^{-1}$$

#### System Check

sys\_check := if( $w_{dryp} < f_b$ , "Floats is not Required", "Floats is Required to reduce pulling force")

$$W_p = 4,58 \text{ kN.m}^{-1}$$

$$F_b = 2,97 \text{ kN.m}^{-1}$$

sys\_check = Floats is Required to reduce pulling force

Buoyancy

$$\text{Requirement} = B_j = (W_p - F_b) = 1,6127 \text{ N.m}^{-1}$$

#### 7 Float drums Properties

$$\text{Drum Inside diameter} \quad id_f = 22,5 \text{ in} = 571,5 \text{ mm}$$

$$\text{Drum wall thickness} \quad t_f = 1,2141 \text{ mm} = 0,0012 \text{ m}$$

$$\text{Drum outside diameter} \quad O_f = (id_f + 2 \cdot t_f) = 0,57 \text{ m}$$

$$\text{Drum Volume} \quad V_f = 55 \text{ gal} = 0,21 \text{ m}^3$$

Drum material ASTM A598- sheet Rolled Steel



Drum density  $\rho_f = 7850 \text{ kg.m}^{-3}$

Drums Height 
$$h_d = \frac{\frac{V_f}{\pi \cdot \frac{id_f^2}{4}} + 2 \cdot t_f}{}$$

$= 814,4704 \text{ mm} = 0,81 \text{ m}$

Estimated Float Drums Weight



Estimated Cylinder drum mass in air per unit length

$$w_f = \rho_f \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (o_f^2 - id_f^2)$$

$w_f = 16,96 \text{ kg.m}^{-1}$

Estimated weight of drum head

$$w_{hf} = \frac{2 \cdot \rho_f \cdot \frac{\pi}{4} \cdot o_f^2 \cdot t_f}{h_d}$$

$w_{hf} = 6,05 \text{ kg.m}^{-1}$

Float drum weight in air per unit length

$$w_{dyf} = (w_f + w_{hf}) \cdot g$$

$w_{dyf} = 0,23 \text{ kN.m}^{-1}$

Float drum weight in air per unit

$$w_{ff} = \frac{W_{df} \cdot h_d}{\dots}$$

$$w_{ff} = 0,18 \quad \text{kN}$$

Float drum Buoyancy

$$f_{bf} = 2,60 \quad \text{kN.m}^{-1}$$

Float drum buoyancy per unit

$$f_{ff} = \frac{f_{bf} \cdot h_d}{\dots}$$

$$f_{ff} = 2,12 \quad \text{kN}$$

Overall weight (pipe + anode)

$$M_{ov} = 5265,59 \quad \text{kN}$$

Buoyancy required

$$B_{re} = 1854,60 \quad \text{kN}$$

Floater Required

$$f_{re} = \frac{B_{re}}{f_{ff}}$$

$$f_{re} = 875,87$$

$$f_{re} = 896 \quad \text{unit}$$

Buoyancy Overall Check		
Bouyancy force of floater	$B_{fa} = 1897,22$	kN
mass of all floater	$M_{fa} = 164,70$	kN
	$f_{btot} = f_b + B_{fa} > W_g = M_{ov} + M_{fa}$	
	5308,22 > 5430,29	Not OK

additional floater required

$$f_{re2} = 57,65$$

$$f_{re2} = 53 \quad \text{unit}$$

total floater

$$= 949 \quad \text{unit}$$

Buoyancy Overall check		
Bouyancy force of floater	$B_{fa} =$	2009,45 kN

mass of all floater

$$M_{fa} = 174,44 \text{ N}$$

$$f_{\text{btot}} = f_b + B_{fa} > W_g = M_{\text{ov}} + M_{fa}$$
$$5420,44 > 5440,04 \text{ Not Ok}$$

additional floater required

$$f_{re2} = 9,25$$

$$f_{re2} = 53 \text{ unit}$$

total floater

$$= 1002 \text{ unit}$$

### Buoyancy Overall check

Bouyancy force of floater

$$B_{fa} = 2121,67 \text{ kN}$$

mass of all floater

$$M_{fa} = 184,19 \text{ kN}$$

$$f_{\text{btot}} = f_b + B_{fa} > W_g = M_{\text{ov}} + M_{fa}$$
$$5532,67 > 5449,78 \text{ Ok}$$

**Total number of Floater Required = 1002 unit**

**number floater per joint = 10,55 unit/joint**

$$= 11 \text{ unit/joint}$$

### Draught (t) Calculation

$$\begin{aligned} \text{Volume Displacement } (\nabla) &= \frac{M_p + M_f}{\rho_{sw}} \\ &= 0,48 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total height (pipe and floater) } (H_{tot}) &= D_{tot} + D_f \\ &= 1,18 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Pipa Tot Volume per m } (V_{pt}) = 0,29 \text{ m}^3$$

$$\text{Floater volume per m } (V_{ft}) = 0,26 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Draught (t)} &= \frac{(4 ((\nabla) - (V_{pt})/3,14)^{0,5}) + D_{tot}}{1} \\ &= 1,58 \text{ m} \end{aligned}$$



## LAMPIRAN D (PERHITUNGAN GAYA)

### GAYA LINGKUNGAN

#### Pipe Calculation

Diameter Internal	$(D_i)$	=	$D - 2t$	$D_i$	=	476,25 mm	=	0,48 m
Diameter Corrosion Coating	$(D_{corr})$	=	$D + 2t_{corr}$	$D_{corr}$	=	513 mm	=	0,51 m
Diameter concrete Coating	$(D_{conc})$	=	$D + 2t_{conc}$	$D_{conc}$	=	608 mm	=	0,61 m
Diameter Total	$(D_{tot})$	=	$D + 2t_{corr} + 2t_{conc}$	$D_{tot}$	=	613 mm	=	0,61 m
Berat pipa (tanpa coating)	$(W_{st})$	=	$\frac{\pi (D^2 - D_i^2) \rho_{st}}{4}$	$W_{st}$	=	192,57 kg/m		
Berat Corrosion Coating	$(W_{corr})$	=	$\frac{\pi (D_{corr}^2 - D^2) \rho_{corr}}{4}$	$W_{corr}$	=	3,84 kg/m		
Berat Concrete Coating	$(W_{conc})$	=	$\frac{\pi (D_{conc}^2 - D_{corr}^2) \rho_{conc}}{4}$	$W_{conc}$	=	268,71 kg/m		
Berat Total	$(W_t)$	=	$(w_1 + w_2 + w_3) g$	$W_t$	=	4,56 kN/m		
Buoyancy	$(F_{bp})$	=	$\frac{\pi D_{conc}^2 \rho_{sw} g}{4}$	$F_{bp}$	=	0,003 kN/m		
Berat pipa tercelup	$(W_{sub})$	=	$w_t - F_{bp}$	$W_{sub}$	=	4,560 kN/m		
Momen Inersia Pipa	$(I_{st})$	=	$\frac{\pi (D^4 - D_i^4)}{64}$	$I_{st}$	=	0,0044 m <sup>4</sup>		
Momen Inersia Concrete	$(I_{conc})$	=	$\frac{\pi (D_{conc}^4 - D_{corr}^4)}{64}$	$I_{conc}$	=	0,0042 m <sup>4</sup>		
Perhitungan panjang gelombang								

$$L_0 = 1,56 T^2 = 39,3 \text{ m}$$

$$d/L_0 = 0,11$$

dari tabel L-1 didapat nilai d/L (dengan interpolasi)

