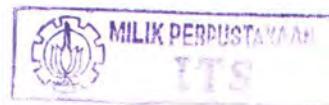


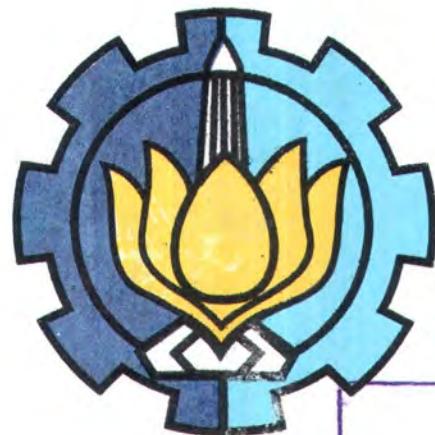
~~20.608/11/04~~

20.419/11/04



TUGAS AKHIR (KL 1702)

ANALISA KEANDALAN STABILITAS PIPA BAWAH LAUT AKIBAT BEBAN-BEBAN HIDRODINAMIS DI PERAIRAN TUBAN, JAWA TIMUR



Rsk
620.00452
Maar
a - 1
2002

PERPUSTAKAAN
I T S

Tgl. Terima	10-4-2002
Terima Dari	H
No. Agenda Dip.	217153

Oleh :

FAJAR KRIS HAMASTO
NRP. 4397 100 032

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2002

**ANALISA KEANDALAN STABILITAS PIPA BAWAH
LAUT AKIBAT BEBAN-BEBAN HIDRODINAMIS DI
PERAIRAN TUBAN, JAWA TIMUR**

TUGAS AKHIR

Oleh :

FAJAR KRIS HAMASTO

4397 100 032

Surabaya, Pebuari 2003

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I

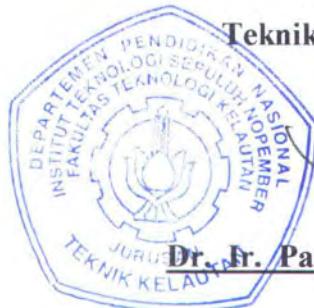
Dr. Ir. Mukhtasor, M.Eng
132 105 583

Dosen Pembimbing II/

Ir. Hasan Ikhwani, MSc
132 105 583

Ketua Jurusan

Teknik Kelautan FTK - ITS



Dr. Ir. Paulus Indiyono, MSc
131 453 680

ABSTRAK

Stabilitas lateral pipa bawah laut dipengaruhi oleh parameter-parameter lingkungan seperti kecepatan arus steady, tinggi, periode dan panjang gelombang. Pada umumnya analisa stabilitas lateral pipa dilakukan secara deterministik, dimana sebaran kekuatan dan beban tidak diperhitungkan. Dalam tugas akhir ini analisa stabilitas lateral pipa dilakukan dengan analisa keandalan menggunakan data yang relevan untuk perairan Tuban dan metode yang digunakan adalah metode Pendekatan Titik dan metode simulasi *Montecarlo*. Tebal lapisan beton minimum yang memenuhi batas kondisi analisa, yaitu pipa pada kondisi meletak ditanah dasar, sebesar 1.5 inchi atau berat pipa 2455.45 N/m. Dari hasil analisa, menunjukan bahwa keandalan stabilitas lateral pipa akan cenderung naik untuk setiap penambahan berat struktur pipa, dimana besar kenaikan nilai keandalan relatif konstan berkisar 99.99 % saat variasi tebal lapisan beton mencapai ketebalan 2.5 inchi atau berat struktur 3455.72 N/m dan untuk penggunaan asumsi koefisien gesekan tanah dasar sebagai besaran deterministik, uniform dan triangular mempunyai prosentase perbedaan relatif rata-rata berkisar 0.03% , sehingga analisa dapat dilakukan dengan menggunakan asumsi koefisien gesekan tanah dasar sebagai besaran deterministik. Pertambahan kedalaman perairan akan cenderung menaikan nilai keandalan dan akan mencapai nilai yang relatif konstan 99.99 % untuk kedalaman perairan 15 m. Nilai keandalan yang diperoleh dengan menggunakan metode Pendekatan Titik dan metode simulasi *Montecarlo* memiliki prosentase perbedaan relatif rata-rata berkisar 0.61%. Dengan tingkat perbedaan yang relatif kecil maka metode Pendekatan Titik dapat digunakan dalam analisa keandalan stabilitas pipa bawah laut akibat beban-beban hidrodinamis di perairan Tuban, Jawa Timur dengan keuntungan analisa yang dilakukan lebih sederhana, cepat dan murah dibandingkan dengan metode simulasi *Montecarlo*.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum wr.wb.

Sujud syukur penulis panjatkan kehadirat-Mu Ya Allah, atas terselesaikannya Tugas Akhir dengan judul **Analisa Keandalan Stabilitas Pipa Bawah Laut Akibat Beban-Beban Hidrodinamis di Perairan Tuban, Jawa Timur** dengan sebatas kemampuan penulis dan tepat waktu. Penulis menyadari bahwa apa yang telah diselesikannya adalah sebuah butir pasir diantara hamparan gurun keilmuan dan kebesaran-Nya, namun semoga butir pasir ini akan berarti ketika mampu memberikan warna dan penopang bagi kelangsungan gurun tersebut.

Tugas akhir ini berisi tentang studi keandalan terhadap stabilitas pipa dengan asumsi rencana instalasi diperairan Tuban, Jawa Timur . Diharapkan nantinya akan dapat menjadi rekomendasi untuk perencanaan lapisan beton yang paling efektif untuk memperoleh stabilitas pipa yang baik dan kemungkinan penggunaan metode Perkiraan Titik untuk analisa keandalan.

Penulis masih menyadari bahwa Tugas Akhir ini jauh dari kesempurnaan, karena semua saran dan kritik akan penulis terima dengan senang hati.

Terimakasih.

Wassallamuallaikum wr. wb.

Surabaya, Nopember 2002.

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Assalamuallaikum wr.wb.

Pertama saya panjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan bimbingan, kemudahan dan petunjuknya atas terselesaiannya pengerjaan tugas akhir. Sungguh kiranya sebuah hasil yang terasa kecil atas semua kebesarn-Nya, namun semoga dapat mendatangkan sebuah kebaikan untuk kehidupan seluruh manusia. Dan tak lupa pula saya ucapkan banyak terimakasih, kepada :

1. Bapak Paulus Indiyono selaku ketua jurusan teknik kelautan, atas kesempatan dan sistem perkuliahan yang telah diberikan, yang sangat bermanfaat bagi saya pribadi, hingga dapat terselesaiannya tugas akhir ini.
2. Bapak Mukhtasor selaku dosen pembimbing, atas arahan, bantuan dan dorongannya.
3. Bapak Hasan Ikhwani selaku dosen pembimbing, atas arahan, bantuan dan dorongannya.
4. Seluruh staf pengajar teknik kelautan, yang telah memberikan waktunya untuk memberikan ilmu dan pengalamannya, yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.
5. Seluruh karyawan teknik kelautan, atas kemudahan birokrasi yang telah diberikan.
6. Kedua orang tua saya, manusia yang mulia, yang telah memberikan kasih, perhatian dan keikhlasannya untuk memberikan sesuatu yang terbaik dan

berarti bagi hidup saya dimasa yang akan datang, dan kedua adik saya atas pengertian, persaudaraan dan dorongannya.

7. Widayati Pambayun, yang telah memberikan kedamaian dan sorga didalam hati saya, serta memberikan alasan untuk memperoleh pencapaian hidup yang terbaik bagi kami.
8. Seluruh penghuni Keputih III/25, Dedeck dan semua rekan-rekan Klaten.
9. Laut angkatan '97, seluruh mahasiswa teknik kelautan dan seluruh teman yang belum saya sebutkan.

Dan hanya akan ada sebuah kebaikan lain yang akan diberikan oleh Allah SWT, dan hanya sebatas ucapan ini yang mampu saya berikan atas semua kebaikandan bantuan, yang sangat besar artinya, yang telah saya terima.