$$d/L = (0,15303) + ((0,0006/0,001) * (0,15388 - 0,15303)) = 0,15$$

$$L = d/0,913017 = 29,31 \text{ m}$$

Panjang Gelombang (L) = 29,31 m

Tinggi Gelombang (H) = 0,9 m

Periode Gelombang (T) = 5 s

Exponent of spreading wave = 4,5

wave number (k) =  $2\pi / \lambda$  = 0,21

Sudut Datang Gelombang ( $\theta$ ) = 90

COSH(ks) = 1,50

SINH(kd) = 1,12

**Wave Calculation**

1. Mengecek Teori Gelombang

Data parameter penentuan teori gelombang yang digunakan

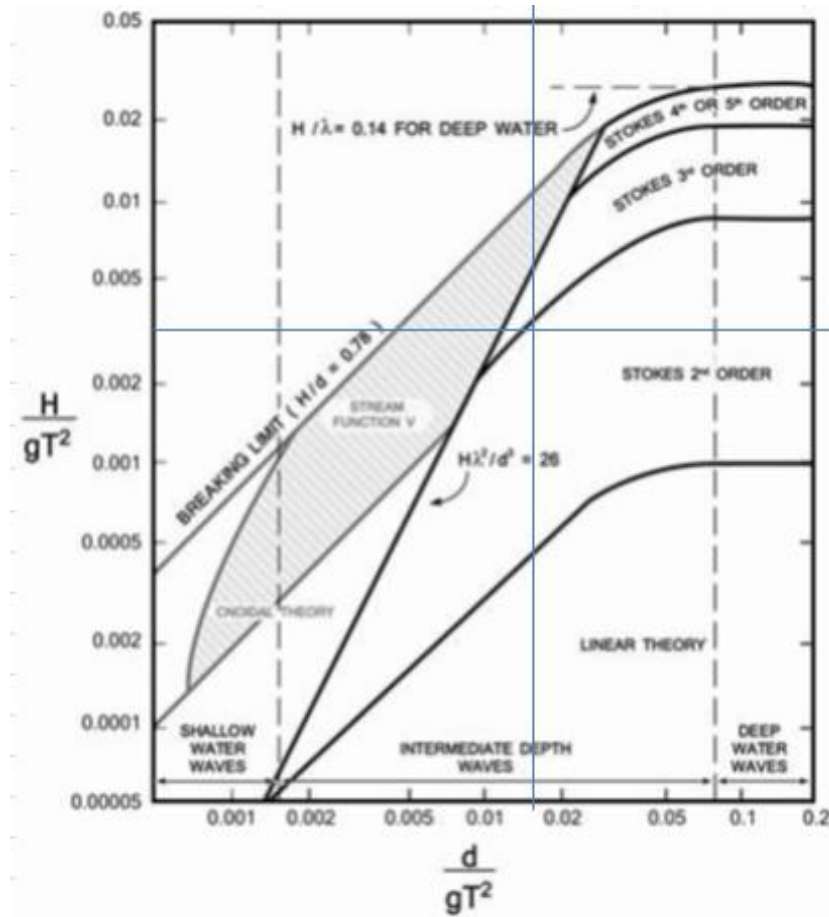
$$H/gT^2 = 0,003$$



$D/gT^2$

=

0,018



Garis pertemuan nilai  $H/gT^2$  dan  $d/gT^2$  ada di stokes 2 nd order ,sehingga untuk Stokes Orde 2 mencari kecepatan dan percepatan partikel gelombang air akan menggunakan persamaan

## 2. Menghitung Kecepatan Partikel Gelombang

Kecepatan horizontal (U)

U =

$$\frac{\pi H}{T} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left( \frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2ks}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta$$

$$(U) = \frac{\pi (0,9)}{5} \frac{\cosh((0,2239.) (5))}{\sinh((0,2239.) (4))} \cos (0,2) + \frac{3}{4} \left( \frac{\pi (0,9)}{28,044} \right) \frac{\pi (0,9)}{5} \frac{\cosh(2. (0,2239.) (5))}{\sinh^4((0,2239.) (4))} \cos (0,4)$$

Maka didapatkan nilai kecepatan horizontal gelombang

$$U_0 = 0,84 \quad \text{m/s}$$

Percepatan horizontal (u/t)

u/t =

$$\frac{2\pi^2 H}{T} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \sin \theta + \frac{3\pi^2 H}{T^2} \left( \frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh 2ks}{\sinh^4 kd} \sin 2\theta$$

$$(u/t) = \frac{2\pi^2 (0,9)}{5} \frac{\cosh((0,2239.) (5))}{\sinh((0,2239.) (4))} \sin (0,2) + \frac{3}{5^2} \frac{\pi^2 (0,9)}{28,044} \frac{\pi (0,9)}{5} \frac{\cosh(2. (0,2239.) (5))}{\sinh^4((0,2239.) (4))} \sin (0,4)$$

Maka didapatkan nilai percepatan partikel gelombang,

$$u/t = 0,68 \quad \text{m/s}^2$$

Kecepatan partikel air efektif

$$U_{w2} = 0,788 U^2 \left(\frac{D}{Y_0}\right)^{0,286}$$

$$U_{w2} = 0,788 (1,092454075)^2 \left(\frac{0,61}{4,5}\right)^{0,286}$$

$$U_w = 0,56 \text{ m/s}$$

### Current Calculation

Zo	0,000005	softclay
Zr	0,88	m
Ur	0,25	

kecepatan arus (Uc) 90°

$$U_d = U_r \cdot \left[ \frac{\left(1 + \frac{z_0}{D}\right) \cdot \left(\ln\left(\frac{D}{z_0} + 1\right) - 1\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0} + 1\right)} \cdot \sin(\theta_{curr}) \right]$$

$$U_d = 0,22$$

Kecepatan arus efektif

$$U_{c2} = 0,02$$

$$U_c = 0,15 \text{ m/s}$$

Jadi kecepatan partikel air dan arus efektif yang terjadi pada pipa bawah laut adalah sebagai berikut ini:

$$U_w = 0,56 \text{ m/s}$$

$$U_c = 0,15 \text{ m/s}$$

$$U = 0,34 \text{ m/s}$$

Reynolds Number

$$Re = \text{Reynold Number}$$

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu}$$

$$= ((0,568) \cdot (0,61)) / (1,19 \cdot 10^{-6})$$

$$Re = 172794,36$$

$$= 2.92538 \times 10^5$$

**Table 3.2 Recommended Coefficients for Pipe Design (Exposed Pipe)**

Re	$C_D$	$C_L$	$C_M$
$Re < 5.0 \times 10^4$	1.3	1.5	2.0
$5.0 \times 10^4 < Re < 1.0 \times 10^5$	1.2	1.0	2.0
$1.0 \times 10^5 < Re < 2.5 \times 10^5$	$1.53 - \frac{Re}{3 \times 10^5}$	$1.2 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$	2.0
$2.5 \times 10^5 < Re < 5.0 \times 10^5$	0.7	0.7	$2.5 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$
$5.0 \times 10^5 < Re$	0.7	0.7	1.5

*Note:* The recommended coefficients are for use in practical pipeline designs where pipe is exposed and pipe surface has slight roughness.

$$C_d = 0,95$$

$$C_i = 0,85$$

$$C_m = 2$$

**Gaya Hidrodinamika**

Gaya Drag  $F_d = C_D \times \frac{1}{2} \times \rho_{water} \times D_{tot} \times U^2 = 0,03 \text{ kN/m}$

Gaya Inersia  $F_i = C_i \times \frac{\pi D^2}{4} \times \rho_{water} \times du/dt = 0,2 \text{ kN/m}$

Gaya Lift  $F_L = C_M \times \frac{1}{2} \times \rho_{water} \times D_{tot} \times U^2 = 0,07 \text{ kN/m}$

Gaya Hidrodinamika Total (F) =  $F_d + F_i$

$$F = 0,21 \text{ kN/m}$$

## PERHITUNGAN GAYA

### floater Calculation

Diameter Internal	$(D_i)$	=	$D - 2t$	$D_i$	=	476,25 mm	=	0,48 m
Diameter Corrosion Coating	$(D_{corr})$	=	$D + 2t_{corr}$	$D_{corr}$	=	513 mm	=	0,51 m
Diameter concrete Coating	$(D_{conc})$	=	$D + 2t_{conc}$	$D_{conc}$	=	608 mm	=	0,61 m
Diameter Total	$(D_{tot})$	=	$D + 2t_{corr} + 2t_{conc}$	$D_{tot}$	=	613 mm	=	0,61 m
Berat pipa (tanpa coating)	$(W_{st})$	=	$\frac{\pi (D^2 - D_i^2) \rho_{st}}{4}$	$W_{st}$	=	192,57 kg/m		
Berat Corrosion Coating	$(W_{corr})$	=	$\frac{\pi (D_{corr}^2 - D^2) \rho_{corr}}{4}$	$W_{corr}$	=	3,84 kg/m		
Berat Concrete Coating	$(W_{conc})$	=	$\frac{\pi (D_{conc}^2 - D_{corr}^2) \rho_{conc}}{4}$	$W_{conc}$	=	268,71 kg/m		
Berat Total	$(W_t)$	=	$(w_1 + w_2 + w_3) g$	$W_t$	=	4,56 kN/m		
Buoyancy	$(F_{bp})$	=	$\frac{\pi D_{conc}^2 \rho_{sw} g}{4}$	$F_{bp}$	=	2,97 kN/m		
Drum Inside diameter		=	22,5		=	571,5 mm	=	0,57 m
Drum wall thickness		=	1 mm		=	0,001 m		
Drum outside diameter		=	$(idf + 2 \cdot tf)$		=	0,57 m		

Perhitungan panjang gelombang

$$L0 = \frac{1,56}{T^2} = 39,25 \text{ m}$$

$$d/lo = 0,11$$

$$H/ho = 0,9$$

dari tabel L-1 didapat nilai d/L (dengan interpolasi)

$$d/L = (0,15303) + ((0,0006/0,001) * (0,15388 - 0,15303)) = 0,15$$

$$L = \frac{d}{0,91} = 29,31 \text{ m}$$

Panjang Gelombang (L) = 29,31 m

Tinggi Gelombang (H) = 0,9 m

Periode Gelombang (T) = 5 s

$$s = (y+d) = 4,5$$

$$\text{wave number (k)} = \frac{2\pi}{\lambda} = 0,21$$

Sudut Datang Gelombang (θ) = 90

$$\text{COSH}(ks) = 1,50$$

$$\text{SINH}(kd) = 1,12$$

### Wave Calculation

#### 1. Mengecek Teori Gelombang

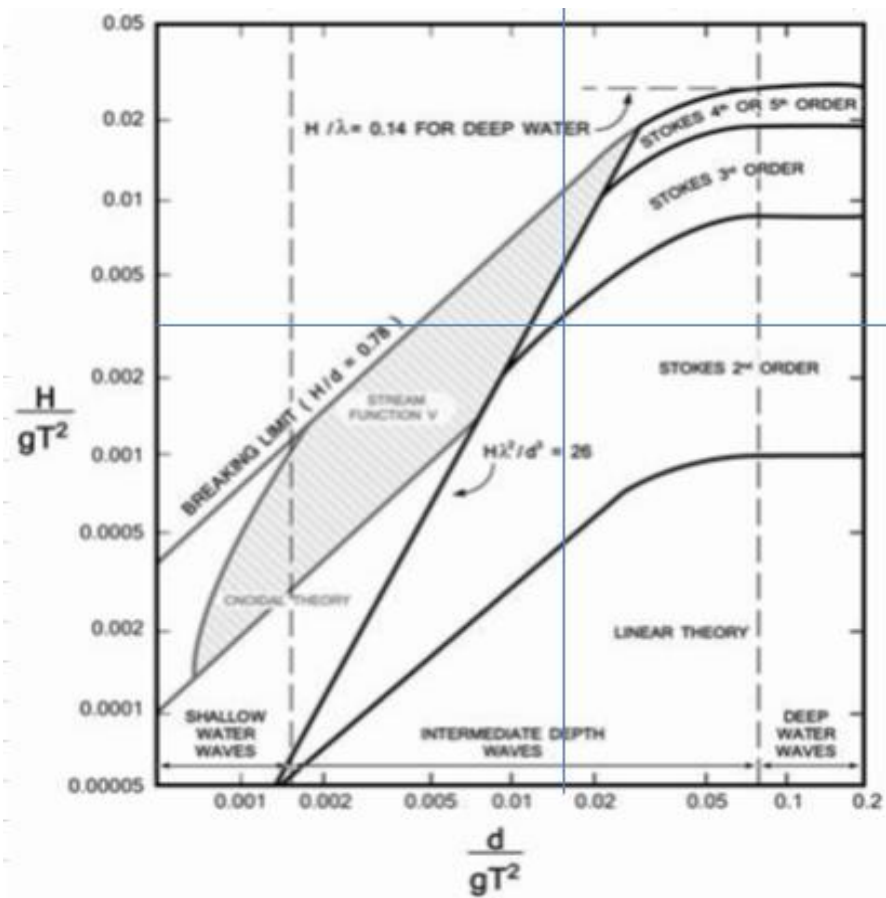
Data parameter penentuan teori gelombang yang digunakan

$$\frac{H}{gT^2} =$$

$$\frac{D}{gT^2} =$$

$$0,003$$

$$0,018$$





Garis pertemuan nilai  $H/gT^2$  dan  $d/gT^2$  ada di stokes 2 nd order ,sehingga untuk Stokes Orde 2 mencari kecepatan dan percepatan partikel gelombang air akan menggunakan persamaan

## 2.Menghitung Kecepatan Partikel Gelombang

Kecepatan horizontal (U)

$$U = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \cos \theta + \frac{3}{4} \left( \frac{\pi H}{L} \right) \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh 2ks}{\sinh^4 kd} \cos 2\theta$$

$$(U) = \frac{\pi (0,9)}{5} \frac{\text{Cosh}((0,2239.) (5))}{\text{Sinh}((0,2239). (4))} \text{Cos} (0,2) + \frac{3}{4} \left( \frac{\pi (0,9)}{28,044} \right) \frac{\pi (0,9)}{5} \frac{\text{Cosh}(2. (0,2239.) (5))}{\text{Sinh}^4((0,2239). (4))} \text{Cos} (0,4)$$

Maka didapatkan nilai kecepatan horizontal gelombang

$$U_0 = 0,84 \quad \text{m/s}$$

Percepatan horizontal (u/t)

$$u/t = \frac{2\pi^2 H}{T} \frac{\cosh ks}{\sinh kd} \sin \theta + \frac{3\pi^2 H}{T^2} \left( \frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh 2ks}{\sinh^4 kd} \sin 2\theta$$

$$(u/t) = \frac{2\pi^2 (0,9)}{5} \frac{\text{Cosh}((0,2239.) (5))}{\text{Sinh}((0,2239). (4))} \text{sin} (0,2) + \frac{3}{5^2} \frac{\pi^2 (0,9)}{28,044} \frac{\pi (0,9)}{5} \frac{\text{Cosh}(2. (0,2239.) (5))}{\text{Sinh}^4((0,2239). (4))} \text{Sin} (0,4)$$

Maka didapatkan nilai percepatan partikel gelombang,

$$u/t = 0,639148271 \quad \text{m/s}^2$$

Kecepatan partikel air efektif

$$U_{w2} = 0,788 U^2 \left(\frac{D}{Y_0}\right)^{0,286}$$

$$U_{w2} = 0,788 (0,573514448)^2 \left(\frac{0,574}{4,5}\right)^{0,286}$$

$$U_{w2} = 0,31$$

$$U_w = 0,56 \quad \text{m/s}$$

### Current Calculation

Zo 0,000005 softclay

Zr 0,29 m

Ur 0,25

kecepatan arus (Uc)

90°

$$U_d = U_r \cdot \left[ \frac{\left(1 + \frac{Z_0}{D}\right) \cdot \left(\ln\left(\frac{D}{Z_0} + 1\right) - 1\right)}{\ln\left(\frac{Z_r}{Z_0} + 1\right)} \cdot \sin(\theta_{curr}) \right]$$

$$U_d = 0,24$$

Kecepatan arus

efektif

$$U_{c2} = 0,03$$

$$U_c = 0,16 \quad \text{m/s}$$

Jadi kecepatan partikel air dan arus efektif yang terjadi pada pipa bawah laut adalah sebagai berikut ini:

$$\begin{aligned}
 U_w &= 0,56 && \text{m/s} \\
 U_c &= 0,16 && \text{m/s} \\
 U &= 0,33 && \text{m/s}
 \end{aligned}$$

Reynolds Number

$$\begin{aligned}
 \text{Re} &= \frac{\text{Reynold Number}}{\text{Re} = \frac{U \cdot D}{\nu}} \\
 &= ((0,568) \cdot (0,61)) / (1,19 \cdot 10^6) \\
 \text{Re} &= 161248,33 \\
 &= 2.87 \times 10^5
 \end{aligned}$$

**Table 3.2 Recommended Coefficients for Pipe Design (Exposed Pipe)**

Re	$C_D$	$C_i$	$C_M$
$Re < 5.0 \times 10^4$	1.3	1.5	2.0
$5.0 \times 10^4 < Re < 1.0 \times 10^5$	1.2	1.0	2.0
$1.0 \times 10^5 < Re < 2.5 \times 10^5$	$1.53 - \frac{Re}{3 \times 10^5}$	$1.2 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$	2.0
$2.5 \times 10^5 < Re < 5.0 \times 10^5$	0.7	0.7	$2.5 - \frac{Re}{5 \times 10^5}$
$5.0 \times 10^5 < Re$	0.7	0.7	1.5

*Note:* The recommended coefficients are for use in practical pipeline designs where pipe is exposed and pipe surface has slight roughness.