Wassallamuallaikum wr. wb.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	ii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GRAFIK.....	xi
DAFTAR NOTASI.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1-1
1.2 Perumusan Masalah.....	1-2
1.3 Tujuan	1-3
1.4 Manfaat	1-3
1.5 Batasan	1-4
1.6 Sistematika Penulisan.....	1-5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	
2.1 Konsep Stabilitas Pipa Bawah Laut	2-1
2.1.1 Stabilitas Lateral.....	2-1
2.1.2 Gaya-Gaya Hidrodinamis.....	2-3
2.1.3 Kecepatan Partikel Air	2-5
2.1.4 Pemilihan Teori Gelombang	2-8
2.1.5 Gaya Berat.....	2-11
2.2 Konsep Analisa Keandalan	2-13
2.2.1 Konsep Peluang.....	2-14
2.2.2 Konsep Ketidakpastian.....	2-16

2.2.3 Peubah Acak.....	2-18
2.2.4 Beberapa Distribusi Kontinyu Penting.....	2-19
2.2.5 Pengujian Untuk Kecocokan Pemilihan Parameter Distribusi <i>(Goodness-of-Fit Test)</i>	2-25
2.3 Fungsi Kinerja	2-29
2.4 Teknik Analisa Keandalan	2-31
2.4.1 Metode Perkiraan Titik.....	2-31
2.4.2 Simulasi Monte Carlo.....	2-36
2.5 Moda Kegagalan Pipeline	2-38

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Data	3-2
3.1.1 Data Pipa	3-2
3.1.2 Data Lingkungan.....	3-3
3.2 Analisa Data	3-4
3.2.1 Perhitungan Berat Struktur Pipa.....	3-5
3.2.2 Peramalan Tinggi Dan Panjang Gelombang Dengan Menggunakan Kecepatan Angin Dan Fetch	3-5
3.2.3 Perhitungan Panjang Gelombang Dan Penetuan Teori Gelombang ..	3-8
3.2.4 Pengujian Untuk Kecocokan Pemilihan Parameter Distribusi <i>(Goodness-of-Fit Test)</i>	3-8
3.3 Penetuan Variabel Acak	3-10
3.4 Penentuan Moda Kegagalan.....	3-10
3.5 Metode Analisa	3-11
3.5.1 Metode Perkiraan Titik.....	3-11
3.5.2 Simulasi Montecarlo	3-12
3.6 Hasil Akhir	3-15

BAB 4 PERHITUNGAN DAN ANALISA

4.1 Perhitungan Kasus.....	4-1
4.1.1 Data	4-1
4.1.2 Perhitungan Berat dan Massa Pipa.....	4-3
4.1.3 Perhitungan Gelombang.....	4-7

4.1.4 Perhitungan Beban-Beban Hidrodinamis.....	4-9
4.1.5 Pemilihan Jenis dan Parameter Distribusi Untuk Masing-Masing Variabel.....	4-12
4.2 Penentuan Moda Kegagalan.....	4-13
4.3 Perhitungan Keandalan Stabilitas Sistem Pppa.....	4-15
4.3.1 Metode Perkiraan Titik.....	4-15
4.3.2 Simulasi <i>Montecarlo</i>	4-27
4.4 Analisa Hasil Perhitungan.....	4-33
4.4.1 Pengaruh Penambahan Berat.....	4-33
4.4.2 Pengaruh Kedalaman Perairan	4-34
4.4.3 Pengaruh Variasi Koefisien Gesekan Tanah Dasar.....	4-35
4.4.4 Perbandingan Hasil Analisa Dengan Meggunakan Metode Perkiraan Titik dan Simulasi <i>Montecarlo</i>	4-35

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	5-1
5.2 Saran	5-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Gaya-gaya yang bekerja pada pipa bawah laut	2-1
Gambar 2.2.	Diagram validitas teori gelombang	2-9
Gambar 2.3	Kurva Normal	2-19
Gambar 2.4	Sebuah densitas uniform.....	2-21
Gambar 2.5	Fungsi densitas lognormal.....	2-24
Gambar 2.6	Fungsi densitas eksponensial	2-25
Gambar 2.7.	Analogi balok dengan Perkiraan Titik.....	2-34
Gambar 3.1.	Diagram alir langkah-langkah analisa.....	3-1
Gambar 3.2.	Diagram alir untuk metode Perkiraan Titik.....	3-13
Gambar 3.3.	Diagram alir untuk simulasi <i>Montecarlo</i>	3-14
Gambar 4.1	Penampang melintang <i>Bathymetri</i> Perairan Tuban, Jawa Timur. ...	4-2

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 : Koefisien hidrodinamika untuk desain pipa	2-6
Tabel 3.2 : Hasil Teori Gelombang Stoke Orde Dua	2-11
Tabel 3.3 : Sensivitas berat Perkiraan Titik terhadap skewness	2-34
Tabel 3.4 : Koefisien η_{ik} untuk metode Perkiraan Titik	2-36
Tabel 4.1 : Massa Lapisan beton	4-4
Tabel 4.2 : Besar gaya reaksi keatas tiap satuan panjang	4-5
Tabel 4.3 : Berat total pipa tiap satuan panjang.....	4-6
Tabel 4.4 : Berat total pipa bawah laut tiap satuan panjang	4-6
Tabel 4.5 : Hubungan tebal beton dengan harga Re.....	4-10
Tabel 4.6 : Konstanta persamaan koefisien-koefisien hidrodinamis tiap variasi tebal beton	4-11
Tabel 4.7 : Kontanta Persamaan beban-beban hidrodinamis tiap variasi tebal beton	4-12
Tabel 4.8 : Deskripsi statistik variable acak untuk data yang diperoleh dengan menggunakan pendekatan kecepatan angin dan panjang <i>Fetch</i> ...4-13	
Tabel 4.9 : Nilai keandalan sistem pipa dengan menggunakan metode perkiraan titik untuk setiap zone dan variasi tebal lapisan beton, dimana koefisien gesekan tanah dasar 0.6.....	4-19
Tabel 4.10 : Nilai keandalan sistem pipa dengan menggunakan metode perkiraan titik untuk setiap zone dan variasi tebal lapisan beton, dimana koefisien gesekan tanah dasar diasumsikan uniform (0.5 0.7).....	4-23
Tabel 4.11 : Nilai keandalan sistem pipa dengan menggunakan metode perkiraan titik untuk setiap zone dan variasi tebal lapisan beton, dimana koefisien gesekan tanah dasar diasumsikan triangular (0.5 0.6 0.7).....	4-26

- Tabel 4.12 : Tabel nilai keandalan sistem pipa tiap variasi tebal pipa, dengan koefisien gesekan tanah deterministik 0.6, dengan menggunakan simulasi *Montecarlo* 4-29
- Tabel 4.13 : Tabel peluang keandalan dan peluang kegagalan sistem pipa tiap variasi tebal pipa, dengan koefisien gesekan tanah Uniform (0.5 0.7), dengan menggunakan simulasi *Montecarlo* 4-30
- Tabel 4.14 : Tabel peluang keandalan dan peluang kegagalan sistem pipa tiap variasi tebal pipa, dengan koefisien gesekan tanah triangular (0.5 0.6 0.7), dengan menggunakan simulasi *Montecarlo* 4-32

DAFTAR GRAFIK

- Grafik 4.1 : Hubungan nilai keandalan dengan berat pipa untuk koefisien gesekan tanah 0.6 menggunakan metode Pendekatan Titik 4-20
- Grafik 4.2 : Hubungan nilai keandalan dengan berat pipa untuk koefisien gesekan tanah diasumsikan sebagai distribusi uniform (0.5 0.7) menggunakan metode Pendekatan Titik 4-24
- Grafik 4.3 : Hubungan nilai keandalan dengan berat pipa untuk koefisien gesekan tanah diasumsikan sebagai distribusi distribusi triangular (0.5 0.6 0.7) menggunakan metode Pendekatan Titik 4-26
- Grafik 4.4 : Hubungan peluang keandalan sistem pipa dengan berat pipa dengan koefisien gesek tanah mengikuti ditentukan secara deterministik 0.6, dengan menggunakan simulasi *Montecarlo* 4-29
- Grafik 4.5 : Hubungan peluang keandalan sistem pipa dengan berat pipa dengan koefisien gesek tanah mengikuti jenis distribusi uniform (0.5 0.7), dengan menggunakan simulasi *Montecarlo* 4-31
- Grafik 4.6 : Hubungan peluang keandalan sistem pipa dengan berat pipa dengan koefisien gesek tanah mengikuti jenis distribusi triangular (0.5 0.6 0.7), dengan menggunakan simulasi *Montecarlo* 4-32
- Grafik 4.7 : Perbandingan hasil nilai keandalan dengan menggunakan metode Pendekatan Titik dan metode simulasi *Montecarlo*, untuk setiap variasi tebal lapisan beton / berat struktur pipa pada zone I 4-36
- Grafik 4.8 : Perbandingan hasil nilai keandalan dengan menggunakan metode Pendekatan Titik dan metode simulasi *Montecarlo*, untuk setiap variasi tebal lapisan beton / berat struktur pipa pada zone II 4-37
- Grafik 4.9 : Perbandingan hasil nilai keandalan dengan menggunakan metode Pendekatan Titik dan metode simulasi *Montecarlo*, untuk setiap variasi tebal lapisan beton / berat struktur pipa pada zone III 4-37

Grafik 4.10: Perbandingan hasil nilai keandalan dengan menggunakan metode Pendekatan Titik dan metode simulasi *Montecarlo*, untuk setiap variasi tebal lapisan beton / berat struktur pipa pada zone IV.....4-38