	$C_d$	=	0,99			
	$C_i$	=	0,88			
	$C_m$	=	2			
Gaya Drag	$F_d$	=	$C_D \times \frac{1}{2} \times \rho_{water} \times D_{tot} \times U^2$	$F_d$	=	0,03 kN/m 291,9703215
Gaya Inersia	$F_i$	=	$C_i \times \frac{\pi D^2}{4} \times \rho_{water} \times du/dt$	$F_i$	=	0,1 kN/m 232,6301933
Gaya Lift	$F_L$	=	$C_M \times \frac{1}{2} \times \rho_{water} \times D_{tot} \times U^2$	$F_L$	=	0,07 kN/m
Gaya Hidrodinamika Total (F)		=	$F_d + F_i$		=	0,18 kN

## PERHITUNGAN GAYA TARIK

Gaya Drag (CD)

Pipa 0,03 kN/m

Gaya Drag (CD) Floater 0,07 kN/m

Coefficient gesek roller 0,3

Wdry pipe 4,56 kN/m

Wdry floater 0,18 kN

wdry Strapping 0,01 kN/m

Diameter pipa 0,61 m

Kecepatan

tarikan 500 m/h 0,14 m/s

diameter floater 0,57 m

gaya gesek tanah (Clay) 0,2

Luas front Area Pipe 0,29 m<sup>2</sup>

Luas front area floater 0,26 m<sup>2</sup>

Gaya drag pipa

$$F_{dp} = \frac{C_d \cdot \rho_{sw} \cdot V^2 \cdot A_{pf}}{2}$$

$$= 0,003 \text{ kN}$$

Gaya drag akibat pelampung (floater)

$$F_f = \frac{C_d \cdot \rho_{sw} \cdot V^2 \cdot A_{pf} \cdot N_{pf}}{2}$$

luas 0,283

Gaya drag satu pelampung (floater)

$$F_{f1} = \frac{C_d \cdot \rho_{sw} \cdot V^2 \cdot A_{pf} \cdot N_{pf}}{2}$$

$$= 0,003 \text{ kN}$$

$$F_r = L_p + C_g + W_p + W_f + W_{str}$$

Pipe Section		F <sub>r</sub> (kN)	F <sub>dp</sub> (kN)	F <sub>f</sub> (kN)	F <sub>pull tot</sub> (kN)
On Roller	On Water				
12,2	0	24,53	0	0	24,53
24,4	0	49,06	0	0	49,06
36,6	0	73,59	0	0	73,59
48,8	0	98,13	0	0	98,13
61	0	122,66	0	0	122,66
73,2	0	147,19	0	0	147,19
85,4	0	171,72	0	0	171,72
85,4	12,2	171,72	0,003	0,03	171,75
85,4	24,4	171,72	0,003	0,06	171,78
85,4	36,6	171,72	0,003	0,08	171,81
85,4	48,8	171,72	0,003	0,11	171,83
85,4	61	171,72	0,003	0,14	171,86
85,4	73,2	171,72	0,003	0,17	171,89
85,4	85,4	171,72	0,003	0,19	171,92
85,4	97,6	171,72	0,003	0,22	171,94
85,4	109,8	171,72	0,003	0,25	171,97
85,4	122	171,72	0,003	0,28	172,00
85,4	134,2	171,72	0,003	0,31	172,03
85,4	146,4	171,72	0,003	0,33	172,06
85,4	158,6	171,72	0,003	0,36	172,08
85,4	170,8	171,72	0,003	0,39	172,11
85,4	183	171,72	0,003	0,42	172,14
85,4	195,2	171,72	0,003	0,45	172,17
85,4	207,4	171,72	0,003	0,47	172,19
85,4	219,6	171,72	0,003	0,50	172,22
85,4	231,8	171,72	0,003	0,53	172,25
85,4	244	171,72	0,003	0,56	172,28
85,4	256,2	171,72	0,003	0,58	172,31
85,4	268,4	171,72	0,003	0,61	172,33
85,4	280,6	171,72	0,003	0,64	172,36
85,4	292,8	171,72	0,003	0,67	172,39
85,4	305	171,72	0,003	0,70	172,42
85,4	317,2	171,72	0,003	0,72	172,45
85,4	329,4	171,72	0,003	0,75	172,47
85,4	341,6	171,72	0,003	0,78	172,50
85,4	353,8	171,72	0,003	0,81	172,53
85,4	366	171,72	0,003	0,84	172,56
85,4	378,2	171,72	0,003	0,86	172,58
85,4	390,4	171,72	0,003	0,89	172,61
85,4	402,6	171,72	0,003	0,92	172,64
85,4	414,8	171,72	0,003	0,95	172,67

Pipe Section		F <sub>r</sub> (kN)	F <sub>dp</sub> (kN)	F <sub>f</sub> (kN)	F <sub>pull tot</sub> (kN)
On Roller	On Water				
85,4	427	171,72	0,003	0,97	172,70
85,4	439,2	171,72	0,003	1,00	172,72
85,4	451,4	171,72	0,003	1,03	172,75
85,4	463,6	171,72	0,003	1,06	172,78
85,4	475,8	171,72	0,003	1,09	172,81
85,4	488	171,72	0,003	1,11	172,84
85,4	500,2	171,72	0,003	1,14	172,86
85,4	512,4	171,72	0,003	1,17	172,89
85,4	524,6	171,72	0,003	1,20	172,92
85,4	536,8	171,72	0,003	1,22	172,95
85,4	549	171,72	0,003	1,25	172,97
85,4	561,2	171,72	0,003	1,28	173,00
85,4	573,4	171,72	0,003	1,31	173,03
85,4	585,6	171,72	0,003	1,34	173,06
85,4	597,8	171,72	0,003	1,36	173,09
85,4	610	171,72	0,003	1,39	173,11
85,4	622,2	171,72	0,003	1,42	173,14
85,4	634,4	171,72	0,003	1,45	173,17
85,4	646,6	171,72	0,003	1,48	173,20
85,4	658,8	171,72	0,003	1,50	173,22
85,4	671	171,72	0,003	1,53	173,25
85,4	683,2	171,72	0,003	1,56	173,28
85,4	695,4	171,72	0,003	1,59	173,31
85,4	707,6	171,72	0,003	1,61	173,34
85,4	719,8	171,72	0,003	1,64	173,36
85,4	732	171,72	0,003	1,67	173,39
85,4	744,2	171,72	0,003	1,70	173,42
85,4	756,4	171,72	0,003	1,73	173,45
85,4	768,6	171,72	0,003	1,75	173,48
85,4	780,8	171,72	0,003	1,78	173,50
85,4	793	171,72	0,003	1,81	173,53
85,4	805,2	171,72	0,003	1,84	173,56
85,4	817,4	171,72	0,003	1,87	173,59
85,4	829,6	171,72	0,003	1,89	173,61
85,4	841,8	171,72	0,003	1,92	173,64
85,4	854	171,72	0,003	1,95	173,67
85,4	866,2	171,72	0,003	1,98	173,70
85,4	878,4	171,72	0,003	2,00	173,73
85,4	890,6	171,72	0,003	2,03	173,75
85,4	902,8	171,72	0,003	2,06	173,78
85,4	915	171,72	0,003	2,09	173,81

85,4	927,2	171,72	0,003	2,12	173,84
85,4	939,4	171,72	0,003	2,14	173,87
Pipe Section		F <sub>r</sub> (kN)	F <sub>dp</sub> (kN)	F <sub>f</sub> (kN)	F <sub>pull tot</sub> (kN) On Roller
On Roller	On Water				
85,4	951,6	171,72	0,003	2,17	173,89
85,4	963,8	171,72	0,003	2,20	173,92
85,4	976	171,72	0,003	2,23	173,95
85,4	988,2	171,72	0,003	2,26	173,98
85,4	1000,4	171,72	0,003	2,28	174,00
85,4	1012,6	171,72	0,003	2,31	174,03
85,4	1024,8	171,72	0,003	2,34	174,06
85,4	1037	171,72	0,003	2,37	174,09
85,4	1049,2	171,72	0,003	2,39	174,12
85,4	1061,4	171,72	0,003	2,42	174,14
85,4	1073,6	171,72	0,003	2,45	174,17
85,4	1085,8	171,72	0,003	2,48	174,20
85,4	1098	171,72	0,003	2,51	174,23
85,4	1110,2	171,72	0,003	2,53	174,25
85,4	1122,4	171,72	0,003	2,56	174,28
85,4	1134,6	171,72	0,003	2,59	174,31
85,4	1146,8	171,72	0,003	2,62	174,34
85,4	1150	171,72	0,003	2,62	174,35

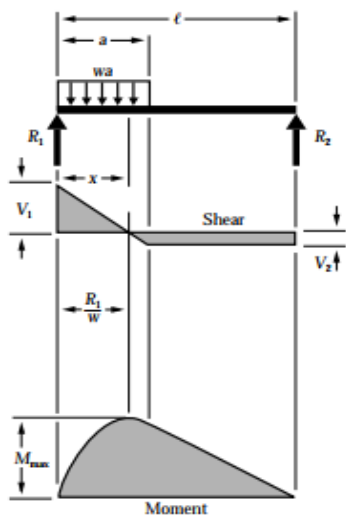


**Perhitungan tegangan yang dialami Pipa :**

**DATA PIPA**

Diameter Internal (D <sub>i</sub> )	=	0,48	m
Diameter (D)	=	0,508	m
Wall Thickness (t)	=	0,016	m
Diameter Corrosion Coating	=	0,51	m
Diameter Concrete Coating	=	0,61	m
Diameter Total (D <sub>tot</sub> )	=	0,61	m
Panjang Keseluruhan (L)	=	1150	m
Gaya Hidrodinamika (F)	=	391,28	N/m
Berat Total Pipa (W <sub>t</sub> )	=	4562,81	N/m
Pipe Wall Thickness	=	0,016	m
Coating Thickness	=	0,0025	m
Concrete Thickness	=	0,05	m
Modulus Young of Pipe (E <sub>pipe</sub> )	=	207000	Mpa
Modulus Young of Coating (E <sub>coat</sub> )	=	3826,59	Mpa
Modulus Young of Concrete (E <sub>conc</sub> )	=	29054,97	Mpa
SMYS	=	360	Mpa =

**Figure 3 Simple Beam – Uniform Load Partially Distributed at One End**



$$R_1 = V_1 \dots \dots \dots = \frac{wa}{2\ell} (2\ell - a)$$

$$R_2 = V_2 \dots \dots \dots = \frac{wa^2}{2\ell}$$

$$V_x \text{ (when } x < a) \dots \dots \dots = R_1 - wx$$

$$M_{max} \left( \text{at } x = \frac{R_1}{w} \right) \dots \dots \dots = \frac{R_1^2}{2w}$$

$$M_x \text{ (when } x < a) \dots \dots \dots = R_1x - \frac{wx^2}{2}$$

$$M_x \text{ (when } x > a) \dots \dots \dots = R_2(\ell - x)$$

$$\Delta_x \text{ (when } x < a) \dots \dots \dots = \frac{wx}{24 E I \ell} (a^2(2\ell - a)^2 - 2ax^2(2\ell - a) + \ell x^3)$$

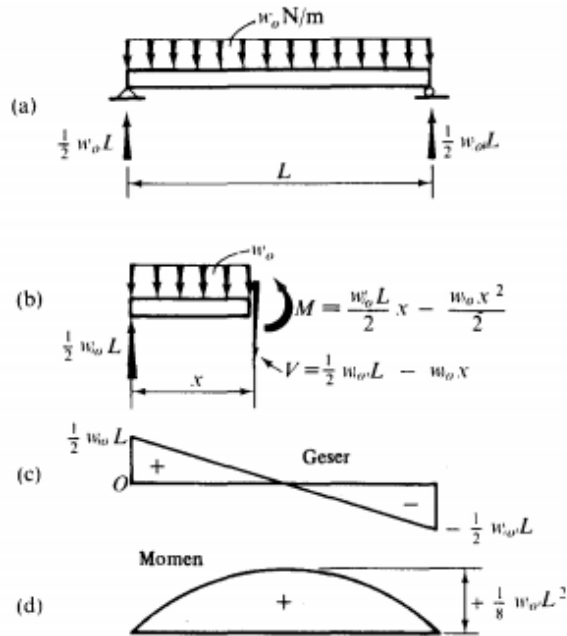
$$\Delta_x \text{ (when } x > a) \dots \dots \dots = \frac{wa^2(\ell - x)}{24 E I \ell} (4x\ell - 2x^2 - a^2)$$

Dengan asumsi ,  
 Gaya Hidrodinamika sebagai **w**  
 Pulling Force sebagai **F**

Untuk momen lentur area shear :

**CONTOH 4-6**

Gambarlah diagram geser dan momen lentur untuk sebuah balok sederhana dengan beban yang terdistribusi secara merata, Gambar 4-20(a).



Gambar 4-20

geser balok sederhana

beban merata

$$M_{max} = 1/8 w_0 L^2$$

**Titik Tinjau**

$$y = 1/2 \cdot D'_{tot}$$

**Tegangan Pipa**

Tegangan Aksial

$$\sigma_{aksial} = \frac{P}{A}$$

$$\sigma_{moment} \text{ (bending)} = \frac{M \cdot y}{I}$$

$$\text{Tegangan Total Longitudinal } (\sigma) = \sigma_{aksial} + \sigma_{moment}$$

**Codes**

ASME B 31.4

$$\sigma \text{ Logitudinal} \leq 0.8 \text{ SMYS}$$

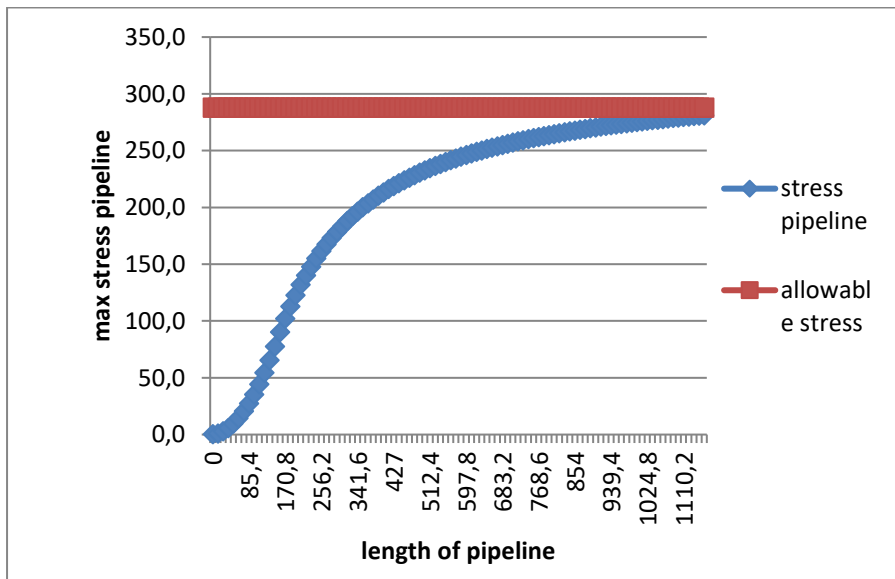
$$\sigma \text{ Logitudinal} \leq 288 \text{ MPa}$$

L	M	$\sigma$ aksial	$\sigma$ bending	$\sigma$ Logitudinal	Check	
					MPa	ASME B31.4
0	0	0,2	0	0,2	288	Ok
12,2	0,01	0,4	0,53	0,97	288	Ok
24,4	0,03	0,7	2,12	2,77	288	Ok
36,6	0,07	0,9	4,76	5,63	288	Ok
48,8	0,12	1,1	8,46	9,56	288	Ok
61	0,18	1,3	13,22	14,53	288	Ok
73,2	0,26	1,5	19,04	20,57	288	Ok
85,4	0,36	1,5	25,92	27,45	288	Ok
97,6	0,47	1,5	33,85	35,38	288	Ok
109,8	0,59	1,5	42,84	44,37	288	Ok
122	0,73	1,5	52,89	54,42	288	Ok
134,2	0,88	1,5	64,00	65,53	288	Ok
146,4	1,05	1,5	76,17	77,70	288	Ok
158,6	1,22	1,5	88,87	90,40	288	Ok
170,8	1,38	1,5	100,62	102,15	288	Ok
183	1,53	1,5	111,40	112,93	288	Ok
195,2	1,67	1,5	121,28	122,81	288	Ok
207,4	1,79	1,5	130,34	131,87	288	Ok
219,6	1,91	1,5	138,68	140,21	288	Ok
231,8	2,01	1,5	146,35	147,88	288	Ok
244	2,11	1,5	153,43	154,97	288	Ok
256,2	2,20	1,5	159,99	161,52	288	Ok
268,4	2,29	1,5	166,06	167,60	288	Ok
280,6	2,36	1,5	171,71	173,24	288	Ok
292,8	2,44	1,5	176,97	178,50	288	Ok
305	2,50	1,5	181,88	183,41	288	Ok
317,2	2,57	1,5	186,47	188,00	288	Ok
329,4	2,63	1,5	190,77	192,31	288	Ok
341,6	2,68	1,5	194,81	196,35	288	Ok
353,8	2,73	1,5	198,61	200,14	288	Ok
366	2,78	1,5	202,19	203,72	288	Ok
378,2	2,83	1,5	205,56	207,10	288	Ok
390,4	2,87	1,5	208,75	210,29	288	Ok
402,6	2,91	1,5	211,77	213,31	288	Ok
414,8	2,95	1,5	214,63	216,17	288	Ok
427	2,99	1,5	217,35	218,89	288	Ok
439,2	3,03	1,5	219,93	221,47	288	Ok