DAFTAR NOTASI

F_D	:	Gaya <i>Drag</i> persatuan panjang
ρ	:	Massa jenis air laut
C_D	:	Koefisien <i>Drag</i>
D_T	:	Diameter total pipa
U_{eff}	:	Kecepatan horizontal efektif partikel
F_i	:	Gaya <i>Inertia</i> persatuan panjang
C_M	:	Koefisien <i>Inertia</i>
du/dt	:	Percepatan horisontal partikel air
F_L	:	Gaya <i>Lift</i> persatuan panjang
C_L	:	Koefisien <i>Lift</i> .
ν	:	Viskositas kinematik fluida
T	:	Periode gelombang
e	:	Tingkat kekasaran
U_{gel}	:	Kecepatan arus akibat gelombang, normal terhadap pipa
U_{arus}	:	Kecepatan arus steady, normal terhadap pipa
U	:	Kecepatan partikel horizontal pada ketinggian Y dari dasar laut
U_0	:	Kecepatan partikel air yang diukur atau dihitung pada ketinggian Y_0 , pada ketinggian 1 meter diatas dasar laut
M_p	:	Massa Pipa
M_{ac}	:	Massa anti korosi
M_c	:	Massa Lapisan beton
M_f	:	Massa fluida dalam pipa
M_a	:	Massa pipa di udara
D_0	:	Diameter luar baja pipa
D_i	:	Diameter dalam baja pipa
t_{ac}	:	Tebal anti korosi
t_c	:	Tebal beton pemberat

ρ_F	: Densitas fluida
ρ_c	: Densitas beton
W_a	: Berat pipa diudara
F_b	: <i>Bouyancy</i>
W_s	: Berat pipa dalam air
x	: nilai peubah acak
μ	: nilai rataan
σ	: nilai standart deviasi
α dan β	: konstanta riil $\alpha < \beta$
x	: nilai variabel acak
r	: parameter bentuk
λ	: parameter skala
μ_r	: logmean
σ_r	: logstandar-deviasi
λ	: sebuah bilangan riil, konstanta positif.
O_i	: Frekuensi pengamatan dalam interval kelas ke-i.
E_i	: Harapan frekuensi dalam interval kelas ke-i.
a_i	: Konstanta , $i = 1, 2, 3, \dots, n$
X_i	: Peubah dasar dengan <i>fkp</i> normal gaussian, $i = 1, 2, 3, \dots, n$
μ_{X_i}	: Harga rata-rata X_i
σ_{X_i}	: Simpangan baku X_i .
μ_i	: Nilai rata-rata dari X_i
σ_i	: Standar deviasi dari X_i
η_{ik}	: Koefisien dengan nilai 1 dan -1 yang memenuhi
π_k	: Nilai π untuk Perkiraan Titik ke-k.
m	: modulasi
a dan c	: Bilangan cacah yang berturut-turut disebut sebagai pengganda dan <i>inkremen</i> .
F_{eff}	: Fetch rerata efektif

- X_i : Panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung fetch
- α : Deviasi kedua sisi arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6^0 sampai sudut sebesar 42^0 pada kedua sisi dari arah angin.



BAB I

PENDAHULUAN

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pada umumnya analisa stabilitas pipa hingga saat ini banyak dilakukan secara deterministik, dimana sebaran dari kekuatan dan beban tidak diperhitungkan. Analisa dilakukan dengan menggunakan pendekatan faktor keamanan sebesar 1.1, seperti tercantum dalam Det Norske Veritas (DnV, 1981), yaitu stabilitas lateral disyaratkan bahwa gaya gesekan akibat interaksi pipa dengan tanah haruslah lebih besar dari kombinasi gaya *Drag* dan *Inertia*, minimal 10 %. Pada kenyataannya besaran yang ditentukan secara deterministik tidak realistik.

Stabilitas lateral pipa bawah laut dipengaruhi oleh parameter-parameter material pipa, seperti berat pipa, dan parameter-parameter lingkungan, seperti kecepatan arus steady, tinggi gelombang, periode gelombang dan panjang gelombang. Parameter-parameter lingkungan bersifat acak, dimana harganya tidak dapat ditentukan dalam nilai tertentu. Adanya sifat acak ini akan menyebabkan terjadinya ketidakpastian statistik, terhadap model analisa yang digunakan. Analisa keandalan merupakan analisa dengan menggunakan pertimbangan peluang, dapat digunakan untuk mengatasi adanya ketidakpastian ini. Dimana dengan menggunakan analisa keandalan sebaran kekuatan dan beban yang bekerja pada pipa bawah laut dapat dianalisa dengan model yang mendekati

TUGAS AKHIR

kondisi sebenarnya, dengan menggunakan parameter-parameter lingkungan yang berpengaruh sebagai variabel acak.

Dalam studi ini analisa keandalan stabilitas lateral sistem pipa dilakukan dengan menggunakan metode Perkiraan Titik dan metode Simulasi *Montecarlo*. Metode Perkiraan Titik dipilih karena metode ini sederhana dan analisa dapat dilakukan dengan cepat, yaitu operasi penurunan fungsi batas kondisi yang seringkali menyulitkan dapat dihindarkan. Dan untuk membandingkan hasil yang diperoleh digunakan simulasi *Montecarlo* yang sudah banyak digunakan dan memberikan tingkat kepercayaan yang tinggi. Dalam simulasi *Montecarlo* analisa dilakukan dengan menggunakan sampling numerik, sehingga jumlah sampel dapat dikendalikan untuk mendapatkan hasil yang konvergen.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun yang menjadi permasalahan yang akan diselesaikan dalam analisa keandalan ini adalah :

1. Bagaimanakah hubungan keandalan stabilitas lateral sistem pipa bawah laut terhadap berat struktur pipa akibat beban-beban hidrodinamis di perairan Tuban, Jawa Timur dengan menggunakan asumsi koefisien gesekan tanah dasar ditentukan secara deterministik, mengikuti distribusi uniform dan mengikuti distribusi triangular?
2. Bagaimanakah perbandingan hasil analisa keandalan yang diperoleh dengan menggunakan metode Perkiraan Titik dan simulasi *Montecarlo* dan kelayakan pemakaian metode Perkiraan Titik dalam analisa keandalan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

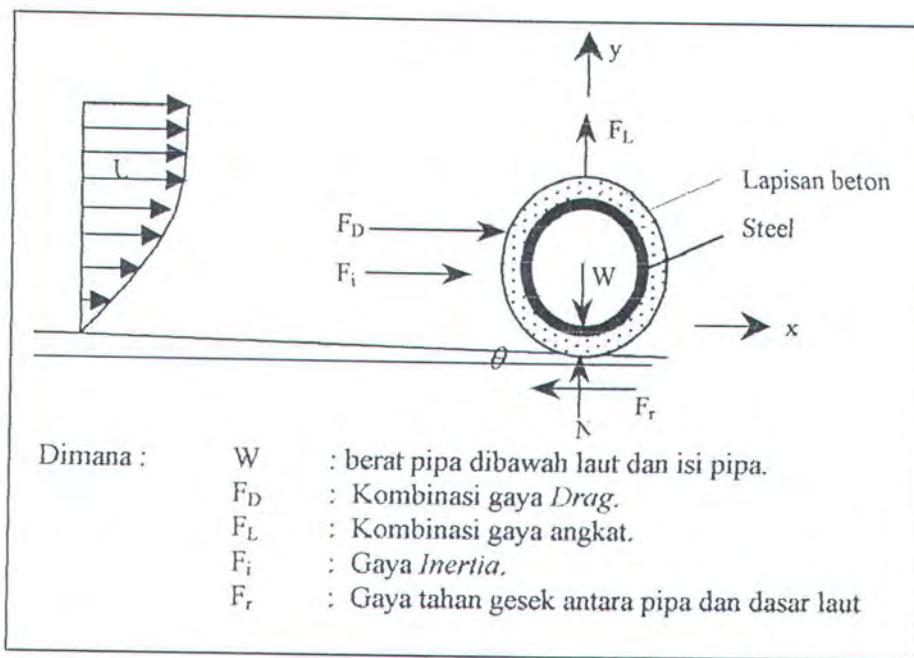
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Konsep Stabilitas Pipa Bawah Laut

2.1.1 Stabilitas Lateral

Pada pipa bawah laut akan bekerja gaya-gaya hidrodinamis, akibat keberadaannya didalam fluida yang bergerak, dimana gaya-gaya tersebut seperti terlihat pada gambar 3.1.