451,4	3,06	1,5	222,38	223,92	288	Ok
463,6	3,09	1,5	224,72	226,26	288	Ok
475,8	3,12	1,5	226,95	228,49	288	Ok
488	3,15	1,5	229,08	230,62	288	Ok
500,2	3,18	1,5	231,11	232,65	288	Ok
512,4	3,21	1,5	233,06	234,60	288	Ok
524,6	3,23	1,5	234,92	236,46	288	Ok
536,8	3,26	1,5	236,71	238,25	288	Ok
549	3,28	1,5	238,42	239,96	288	Ok
561,2	3,30	1,5	240,06	241,60	288	Ok
573,4	3,33	1,5	241,64	243,18	288	Ok
585,6	3,35	1,5	243,16	244,70	288	Ok
597,8	3,37	1,5	244,62	246,16	288	Ok
610	3,39	1,5	246,02	247,56	288	Ok
622,2	3,40	1,5	247,38	248,92	288	Ok
634,4	3,42	1,5	248,68	250,22	288	Ok
646,6	3,44	1,5	249,94	251,48	288	Ok
658,8	3,46	1,5	251,16	252,70	288	Ok
671	3,47	1,5	252,33	253,88	288	Ok
683,2	3,49	1,5	253,47	255,01	288	Ok
695,4	3,50	1,5	254,57	256,11	288	Ok
707,6	3,52	1,5	255,63	257,17	288	Ok
719,8	3,53	1,5	256,66	258,20	288	Ok
732	3,55	1,5	257,65	259,20	288	Ok
744,2	3,56	1,5	258,62	260,16	288	Ok
756,4	3,57	1,5	259,55	261,10	288	Ok
768,6	3,58	1,5	260,46	262,01	288	Ok
780,8	3,60	1,5	261,34	262,89	288	Ok
793	3,61	1,5	262,20	263,74	288	Ok
805,2	3,62	1,5	263,03	264,57	288	Ok
817,4	3,63	1,5	263,84	265,38	288	Ok
829,6	3,64	1,5	264,62	266,17	288	Ok
841,8	3,65	1,5	265,38	266,93	288	Ok
854	3,66	1,5	266,13	267,67	288	Ok
866,2	3,67	1,5	266,85	268,39	288	Ok
878,4	3,68	1,5	267,55	269,10	288	Ok
890,6	3,69	1,5	268,24	269,78	288	Ok
902,8	3,70	1,5	268,90	270,45	288	Ok
915	3,71	1,5	269,55	271,10	288	Ok
<b>927,2</b>	<b>3,72</b>	<b>1,5</b>	<b>270,19</b>	<b>271,73</b>	<b>288</b>	<b>Ok</b>
<b>939,4</b>	<b>3,73</b>	<b>1,5</b>	<b>270,80</b>	<b>272,35</b>	<b>288</b>	<b>Ok</b>
951,6	3,74	1,5	271,41	272,95	288	Ok

963,8	3,74	1,5	272,00	273,54	288	Ok
976	3,75	1,5	272,57	274,12	288	Ok
988,2	3,76	1,5	273,13	274,68	288	Ok
1000,4	3,77	1,5	273,68	275,23	288	Ok
1012,6	3,77	1,5	274,21	275,76	288	Ok
1024,8	3,78	1,5	274,74	276,28	288	Ok
1037	3,79	1,5	275,25	276,79	288	Ok
1049,2	3,80	1,5	275,75	277,29	288	Ok
1061,4	3,80	1,5	276,23	277,78	288	Ok
1073,6	3,81	1,5	276,71	278,26	288	Ok
1085,8	3,81	1,5	277,18	278,73	288	Ok
1098	3,82	1,6	277,64	279,19	288	Ok
1110,2	3,83	1,6	278,08	279,63	288	Ok
1122,4	3,83	1,6	278,52	280,07	288	Ok
1134,6	3,84	1,6	278,95	280,50	288	Ok
1146,8	3,84	1,6	279,37	280,92	288	Ok
1150	3,85	1,6	279,48	281,03	288	Ok

Diagram Hasil Perhitungan Tegangan :





**Perhitungan Transformasi 2 bahan :**

**DATA**

Diameter Internal (D <sub>i</sub> )	=	0,47625	m
Diameter (D)	=	0,508	m
Wall Thickness (t)	=	0,0159	m
Diameter Corrosion Coating	=	0,5130	m
Diameter Concrete Coating	=	0,6080	m
Diameter Total (D <sub>tot</sub> )	=	0,613	m
Coating Thickness	=	0,0025	m
Concrete Thickness	=	0,050	m
Modulus Young of Pipe (E <sub>pipe</sub> )	=	207000	Mpa
Modulus Young of Coating (E <sub>coat</sub> )	=	3826,591	Mpa
Modulus Young of Concrete (E <sub>conc</sub> )	=	29054,97	Mpa
SMYS	=	360	Mpa

Luas Area Transformasi (Pipe Steel,  
Corrosion Protection Coating, Concrete) :

$$\frac{E_{material\ 2}}{E_{material\ 1}} = n \quad b'_{material\ 2} = n b_{material\ 2}$$

Transformasi Pipa Baja dengan 3LPE Coating

$$\frac{E_{coat}}{E_{pipe}} = 0,018$$

Tebal coating tranformasi

$$t'_{coat} = 0,00005 \text{ m}$$

Tebal concrete tranformasi

$$t'_{\text{conc}} = 0,05 \text{ m}$$

Tebal pipa keseluruhan setelah tranformasi

$$\begin{aligned} D'_{\text{tot}} &= D + 2t'_{\text{coat}} + 2t'_{\text{conc}} \\ &= 0,608 \text{ m} \end{aligned}$$

Luas area transformasi

$$\begin{aligned} A' &= \frac{\pi D'_{\text{tot}}{}^2}{4} - \frac{\pi D_i^2}{4} \\ &= 0,11 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Inersia transformasi

$$\begin{aligned} I'_{\text{st}} &= \frac{\pi (D'_{\text{tot}}{}^4 - D_i^4)}{64} \\ &= 0,004 \text{ m}^4 \end{aligned}$$



Berdasarkan data yang didapat yaitu Modulus Young Beton maka nilai tersebut digunakan untuk memperkirakan besar kuat tekan (FC')

Modulus Young ( $E_{conc}$ )

Beton = 29054,97 Mpa

Density Beton ( $\rho_{conc}$ ) = 3040 kg/m<sup>3</sup>

1 Kuat tekan beton  
 $f_c'$  =  $\left(\frac{E_{conc}}{2400}\right)^2$   
 = 146,561 Mpa

Kuat tarik beton =  $0.5 \cdot \sqrt{f_c'}$   
 Tegangan ijin tarik = (SK SNI T-15-1991-03 dan PBI)  
 = 6,05 Mpa

Besar ijin tarikan

F tarik ijin = Tegangan ijin tarik x  $A_{pipa}$   
 = 302655,9 N  
 = 302,66 kN



**LAMPIRAN H (SIMULASI MONTE CARLO)**

Data Buckling :						
Diketahui :			Unit		Stdv	Distribusi
Po	=	Min	0,2	MPa		
	=	Avg	0,22	MPa		0,015 LogNormal
	=	Max	0,23	MPa		
Pi	=	Min	1,9	MPa		
	=	Avg	1,95	MPa		0,05 LogNormal
	=	Max	2	MPa		
$f_p$	=		0,8			0,08 Normal
$S$	=		360	MPa		36 Normal
$t_n$	=		15,88	mm	0,02 m	0,00 Normal
$D$	=		508	mm	0,508 m	50,8 Normal
$Pp$	=		2,11			0,21 Normal

### VARIASI NORMAL 0,22 Po 10.000 DAN 100.000 Running

DATA BUCKLING :					Mean	StDev						
Po =		0,22	0,015	RNG	1,25							
Pi =		1,95	0,05	RNG	7,05							
fp =		0,8	0,08									
S =		360	36	RNG	379							
tn =		0,02	1,59									
D =		0,51	50,8									

percke	Po	Pi	fp	S	tn	D	Pp	Po - Pi	Pp*fp	Moda kegagalan	Status
1	1,25	7,05	0,8	379,00	0,02	0,508	0,39	-5,80	0,31	6,11	1
2	1,26	7,16	0,8	382,69	0,02	0,508	0,39	-5,90	0,31	6,22	1
3	1,26	6,84	0,8	311,35	0,02	0,508	0,32	-5,58	0,25	5,83	1
4	1,23	6,81	0,8	413,00	0,02	0,508	0,42	-5,58	0,34	5,92	1
5	1,27	6,82	0,8	351,36	0,02	0,508	0,36	-5,55	0,29	5,83	1
6	1,25	7,94	0,8	374,38	0,02	0,508	0,38	-6,69	0,31	7,00	1
7	1,24	7,53	0,8	344,52	0,02	0,508	0,35	-6,29	0,28	6,57	1
8	1,26	6,76	0,8	419,46	0,02	0,508	0,43	-5,50	0,34	5,84	1
9	1,21	6,59	0,8	315,76	0,02	0,508	0,32	-5,38	0,26	5,64	1
10	1,28	7,58	0,8	400,30	0,02	0,508	0,41	-6,30	0,33	6,62	1
9995	1,21	7,53	0,8	369,00	0,02	0,508	0,38	-6,32	0,30	6,62	1
9996	1,23	6,4	0,8	398,05	0,02	0,508	0,41	-5,17	0,32	5,49	1
9997	1,27	7,08	0,8	354,35	0,02	0,508	0,36	-5,81	0,29	6,10	1
9998	1,26	6,44	0,8	354,72	0,02	0,508	0,36	-5,18	0,29	5,47	1
9999	1,23	6,83	0,8	352,02	0,02	0,508	0,36	-5,60	0,29	5,88	1
10000	1,26	7,32	0,8	340,31	0,02	0,508	0,35	-6,06	0,28	6,34	1
											SUKSES
							Keandalan		100	%	10000
											Gagal
							Kegagalan		0	%	0

DATA BUCKLING :						Mean	StDev						
Po =		0,22	0,015	RNG	1,23								
Pi =		1,95	0,05	RNG	6,99								
fp =		0,8	0,08										
S =		360	36	RNG	321,87								
tn =		0,02	1,59										
D =		0,508	50,8										
perc ke	Po	Pi	fp	S	tn	D	Pp	Po - Pi	Pp*fp	Moda kegagalan	Status		
1	1,23	6,99	0,8	321,87	0,02	0,508	0,33	-5,76	0,26	6,02	1		
2	1,28	7,6	0,8	324,11	0,02	0,508	0,33	-6,32	0,26	6,59	1		
3	1,27	7,41	0,8	308,92	0,02	0,508	0,32	-6,14	0,25	6,39	1		
4	1,28	7,1	0,8	381,18	0,02	0,508	0,39	-5,82	0,31	6,13	1		
5	1,29	7,08	0,8	371,48	0,02	0,508	0,38	-5,79	0,30	6,10	1		
6	1,24	7,17	0,8	429,70	0,02	0,508	0,44	-5,93	0,35	6,28	1		
7	1,24	6,55	0,8	331,46	0,02	0,508	0,34	-5,31	0,27	5,58	1		
8	1,25	6,81	0,8	374,50	0,02	0,508	0,38	-5,56	0,31	5,87	1		
9	1,24	7,51	0,8	321,34	0,02	0,508	0,33	-6,27	0,26	6,53	1		
10	1,24	7,88	0,8	399,19	0,02	0,508	0,41	-6,64	0,33	6,97	1		
99995	1,24	7,27	0,8	348,14	0,02	0,508	0,36	-6,03	0,28	6,31	1		
99996	1,25	7,04	0,8	362,26	0,02	0,508	0,37	-5,79	0,30	6,09	1		
99997	1,26	7,58	0,8	367,99	0,02	0,508	0,38	-6,32	0,30	6,62	1		
99998	1,24	7,44	0,8	343,53	0,02	0,508	0,35	-6,20	0,28	6,48	1		
99999	1,21	6,91	0,8	347,49	0,02	0,508	0,35	-5,70	0,28	5,98	1		
100000	1,23	6,85	0,8	376,88	0,02	0,508	0,38	-5,62	0,31	5,93	1		
											SUKSES		
							keandalan		100	%	100000		
							Kegagalan		0	%	0		

### Variasi 1,96 MPa Running 10.000 dan 100.000

DATA BUCKLING :				
	Mean	StDev		
Po =	2	0,015	RNG	7,27
Pi =	1,95	0,05	RNG	7,2
fp =	0,8	0,08		
S =	360	36	RNG	361,42
tn =	0,02	1,59		
D =	0,508	50,8		

perc ke	Po	Pi	fp	S	tn	D	Pp	Po - Pi	Pp*fp	Moda kegagalan	Status
1	7,27	7,2	0,8	361,42	0,02	0,508	0,37	0,07	0,29	0,22	1
2	7,44	6,68	0,8	334,41	0,02	0,508	0,34	0,76	0,27	-0,49	0
3	7,48	7	0,8	337,56	0,02	0,508	0,34	0,48	0,28	-0,20	0
4	7,21	6,74	0,8	353,26	0,02	0,508	0,36	0,47	0,29	-0,19	0
5	7,43	6,82	0,8	403,53	0,02	0,508	0,41	0,61	0,33	-0,28	0
6	7,29	6,56	0,8	309,15	0,02	0,508	0,32	0,73	0,25	-0,47	0
7	7,56	6,58	0,8	412,96	0,02	0,508	0,42	0,98	0,34	-0,65	0
8	7,42	6,84	0,8	377,67	0,02	0,508	0,39	0,58	0,31	-0,27	0
9	7,39	6,22	0,8	395,93	0,02	0,508	0,40	1,17	0,32	-0,84	0
10	7,29	7,11	0,8	383,46	0,02	0,508	0,39	0,18	0,31	0,13	1
11	7,52	7,38	0,8	355,80	0,02	0,508	0,36	0,14	0,29	0,15	1

9995	7,31	7,81	0,8	302,24	0,02	0,508	0,31	-0,50	0,25	0,75	1
9996	7,26	6,69	0,8	358,13	0,02	0,508	0,37	0,57	0,29	-0,27	0
9997	7,26	6,71	0,8	323,30	0,02	0,508	0,33	0,55	0,26	-0,29	0
9998	7,37	7,37	0,8	281,49	0,02	0,508	0,29	0,00	0,23	0,23	1
9999	7,35	6,5	0,8	401,23	0,02	0,508	0,41	0,85	0,33	-0,52	0
10000	7,35	7	0,8	345,88	0,02	0,508	0,35	0,35	0,28	-0,07	0

											SUKSES
							Keandalan		43,09	%	4309
							Kegagalan		56,91	%	5691

perc ke	Po	Pi	fp	S	tn	D	Pp	Po - Pi	Pp*fp	Moda kegagalan	Status
1	7,41	6,65	0,8	347,01	0,02	0,508	0,35	0,76	0,28	-0,48	0
2	7,29	6,89	0,8	304,48	0,02	0,508	0,31	0,40	0,25	-0,16	0
3	7,60	7,41	0,8	316,26	0,02	0,508	0,32	0,19	0,26	0,07	1
4	7,29	6,87	0,8	371,79	0,02	0,508	0,38	0,42	0,30	-0,12	0
5	7,46	6,67	0,8	377,35	0,02	0,508	0,38	0,79	0,31	-0,48	0

99997	7,30	7,4	0,8	319,38	0,02	0,508	0,33	-0,10	0,26	0,36	1
99998	7,44	7,63	0,8	335,84	0,02	0,508	0,34	-0,19	0,27	0,47	1
99999	7,49	7,03	0,8	337,43	0,02	0,508	0,34	0,46	0,28	-0,18	0
100000	7,40	7,18	0,8	385,40	0,02	0,508	0,39	0,22	0,31	0,09	1