Gambar 2.1. Gaya-gaya yang bekerja pada pipa bawah laut (Mouselli, 1981)

TUGAS AKHIR

Seluruh gaya yang bekerja pada pipa bawah laut, seperti terlihat pada gambar 3.1, harus memenuhi persamaan kesetimbangan statis (Mouselli, 1981), sebagai berikut :

1. Kesetimbangan gaya horizontal

$$F_D + F_i - F_r - W \sin \theta = 0 \quad (2.1)$$

2. Kesetimbangan gaya vertikal

$$N + F_i - W \cos \theta = 0 \quad (2.2)$$

Tahanan gesek lateral (F_r) berbanding lurus dengan gaya normal (N) dan koefisien gesek lateral antara pipa dengan tanah (μ), yang dinyatakan sebagai berikut :

$$F_r = \mu N \quad (2.3)$$

Dari persamaan 2.3 dapat disubtitusikan kedalam persamaan 2.1 dan persamaan 2.2.

$$F_D + F_i - \mu (W \cos \theta - F_i) = W \sin \theta \quad (2.4)$$

Dari persamaan 2.4 berat total struktur pipa termasuk fluida didalam pipa dapat dinyatakan seperti persamaan 2.5.

$$W = \frac{F_D + F_i + \mu F_L}{\mu \cos \theta + \sin \theta} \quad (2.5)$$

Bila kemiringan tanah $\theta = 0$ maka persamaan 2.5 dapat disederhanakan menjadi :

$$W = F_i + \frac{1}{\mu} (F_D + F_i) \quad (2.6)$$

Untuk stabilitas lateral disyaratkan bahwa gaya gesek akibat interaksi pipa dengan tanah haruslah lebih besar dari kombinasi gaya *Drag* dan *Inertia*, minimal 10 % (DnV, 1981).

TUGAS AKHIR

2.1.2 Gaya-Gaya Hidrodinamis

Akibat adanya gerakan relatif diantara pipa dengan air yang berada disekitarnya maka akan bekerja gaya-gaya hidrodinamis pada pipa. Perhitungan gaya hidrodinamis ini menggunakan kecepatan dan percepatan relatif partikel air yang disebabkan oleh gelombang dan arus.

1. Gaya *Drag*

Gaya *Drag* merupakan gaya yang timbul dari gerakan relatif antara benda dan fluida yang terjadi secara pararel pada benda dan fluida yang terjadi secara pararel pada benda suatu benda yang tenggelam seluruhnya dalam suatu fluida homogen. Persamaan gaya *Drag* persatuan panjang digambarkan dalam persamaan 2.7.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D D_T U_{eff} |U_{eff}| \quad (2.7)$$

dengan :

F_D : Gaya *Drag* persatuan panjang, lbs

ρ : Massa jenis air laut, 2 slug/ft³

C_D : Koefisien *Drag*

D_T : Diameter total pipa, ft

U_{eff} : Kecepatan horizontal effektif partikel , ft/sec



2. Gaya *Inertia*

Gaya *Inertia* persatuan panjang pipa dinyatakan sebagai persamaan 2.8.

$$F_i = \rho C_M (\pi D_r^2 / 4) (du/dt) \quad (2.8)$$

TUGAS AKHIR

Dengan :

F_i : Gaya *Inertia* persatuan panjang, lbs

C_M : Koefisien *Inertia*

$\frac{du}{dt}$: Percepatan horisontal partikel air, ft/sec²

3. Gaya *Lift*

Merupakan gaya yang timbul dari gerakan relatif antara benda dan fluida yang terjadi jika berada pada sudut-sudut tegak lurus pada benda tenggelam seluruhnya dalam suatu fluida homogen. Persamaan gaya *Lift* persatuan panjang dinyatakan dalam persamaan 2.9.

$$F_L = \frac{1}{2} \rho C_L D_T U_{eff}^2 \quad (2.9)$$

Dengan :

F_L : Gaya *Lift* persatuan panjang, lbs

C_L : Koefisien *Lift*.

Untuk menentukan koefisien hidrodinamis (koefisien *Drag*, koefisien *Inertia* dan koefisien *Lift*) yang digunakan, secara umum tergantung pada karakteristik-karakteristik berikut :

- Bilangan *Reynold* (Re)

$$Re = \frac{U_{eff} D_T}{\nu} \quad (2.10)$$

Dengan :

ν : Viskositas kinematik fluida, 1.0×10^{-5} ft²/sec untuk air laut

TUGAS AKHIR

stabilitas lateral pipa akibat beban-beban hidrodinamis di perairan Tuban, Jawa Timur?

1.3 Tujuan

Sesuai dengan permasalahan yang akan dibahas, tujuan dari analisa yang akan dilakukan, yaitu :

1. Mengetahui hubungan antara berat struktur pipa dengan keandalan stabilitas sistem pipa akibat beban-beban hidrodinamis di perairan Tuban, Jawa Timur dengan menggunakan asumsi koefisien gesekan tanah dasar ditentukan secara deterministik, mengikuti distribusi uniform dan mengikuti distribusi triangular.
2. Mengetahui besar perbedaan hasil analisa keandalan sistem pipa yang diperoleh dengan menggunakan metode Perkiraan Titik dan simulasi *Montecarlo* sehingga dapat diketahui kelayakan pemakaian metode Perkiraan Titik dalam analisa keandalan stabilitas lateral pipa akibat beban-beban hidrodinamis di perairan Tuban, Jawa Timur.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari analisa keandalan stabilitas sistem pipa terhadap pengaruh beban-beban hidrodinamis yang mengenainya, antara lain :

1. Dapat digunakan sebagai suatu pertimbangan untuk merencanakan ketebalan lapisan beton yang paling efektif menambah berat, yang cukup

TUGAS AKHIR

aman saat menerima beban hidrodinamis di perairan Tuban, Jawa Timur yang bekerja pada sistem pipa.

2. Kemungkinan penggunaan teknik metode Perkiraan Titik untuk melakukan analisa keandalan, dengan tingkat kepercayaan yang tinggi dan kemudahan dalam pengoperasiannya (tanpa melakukan penurunan fungsi kondisi batas).

1.5 Batasan

Untuk menyederhanakan analisa maka diperlukan beberapa parameter, yang merupakan beberapa asumsi yang digunakan dalam perhitungan, untuk membatasi masalah yang ditinjau, yaitu :

1. Rencana instalasi sistem pipa diasumsikan berada diperairan Tuban, Jawa Timur .
2. Stabilitas yang ditinjau adalah stabilitas lateral yang disebabkan oleh pengaruh dari gaya berat, gaya *Lift*, gaya *Drag* dan gaya *Inertia*.
3. Permukaan tanah dasar laut diasumsikan sebagai pasir dengan koefisien gesek ditentukan secara deterministik dengan harga 0.6, mengikuti distribusi Uniform dengan nilai minimum 0.5 dan nilai maksimum 0.7, dan mengikuti distribusi Triangular dengan nilai minimum 0.5, mode 0.6 dan nilai maksimum 0.7.
4. Variasi ketebalan beton yang digunakan dalam analisa adalah 0.5 inchi, 1 inchi, 1.5 inchi, 2 inch, 2.5 inchi, 3 inchi, 3.5 inchi, 4 inchi, 4.5 inchi, 5 inchi, 5.5 inchi dan 6 inchi.

TUGAS AKHIR

5. Pengaruh *vortex shedding* dan *Scouring* tidak dimasukan dalam analisa stabilitas sistem pipa.
6. Analisa yang dilakukan dalam empat zone disepanjang jalur pipa.
7. Variabel acak yang dipakai adalah kecepatan arus steady, tinggi gelombang, panjang gelombang , periode gelombang dan koefisien gesekan tanah dasar yang disimulasikan dalam tiga harga .
8. Data tinggi, panjang dan periode gelombang diperoleh dengan menggunakan peramalan dengan menggunakan data angin dan fetch, yang selanjutnya diasumsikan sebagai data lapangan.
9. Data angin yang digunakan adalah hasil pengukuran antara bulan September – Oktober 1994.
10. Analisa gelombang dilakukan untuk kondisi beban maksimum, yaitu beban bekerja normal terhadap pipa dan ditinjau pada saat $t = 0$.
11. Sudut slope dasar laut dalam analisa dianggap datar (0^0).

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam menyelesaikan tugas akhir dilakukan dengan susunan sistematika penulisan sebagai berikut :

Bab 1 Pendahuluan

Dalam bab ini diuraikan beberapa hal, antara lain :

1. Latar belakang masalah
2. Perumusan masalah
3. Tujuan

TUGAS AKHIR

4. Manfaat
5. Batasan masalah
6. Sistematika penulisan

Bab 2 Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Dalam bab ini diuraikan mengenai persamaan-persamaan yang digunakan dalam perhitungan , teori mengenai beban hidrodinamis yang bekerja pada struktur pipa dan analisa keandalan, yang meliputi metode-metode yang digunakan, dalam analisa stabilitas struktur pipa.

Bab 3 Metodologi Penelitian

Dalam bab ini diuraikan langkah-langkah yang dilakukan untuk perhitungan, analisa dan penyelesaian dari tugas akhir, yang meliputi studi literature, perhitungan kasus, penentuan moda kegagalan, analisa keandalan pipa dengan menggunakan metode Perkiraan Titik dan simulasi *Montecarlo* dan penarikan kesimpulan dari hasil analisa.

Bab 4 Perhitungan dan Analisa

Bab ini menguraikan mengenai perhitungan beban-beban yang berpengaruh pada stabilitas sistem pipa, terutama akibat variable acak yang digunakan dalam analisa dan selanjutnya dilakukan analisa keandalan terhadap sistem pipa tersebut dengan menggunakan metode Perkiraan Titik dan simulasi *Montecarlo*. Dari hasil analisa dengan menggunakan dua metode tersebut

TUGAS AKHIR

dibandingkan dan akan diperoleh grafik hubungan antara berat dan keandalan dari sistem pipa.

Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil analisa yang telah dilakukan dan saran-saran yang bermanfaat untuk lebih menyempurnakan dan mengembangkan analisa yang telah dilakukan.

TUGAS AKHIR

- Bilangan Keulegan Carpenter (K_C)

$$K_C = \frac{U_{eff} T}{D_T} \quad (2.11)$$

Dengan:

T : Periode gelombang, sec

- Kekasaran Permukaan Pipa (k)

$$k = \frac{e}{D} \quad (2.12)$$

Dengan :

e : Tingkat kekasaran

Besarnya koefisien *Drag* merupakan fungsi dari bilangan *Reynold*. Umumnya koefisien *Drag* bervariasi antara 0,6 sampai 0,2, tergantung pada besar bilangan *Reynold*. Dari hasil eksperimen yang pernah dilakukan, yaitu untuk menentukan koefisien *Drag* untuk gelombang yang menimbulkan aliran osilasi pada pipa menunjukkan bahwa koefisien *Drag* tergantung juga pada bilangan *Keulegan-Carpenter*. Demikian juga untuk koefisien *Lift* dan koefisien *Massa*, besarnya tergantung pada bilangan *Reynold* dan bilangan *Keulegan-Carpenter*.

2.1.3 Kecepatan Partikel Air

Kecepatan partikel air dalam perhitungan gaya-gaya hidrodinamis merupakan kombinasi dari gaya gelombang dan arus steady yang harus diperhatikan berdasarkan kedalamannya.

TUGAS AKHIR

$$U_{\text{eff}} = U_{\text{gel}} + U_{\text{arus}} \quad (2.13)$$

Dengan :

U_{gel} : Kecepatan arus akibat gelombang, normal terhadap pipa, m/det

U_{arus} : Kecepatan arus steady, normal terhadap pipa, m/det

Tabel 3.1 : Koefisien hidrodinamika untuk desain pipa (Mouselli, 1981)

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

1. Kecepatan Partikel Air karena Arus Steady

Kecepatan dan percepatan yang terjadi dihitung pada ketinggian 1 meter diatas dasar laut, sesuai dengan standar teori gelombang. Hukum *1/7 th Power* biasanya digunakan untuk memperkirakan kecepatan horizontal partikel air (Mouselli, 1981).

$$\frac{U}{U_0} = \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/7} \quad (2.14)$$

TUGAS AKHIR

Dengan :

U : Kecepatan partikel horizontal pada ketinggian Y dari dasar laut, ft/sec.

U_0 : Kecepatan partikel air yang diukur atau dihitung pada ketinggian Y_0 , pada ketinggian 1 meter diatas dasar laut, ft/sec.

Kecepatan efektif yang digunakan dalam perhitungan dapat dipenuhi dari persamaan 2.15a.

$$U^2_{\text{eff}} = \frac{1}{D_T} \int_1^D U^2(y) dy \quad (2.15.a)$$

dengan substitusi persamaan $1/7 \text{ th power}$ kedalam persamaan kecepatan efektif, didapatkan persamaan 2.15b.

$$U^2_{\text{eff}} = 0,778 U_0^2 \left(\frac{D_T}{Y_0} \right)^{0,286} \quad (2.15.b)$$

2. Kecepatan Partikel Air Akibat Pengaruh Gelombang

Perhitungan kecepatan partikel air akibat pengaruh gelombang dilakukan dengan menggunakan teori gelombang yang berlaku. Pemilihan teori gelombang dilakukan menurut diagram *Region of Validity of Wave Theories*. Dalam hal ini disumsikan bahwa arah gelombang adalah normal terhadap pipa.

TUGAS AKHIR

2.1.4 Pemilihan Teori Gelombang

Aspek yang lebih diperhatikan dalam pemilihan teori gelombang adalah kesederhanaan dan kemudahan pemakaian teori gelombang tersebut. Perbandingan antara berbagai teori gelombang dilakukan baik secara teori maupun eksperimen (Sarpkaya, 1981).

Dalam pemilihan teori gelombang dapat mempergunakan diagram *Region of Validity of Wave Theories*, seperti dalam gambar 3.2.

1. Teori Gelombang Linier

Teori ini sering disebut sebagai teori *Airy* atau teori gelombang *Sinusoidal*, dimana dalam pemilihan teori ini didasarkan pada asumsi bahwa tinggi gelombang lebih kecil dibandingkan dengan panjang gelombang atau kedalaman air.

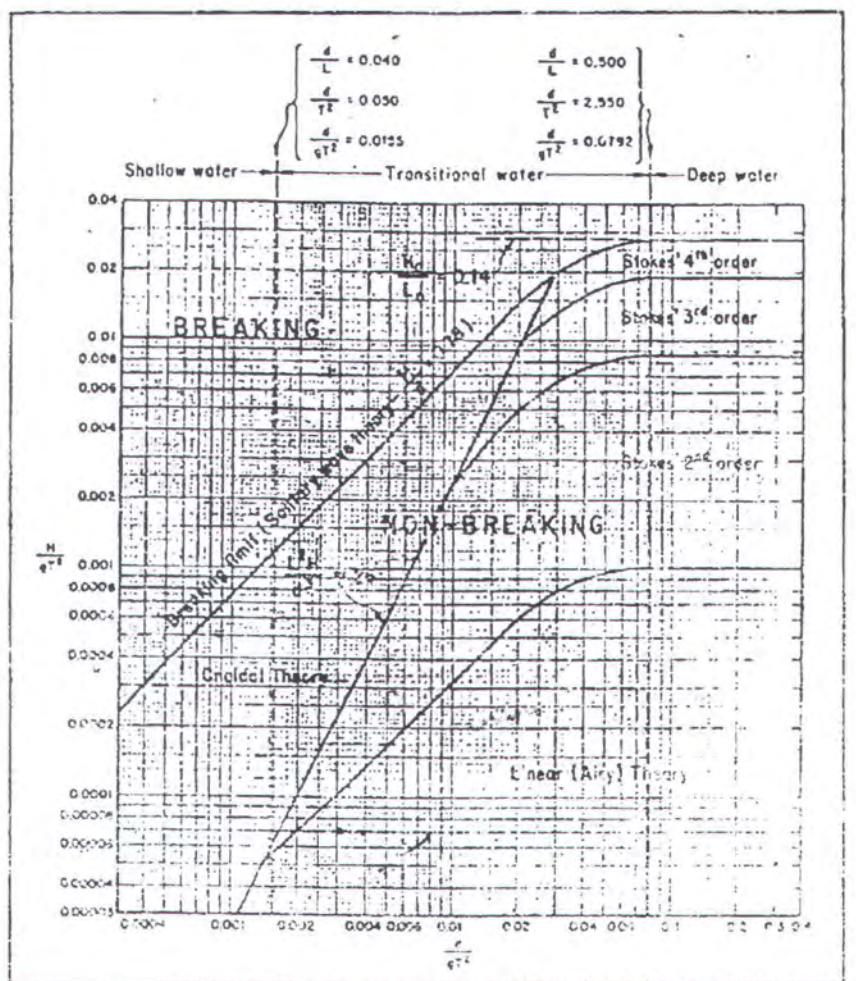
Kesulitan pada kondisi batas permukaan bebas adalah nonlinier dan kondisi batas tersebut *prescribed* pada permukaan bebas $z = \eta$ yang tidak diketahui, untuk pergerakan gelombang dua dimensi, dapat diselesaikan dengan sederhana dan pendekatan paling dasar dengan mencari penyelesaian linier dari masalah tersebut dengan membuat tinggi gelombang, H , menjadi lebih kecil daripada panjang gelombang, L , dan kedalaman air, d , sehingga $H \ll L, d$ (Triatmodjo, 1999).

TUGAS AKHIR

Dimana kecepatan dan percepatan horizontal partikel air dinyatakan dalam persamaan 2.16 dan persamaan 2.17

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh(ks)}{\sinh(kd)} \cos \theta \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\cosh(ks)}{\sinh(kd)} \sin \theta \quad (2.17)$$



Gambar 2.2. Diagram validitas teori gelombang (Mouselli, 1981)

TUGAS AKHIR

2. Teori Gelombang Cnoidal

Penggunaan secara luas teori gelombang Cnoidal banyak dipakai untuk pendekatan gelombang orde pertama, tetapi dapat dijelaskan sebagai *finite height wave* pada perairan dangkal. Gelombang Cnoidal adalah gelombang periodik yang biasanya mempunyai puncak tajam yang dipisahkan oleh lembah yang cukup panjang. Teori gelombang ini akan berlaku untuk batas daerah d/L antara $1/50 < d/L < 1/8$ (Hallam M.G., 1978) dan parameter $Ursell, U_R > 26$. Teori gelombang Cnoidal disajikan dalam bentuk suku-suku parameter k^2 dan parameter $Ursell, U_R = L^2 H/d^3$. k^2 adalah parameter yang berhubungan dengan panjang gelombang, tinggi gelombang dan kedalaman perairan, dengan harga bervariasi dari 0, untuk gelombang amplitudo kecil atau gelombang linier, dan 1 untuk gelombang *solitary* (Triatmodjo, 1999). Dari harga U_R yang diketahui besar kecepatan partikel air maksimum akibat gelombang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.18.

$$U_{\max} = c \left[\frac{\eta_{\max}}{d} - \left(\frac{\eta_{\max}}{d} \right)^2 - 4 \left(\frac{1}{3} - \left(\frac{y+d}{d} \right)^2 \right) \frac{HK^2}{gT^2} \right] \quad (2.18)$$

$$\eta_{\max} = H \left(\frac{1}{m} \left(1 - \frac{E}{K} \right) - 1 \right) + H \quad (2.19)$$

$$c = \frac{L}{T} \quad (2.20)$$

Dengan nilai E, K dan m diperoleh melalui tabel *Cnoidal wave function* dimana nilai variabel-variabel tersebut merupakan fungsi dari Ursel number, U_R (Hallam M.G., 1978).

TUGAS AKHIR

3. Teori Stokes Orde Dua

Teori Gelombang *Stoke* Orde Dua dapat diterapkan secara benar umumnya untuk kondisi $H/d \ll (kd)^2$ untuk $kd < 1$ dan $H/L \ll 1$, kondisi tersebut berada pada tinggi gelombang yang besar pada laut dangkal. Hasil dari teori gelombang *Stoke* Orde Dua diberikan dalam tabel 3.2.

Tabel 3.2 : Hasil Teori Gelombang *Stoke* Orde Dua (Sarpkaya, 1981)

<i>Velocity Potential</i>	$\phi = \frac{\pi H}{kT} \frac{\cosh(ks)}{\sinh(kd)} \sin \theta + \frac{3}{8} \frac{\pi H}{kT} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh(2ks)}{\sinh^4(kd)} \sin 2\theta$
<i>Horisontal partikel Velocity</i>	$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh(ks)}{\sinh(kd)} \cos \theta + \frac{3}{4} \frac{\pi H}{T} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh(2ks)}{\sinh^4(kd)} \cos 2\theta$
<i>Horizontal Partikel Acceleration</i>	$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{2\pi^2 H}{T^2} \frac{\cosh(ks)}{\sinh^4(kd)} \sin \theta + \frac{3\pi^2 H}{T^2} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh(2ks)}{\sinh(kd)} \sin 2\theta$

2.1.5 Gaya Berat

Pada umumnya pipa bawah laut dilapisi dengan beton, dimana fungsi dari lapisan ini sebagai lapisan pelindung untuk menghindari korosi dan juga sebagai pemberat agar pipa tidak bergeser akibat pengaruh gaya hidrodinamis. Adapun besarnya gaya berat pipa bawah laut dipengaruhi oleh material pipa yang dipergunakan, lapisan pelindung, fluida yang berada didalamnya (untuk kondisi hidrotesting) dan masih banyak lagi, seperti dijabarkan dalam persamaan 2.21 sampai persamaan 2.28 (Mouselli, 1981).

TUGAS AKHIR

$$M_p = \rho_p \cdot 0,25 \pi (D_0^2 - (D_0 - 2t_p)^2) \quad (2.21)$$

$$M_{ac} = \rho_{ac} \cdot 0,25 \pi ((D_0 + 2t_{ac})^2 - D_0^2) \quad (2.22)$$

$$M_c = \rho_c \cdot 0,25 \pi ((D_0 + 2t_{ac} + 2t_c)^2 - (D_0 - 2t_{ac})^2) \quad (2.23)$$

$$M_f = \rho_{sw} \cdot 0,25 \pi D_0^2 \quad (2.24)$$

$$M_a = M_p + M_{ac} + M_c + M_f \quad (2.25)$$

$$W_a = M_a \cdot g \quad (2.26)$$

$$F_b = \rho_{sw} V_{tot} \cdot g \quad (2.27)$$

$$W_s = W_a - F_b \quad (2.28)$$

Dengan :

M_p : Massa Pipa, kg/m

M_{ac} : Massa anti korosi, kg/m

M_c : Massa Lapisan beton, kg/m

M_f : Massa fluida dalam pipa, kg/m

M_a : Massa pipa di udara, kg/m

D_0 : Diameter luar baja pipa, m

D_i : Diameter dalam baja pipa, m

t_{ac} : Tebal anti korosi, m

t_c : Tebal beton pemberat, m

ρ_F : Densitas fluida, kg/m³

ρ_c : Densitas beton, kg/m³

W_a : Berat pipa diudara, N/m

TUGAS AKHIR

F_b : Bouyancy, N/m

W_s : Berat pipa dalam air, N/m

Sedangkan distribusi berat pipa persatuan panjang (W) diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.29.

$$W = (W_s^2 + (F_D + F_I)^2)^{1/2} \quad (2.29)$$

2.2 Konsep Analisa Keandalan

Struktur yang dioperasikan pada lingkungan tertentu akan mengalami pembebanan dari lingkungan dimana struktur tersebut berada. Beban lingkungan yang mengenai struktur pada kenyataannya merupakan suatu besaran yang mempunyai harga *stokastik*, yaitu suatu harga yang secara statistik mempunyai distribusi tertentu. Harga *stokastik* ini timbul karena adanya faktor-faktor ketidakpastian pada struktur atau beban luar yang berhubungan langsung dengan struktur. Untuk mengantisipasi persoalan tersebut diperlukan suatu konsep keandalan yang memadai.

Pengertian dari keandalan merupakan peluang suatu sistem/unit/komponen untuk berfungsi tanpa mengalami kegagalan selama periode waktu tertentu dan dalam lingkungan tertentu, apabila dioperasikan dengan benar. Peralatan yang andal adalah peralatan yang memenuhi spesifikasi perancangan dan memiliki kinerja yang bebas gangguan dalam lingkungan yang dikehendaki. Dalam arti

TUGAS AKHIR

sempit, keandalan merupakan peluang suatu sistem untuk tidak mencapai keadaan margin atau keselamatan dari suatu fungsi kerja yang memuat dua atau lebih moda kegagalan yang telah ditentukan

2.2.1 Konsep Peluang

Pemahaman teori peluang diperlukan dalam menarik kesimpulan dan inversi dari percobaan yang mengandung ketidakpastian agar diperoleh hasil yang cukup tepat (Walpole dan Myers, 1995). Teori matematika peluang untuk ruang sampel berhingga menetapkan suatu himpunan bilangan yang dinamakan bobot, berharga dari nol sampai satu, sehingga kemungkinan terjadinya suatu kejadian yang berasal dari suatu percobaan statistika dapat dihitung. Untuk tiap titik pada ruang sampel dikaitkan suatu bobot sedemikian rupa, sehingga jumlah semua bobot sama dengan satu. Suatu titik sampel yang tertentu kemungkinan besar akan terjadi, maka bobotnya akan mendekati satu, dan sebaliknya bobot yang hampir nol diberikan pada titik sampel yang kecil sekali kemungkinannya akan terjadi.

Penerapan konsep peluang pada kehidupan nyata dapat dibedakan dalam tiga dasar pemikiran , yaitu :

1. Peluang yang diperoleh dari hasil observasi kejadian serupa atau percobaan sebelumnya.

TUGAS AKHIR

2. Peluang yang memenuhi aksioma-aksioma tertentu dan dengan alasan deduktif dari peluang suatu kejadian untuk menentukan peluang kejadian lainnya.
3. Prediksi fisis berdasarkan bilangan-bilangan peluang berdasarkan kejadian sampel untuk menentukan kemungkinan suatu kejadian.

Dengan banyak sistem, tiap pilihan sampel dari kumpulan semesta, peluang dapat juga ditentukan dari statistik kejadian yang pernah terjadi. Dalam menentukan peluang dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu (O'connor,1991) :

1. Jika kejadian dapat terjadi dalam N cara yang sama dan kejadian A dapat terjadi dalam n cara, maka peluang kejadian A dapat dinyatakan seperti dalam persamaan 2.30.

$$P(A) = \left(\frac{n}{N} \right) \quad (2.30)$$

2. Jika dalam percobaan, kejadian A terjadi n kali dalam N percobaan, sedangkan jumlah N sangat besar, maka peluang kejadian A dapat dinyatakan seperti dalam persamaan 2.31.

$$P(A) = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{N} \right) \quad (2.31)$$

Dari definisi keandalan, keandalan merupakan peluang suatu sistem/unit/komponen akan berfungsi dengan baik selama periode waktu, t, hal ini dapat dinyatakan dalam hubungan matematik dengan variable acak menerus T,

TUGAS AKHIR

yaitu waktu sistem/unit/komponen untuk gagal, sehingga keandalan dapat dinyatakan seperti dalam persamaan 2.32.

$$R(t) = \Pr(T \geq t) \quad (2.32)$$

Dengan $R(t) \geq 0$, $R(0) = 1$ dan $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$. Untuk harga t , $R(t)$ merupakan peluang peluang sistem/unit/komponen keandalan tersebut yang besarnya dapat dinyatakan dalam persamaan 2.33.