											Sukses
							keandalan		42,88	%	42883
							Kegagalan		57,12	%	57117

## Variasi 2 MPa Running 10.000 dan 100.000

DATA BUCKLING :					Mean	StDev						
Po =		1,96	0,015	RNG	7,14							
Pi =		1,95	0,05	RNG	6,66							
fp =		0,8	0,08									
S =		360	36	RNG	379,86							
tn =		0,02	1,59									
D =		0,51	50,8									

perc ke	Po	Pi	fp	S	tn	D	Pp	Po - Pi	Pp*fp	Moda kegagalan	Status
1	7,14	6,66	0,8	379,86	0,02	0,508	0,39	0,48	0,31	-0,17	0
2	7,03	7,32	0,8	401,56	0,02	0,508	0,41	-0,29	0,33	0,62	1
3	7,11	6,73	0,8	379,41	0,02	0,508	0,39	0,38	0,31	-0,07	0
4	7,17	6,92	0,8	379,22	0,02	0,508	0,39	0,25	0,31	0,06	1
5	7,15	6,97	0,8	344,45	0,02	0,508	0,35	0,18	0,28	0,10	1
6	6,93	6,97	0,8	341,76	0,02	0,508	0,35	-0,04	0,28	0,32	1
9996	7,16	6,47	0,8	390,23	0,02	0,508	0,40	0,69	0,32	-0,37	0
9997	7,13	7,47	0,8	348,98	0,02	0,508	0,36	-0,34	0,28	0,62	1
9998	6,95	6,54	0,8	397,94	0,02	0,508	0,41	0,41	0,32	-0,09	0
9999	7,04	7,1	0,8	386,86	0,02	0,508	0,39	-0,06	0,32	0,38	1
10000	6,98	7,14	0,8	394,18	0,02	0,508	0,40	-0,16	0,32	0,48	1
											SUKSES
							Keandalan	72,94	%		7294
											Gagal
							Kegagalan	27,06	%		2706
perc ke	Po	Pi	fp	S	tn	D	Pp	Po - Pi	Pp*fp	Moda kegagalan	Status
1	7,05	7,24	0,8	355,54	0,02	0,508	0,36	-0,19	0,29	0,48	1
2	7,18	7,08	0,8	405,59	0,02	0,508	0,41	0,10	0,33	0,23	1
3	7,29	7,72	0,8	379,70	0,02	0,508	0,39	-0,43	0,31	0,74	1
4	7,13	7,39	0,8	376,86	0,02	0,508	0,38	-0,26	0,31	0,57	1
5	7,07	7,1	0,8	421,57	0,02	0,508	0,43	-0,03	0,34	0,37	1
6	7,09	7,95	0,8	340,51	0,02	0,508	0,35	-0,86	0,28	1,14	1
7	7,21	7,19	0,8	344,46	0,02	0,508	0,35	0,02	0,28	0,26	1
8	6,92	7,18	0,8	343,27	0,02	0,508	0,35	-0,26	0,28	0,54	1
9	7,17	7,48	0,8	343,53	0,02	0,508	0,35	-0,31	0,28	0,59	1
99996	7,23	7,16	0,8	343,70	0,02	0,508	0,35	0,07	0,28	0,21	1
99997	7,04	7,78	0,8	358,05	0,02	0,508	0,37	-0,74	0,29	1,03	1
99998	7,18	6,9	0,8	390,38	0,02	0,508	0,40	0,28	0,32	0,04	1
99999	7,08	7,3	0,8	347,36	0,02	0,508	0,35	-0,22	0,28	0,51	1
100000	7,07	7,34	0,8	389,60	0,02	0,508	0,40	-0,27	0,32	0,58	1
											SUKSES
							keandalan	72,98	%		72979
											GAGAL
							Kegagalan	27,02	%		27021

## Variasi 2,04 Running 10.000 dan 100.000

DATA BUCKLING :					Mean	StDev						
Po =		2,04	0,015	RNG	7,8							
Pi =		1,95	0,05	RNG	7							
fp =		0,8	0,08									
S =		360	36	RNG	374,29							
tn =		0,02	1,59									
D =		0,51	50,8									
perc ke	Po	Pi	fp	S	tn	D	Pp	Po - Pi	Pp*fp	Moda kegagalan	Status	
1	7,80	7	0,8	374,29	0,02	0,508	0,38	0,80	0,31	-0,49	0	
2	7,62	6,59	0,8	319,04	0,02	0,508	0,33	1,03	0,26	-0,77	0	
3	7,83	7,58	0,8	328,28	0,02	0,508	0,33	0,25	0,27	0,02	1	
4	7,74	7,04	0,8	354,76	0,02	0,508	0,36	0,70	0,29	-0,41	0	
5	7,82	6,79	0,8	369,64	0,02	0,508	0,38	1,03	0,30	-0,73	0	
6	7,79	7,67	0,8	301,18	0,02	0,508	0,31	0,12	0,25	0,13	1	
9996	7,83	7,09	0,8	394,04	0,02	0,508	0,40	0,74	0,32	-0,42	0	
9997	7,60	7,55	0,8	336,20	0,02	0,508	0,34	0,05	0,27	0,22	1	
9998	7,77	6,8	0,8	402,43	0,02	0,508	0,41	0,97	0,33	-0,64	0	
9999	7,74	6,79	0,8	408,85	0,02	0,508	0,42	0,95	0,33	-0,62	0	
10000	7,93	6,89	0,8	353,23	0,02	0,508	0,36	1,04	0,29	-0,75	0	
											SUKSES	
							Keandalan		17,03	%	1703	
											Gagal	
							Kegagalan		82,97	%	8297	

DATA BUCKLING :					Mean	StDev						
Po =		2,04	0,015	RNG	7,49							
Pi =		1,95	0,05	RNG	6,96							
fp =		0,8	0,08									
S =		360	36	RNG	325,16							
tn =		0,02	1,59									
D =		0,508	50,8									
perc ke	Po	Pi	fp	S	tn	D	Pp	Po - Pi	Pp*fp	Moda kegagalan	Status	
1	7,49	6,96	0,8	325,16	0,02	0,508	0,33	0,53	0,27	-0,26	0	
2	7,76	7,59	0,8	410,51	0,02	0,508	0,42	0,17	0,33	0,16	1	
3	7,47	6,82	0,8	349,33	0,02	0,508	0,36	0,65	0,29	-0,36	0	
4	7,64	6,78	0,8	407,45	0,02	0,508	0,42	0,86	0,33	-0,53	0	
5	7,72	6,68	0,8	366,67	0,02	0,508	0,37	1,04	0,30	-0,74	0	
99996	7,77	6,4	0,8	391,43	0,02	0,508	0,40	1,37	0,32	-1,05	0	
99997	7,64	7,11	0,8	365,27	0,02	0,508	0,37	0,53	0,30	-0,23	0	
99998	7,48	7,55	0,8	372,52	0,02	0,508	0,38	-0,07	0,30	0,38	1	
99999	7,73	6,75	0,8	326,78	0,02	0,508	0,33	0,98	0,27	-0,71	0	
100000	7,78	6,92	0,8	387,84	0,02	0,508	0,40	0,86	0,32	-0,54	0	
											Hasil	
							keandalan		16,48	%	16480	
							Kegagalan		83,52	%	83520	



## BIODATA PENULIS



**Hasyim Asfa'un** lahir di Tuban, 08 Februari 1994. Penulis menempuh pendidikan awal ketika taman kanak kanak di RA Muslimat NU IV Cendoro, Palang, Tuban, Kemudian penulis melanjutkan pendidikan formal tingkat dasar di MI Hidayatush Shibyan Cendoro lulus pada tahun 2006. Kemudian melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Palang lulus pada tahun 2009. Saat jenjang menengah atas, penulis melanjutkan sekolah di SMAN 3 Tuban lulus pada tahun 2012. Setelah itu penulis diterima di ITS Surabaya melalui jalur SNMPTN Undangan tepatnya di Departemen Teknik kelautan FTK ITS pada tahun 2012 dari jalur BIDIK

MISI. Semasa kuliah penulis aktif diberbagai kegiatan dan keorganisasian baik di intra kampus dan ekstra kampus. Untuk intra kampus penulis aktif di UKM Rebana ITS sebagai kepala PSDA dan juga di LMB ITS sebagai kadep rumah tangga, sedangkan untuk di ekstra kampus penulis aktif di Pergerakan Mahasiswa Islam Indonesia (PMII) Sepuluh Nopember Surabaya sebagai ketua bidang 3 (keagamaan). Tugas akhir penulis mengangkat permasalahan berkaitan dengan salah satu bidang minat di Departemen Teknik Kelautan, yaitu Bidang Perancangan dan Produksi Bangunan Laut dengan cakupan khusus terkait dengan keandalan pipa bawah laut. Penulis pernah memiliki pengalaman internship program ketika mengikuti kerja praktek selama dua bulan di PT. Kaltim Prima Coal (KPC) pada tahun 2015 mempelajari proyek penggelaran pipa bawah laut penyalur solar.

Email : [hasyimasfaun@gmail.com](mailto:hasyimasfaun@gmail.com)

No. WA : 085649524689