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (2.33)$$

2.2.2 Konsep Ketidakpastian

Pemakaian konsep analisa keandalan yang didasarkan pada metode peluang telah berkembang dan semakin penting perannya, terutama untuk pemecahan masalah-masalah dalam perancangan praktis. Salah satu penyebab kecenderungan tersebut karena adanya kerusakan yang terjadi pada sistem rekayasa.

Perancangan struktur dengan menggunakan analisa peluang dilakukan karena struktur akan mengalami resiko kegagalan. Resiko yang diterima oleh struktur ini akan mempengaruhi keselamatan dan unjuk kerja dari struktur tersebut. Analisa keandalan struktur menitikberatkan pada perlakuan dan pemilihan ketidakpastian secara rasional dan juga menyangkut masalah pengambilan keputusan yang rasional.

TUGAS AKHIR

Untuk menghitung ketidakpastian pada struktur dengan analisa pendekatan terlebih dahulu perlu didefinisikan perubah acak dasar. Perubah dasar adalah besaran dasar dengan sifat-sifat peluang. Dalam analisa keandalan, ketidakpastian tersebut dibagi menjadi tiga bagian (Thoft-Christensen , 1986):

1. Ketidakpastian fisik.

Merupakan ketidakpastian yang berhubungan dengan variabilitas fisik, seperti besaran-besaran beban, sifat dan dimensi material. Keragaman fisik ini hanya bisa dinyatakan dalam data sampel dengan pertimbangan praktis dapat dikendalikan dengan penerapan teknik pengendalian mutu atau operasi.

2. Ketidakpastian statistik.

Merupakan ketidakpastian yang berhubungan dengan data yang dipakai untuk membuat model melalui peluang dari berbagai macam keragaman fisik diatas, seperti rentang, harga rata-rata maupun simpangan baku, dan harus ditentukan jenis distribusi peluangnya serta harga parameter-parameternya. Ketidakpastian ini dapat dikendalikan dengan memperbesar sampel besar.

3. Ketidakpastian model

Merupakan ketidakpastian yang ditimbulkan oleh hubungan antara berbagai besaran dalam sebuah gejala yang umumnya dapat dipahami melalui sebuah model tertentu yang bisa dianggap mewakili gejala tersebut. Dalam menyusun model hubungan ini dipakai berbagai anggapan yang dapat dinyatakan



secara implisit pada umumnya merupakan penyederhanaan dari interaksi yang sebenarnya terjadi dalam gejala tadi.

2.2.3 Peubah Acak

Peubah acak merupakan suatu fungsi yang harganya ditentukan oleh setiap anggota dalam ruang sampel tersebut. Suatu peubah acak akan dinyatakan dengan huruf besar, misalnya X , sedangkan harganya dinyatakan dengan huruf kecil yang berpadanan, misalnya x . dalam statistik perubah acak dapat dibedakan menjadi dua (Walpole dan Myers, 1995) :

1. Peubah acak diskret

Merupakan suatu ruang sampel yang mengandung titik yang berhingga banyaknya atau suatu deretan anggota yang banyaknya sama dengan banyaknya bilangan bulat, maka ruang sampel itu disebut diskret dan peubah yang didefinisikan pada ruang sampel tersebut adalah peubah acak diskret. Peubah acak menggambarkan data cacah seperti banyaknya barang yang cacat dalam sampel sebesar k .

2. Peubah acak kontinyu

Bila ruang sampel mengandung titik sampel yang tak berhingga banyaknya dan sama banyaknya dengan banyaknya titik pada sepotong garis, maka ruang sampel tersebut disebut ruang sampel kontinyu dan peubah acak yang didefinisikan diatasnya disebut sebagai peubah acak kontinyu. Dalam

TUGAS AKHIR

kebanyakan persoalan praktis, peubah acak kontinyu menyatakan data yang diukur, seperti semua tinggi, berat, temperatur, jarak dan masih banyak lagi.

2.2.4 Beberapa Distribusi Kontinyu Penting

1. Distribusi Normal

Distribusi normal merupakan distribusi peluang kontinyu terpenting dalam seluruh bidang statistika (Walpole dan Myers, 1995). Persamaan matematika distribusi peluang peubah normal kontinyu bergantung pada dua parameter μ dan σ , yaitu rataan dan simpangan baku. Fungsi densitas distribusi normal dapat dinyatakan seperti dalam persamaan 2.34.

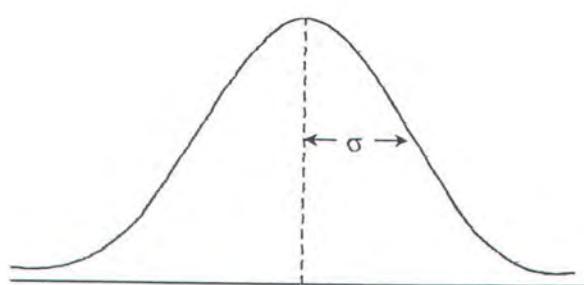
$$N(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(1/2)[(x-\mu)/\sigma]^2}, \quad -\infty < x < \infty \quad (2.34)$$

Dengan :

x : nilai peubah acak

μ : nilai rataan

σ : nilai standart deviasi



Gambar 2.3 Kurva Normal (Hines dan Montgomery, 1990)

TUGAS AKHIR

Distribusi normal memiliki beberapa sifat penting (Hines dan Montgomery, 1990), diantaranya :

- $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$
- $f(x) \geq 0$ untuk seluruh nilai x
- $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0$ dan $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = 0$
- $f[(x + \mu)] = f[-(x - \mu)]$ densitas ini simetri disekitar μ
- Nilai maksimum dari f terjadi pada $x = \mu$
- Titik perubah dari f adalah pada $x = \mu \pm \sigma$

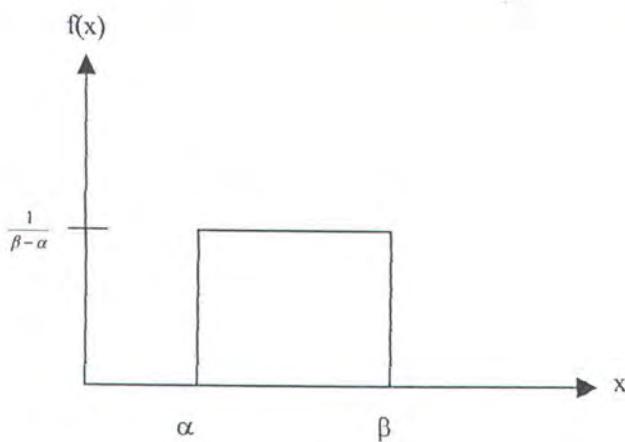
2. Distribusi Uniform

Fungsi densitas distribusi uniform dapat didefinisikan seperti dalam persamaan 2.35.

$$f(x) = \frac{1}{\beta - \alpha} \quad \alpha \leq x \leq \beta \quad (2.35)$$

Dengan:

α dan β : konstanta riil $\alpha < \beta$



Gambar 2.4 Sebuah densitas uniform (Hines dan Montgomery, 1990)

Sebuah variabel acak berdistribusi uniform mempunyai fungsi densitas peluang yang konstan sepanjang beberapa interval dari definisi. Konstanta harus timbal balik dari panjang interval agar memenuhi persyaratan fungsi densitas uniform adalah satu. Besarnya rataan dan varian dari distribusi uniform dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.36 dan 2.37.

$$E(X) = \int_{\alpha}^{\beta} \frac{x dx}{\beta - \alpha} = \frac{1}{2(\beta - \alpha)} x^2 \Big|_{\alpha}^{\beta} = \frac{\beta + \alpha}{2} \quad (2.36)$$

$$V(X) = \int_{\alpha}^{\beta} \frac{x^2 dx}{\beta - \alpha} - \left[\frac{\beta + \alpha}{2} \right]^2 = \frac{(\beta + \alpha)^2}{12} \quad (2.37)$$

3. Distribusi Beta

Model distribusi beta dari variabel acak, harga yang digunakan dalam interval 0 sampai 1. Fungsi densitas distribusi beta dapat didefinisikan seperti dalam persamaan 2.38.

TUGAS AKHIR

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1}, \quad 0 < x < 1, \alpha > 0, \beta > 0 \quad (2.38)$$

$$B(\alpha, \beta) = \int_0^1 x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} dx = \frac{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)}{\Gamma(\alpha+\beta)}$$

Dengan :

α dan β : konstanta riil $\alpha < \beta$

x : nilai variabel acak

Besarnya rataan dan varian dari distribusi beta dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.39 dan 2.40.

$$E(X) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \quad (2.39)$$

$$\text{Var}(X) = E(X^2) - [E(X)]^2 = \frac{\alpha\beta}{(\alpha + \beta)^2(\alpha + \beta - 1)} \quad (2.40)$$

4. Distribusi Gamma

Sebuah fungsi yang digunakan di dalam definisi distribusi gamma adalah fungsi gamma yang dapat didefinisikan seperti dalam persamaan 2.41.

$$\Gamma(n) = \int_0^\infty x^{n-1} e^{-x} dx, \quad n > 0 \quad (2.41)$$

dengan menggunakan fungsi gamma dapat diketahui distribusi peluang gamma seperti pada persamaan 2.42.

$$f(x) = \frac{\lambda}{\Gamma(r)} (\lambda x)^{r-1} e^{-\lambda x}, \quad x > 0 \quad (2.42)$$

Dengan :

r : parameter bentuk

TUGAS AKHIR

λ : parameter skala

Ada sebuah hubungan antara distribusi eksponensial dengan distribusi gamma, dimana jika $\tau = 1$, distribusi gamma diturunkan menjadi distribusi eksponensial. Besarnya rataan dan varian dari distribusi gamma dapat dinyatakan seperti dalam persamaan 2.43 dan 2.44.

$$E(X) = \tau/\lambda \quad (2.43)$$

$$\text{Var}(X) = \tau/\lambda^2 \quad (2.44)$$

5. Distribusi Lognormal

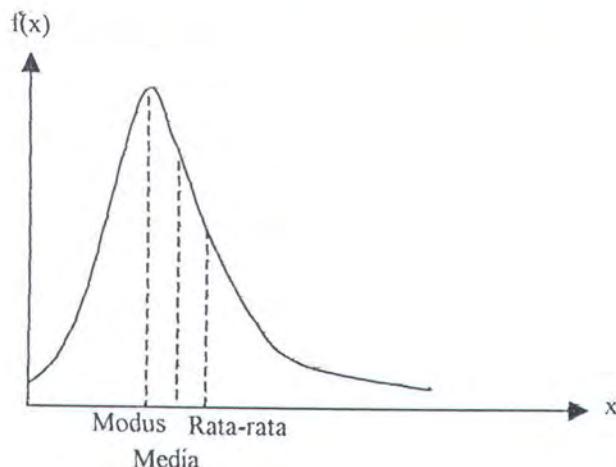
Distribusi lognormal dalam bentuk sederhana adalah fungsi densitas sebuah variabel yang logaritmanya mengikuti hukum distribusi normal. Dimana fungsi densitas dari distribusi lognormal dapat dinyatakan dalam persamaan 2.45.

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_r \sqrt{2\pi}} e^{-(1/2)[(\log x - \mu_r)/\sigma_r]^2}, \quad x > 0 \quad (2.45)$$

Dengan :

μ_y : logmean

σ_y : logstandar-deviasi



Gambar 2.5 Fungsi densitas lognormal (Hines dan Montgomery, 1990)

Besarnya rata-rata dan varian dari distribusi lognormal dapat dinyatakan dalam persamaan 2.46 dan 2.47.

$$E(X) = e^{\mu_r + (1/2)\sigma_r^2} \quad (2.46)$$

$$\text{Var}(X) = e^{2\mu_r + \sigma_r^2} (e^{\sigma_r^2} - 1) \quad (2.47)$$

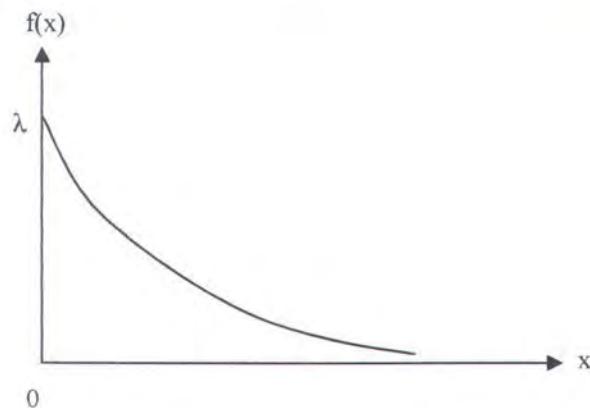
6. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial mempunyai densitas yang dapat didefinisikan seperti dalam persamaan 2.48.

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad x \geq 0 \quad (2.48)$$

Dengan :

λ : sebuah bilangan riil, konstanta positif.



Gambar 2.6 Fungsi densitas eksponensial (Hines dan Montgomery, 1990)

Besarnya rata-rata dan varian dari distribusi eksponensial dapat dinyatakan dalam persamaan 2.49 dan 2.50.

$$E(X) = \int_0^{\infty} x \lambda e^{-\lambda x} dx = 1/\lambda \quad (2.49)$$

$$\text{Var}(X) = \int_0^{\infty} x^2 \lambda e^{-\lambda x} dx - (1/\lambda)^2 = 1/\lambda^2 \quad (2.50)$$

2.2.5 Pengujian Untuk Kecocokan Pemilihan Parameter Distribusi (*Goodness-of-Fit Test*)

Pemilihan parameter distribusi dari sampel dapat dilakukan dengan menggunakan pengujian hipotesis, prosedur tes pengujian berhubungan dengan parameter distribusi dan sangat penting untuk menyatakan bentuk dari distribusi peluang. Dimana ada dua tipe pengujian pemilihan distribusi (*Goodness-of-Fit Test*), dimana sangat berguna untuk memilih jenis ditribusi peluang.

TUGAS AKHIR

1. Chi-Squared Goodness-of-Fit Test

Dalam menentukan jenis distribusi dan parameter dari variabel X mengikuti distribusi tertentu, dapat dilakukan dengan melakukan uji hipotesis atas distribusi yang kita perkirakan, satu prosedur untuk menguji hipotesis jenis ini disebut pengujian *kecocokan Chi-Square*. Prosedur pengujian ini terdiri atas sebuah sampel random yang terdiri atas sebuah sampel random yang besarnya n dari variabel random X, yang fungsi densitas probabilitanya tidak diketahui. N observasi disusun dalam sebuah frekuensi histogram, yang mempunyai interval kelas k. kita menghitung harapan frekuensi dalam interval kelas ke-I dari hipotesis distribusi probabilita yang dinyatakan dengan E_i . Pengujian statistiknya dapat dinyatakan persamaan 2.34 :

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.51)$$

Dengan :

O_i : Frekuensi pengamatan dalam interval kelas ke-i.

E_i : Harapan frekuensi dalam interval kelas ke-i.

Statistik tersebut dapat ditunjukkan bahwa pendekatan χ_0^2 mengikuti distribusi *chi-kuadrat* dengan derajad kebebasan $k-p-1$ di mana p menyatakan jumlah parameter penghipotesisan distribusi yang diperkirakan statistik sampel. Perkiraan ini akan menjadi baik bila n bertambah. Kita dapat menolak hipotesis bahwa X sama untuk distribusi hipotesis jika $\chi_0^2 > \chi^2_{\alpha, k-p-1}$

TUGAS AKHIR

Metode grafik juga berguna bila sebuah pemilihan distribusi probabilita untuk menyusun data. Plot probabilita adalah sebuah metode secara grafik untuk menentukan apakah data sesuai dengan distribusi hipotesis yang mendasarkan pada pengujian data. Plot probabilita membutuhkan kertas grafik, kertas probabilita, yang telah dirancang untuk menghipotesiskan distribusi. Untuk membentuk sebuah plot probabilita, observasi dalam sampel pertama-tama disusun dari yang paling kecil sampai yang paling besar, $X_{(j)}$, yang kemudian digambarkan terhadap frekuensi kumulatif observasi $(j-0.5)/n$ pada kertas probabilita yang sesuai. Apabila distribusi hipotesis cocok dengan gambaran data, plot titik akan jatuh sepanjang sebuah garis lurus, dan jika titik tersebut menyimpang secara berarti maka model hipotesis tidak tepat. Penentuan apakah plot data merupakan garis lurus atau tidak adalah bersifat subyektif.

2. Kolmogorov-Smirnov Goodness-of-Fit Test

Pengujian tipe ini merupakan sebuah tes non-paramtrik yang lebih cenderung mengacu pada harga *cdf* daripada *pdf* dari suatu variabel kontinyu. Pengujian ini tidak bisa diterapkan untuk variabel diskrit. Tes statistik untuk uji ini merupakan jarak vertikal maksimum antara *cdf* yang hasil perhitungan empiris maupun hipotesa. Untuk suatu variabel kontinyu X. misalnya $x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n)}$ melambangkan nilai statistik dari sejumlah sampel n, yang nilainya berurutan bertambah. Fungsi distribusi empiris $F_{(n)}(x)$ merupakan suatu fungsi tangga. Hal ini menyebabkan proporsi nilainya bukan merupakan x, yang dapat didefinisikan seperti pada persamaan 2.52a, 2.52b, 2.52c.

TUGAS AKHIR

$$F_n(n) = 0 \quad \text{untuk } x < x_{(j)} \quad (2.52a)$$

$$= k/n \quad \text{untuk } x_{(k)} \leq x \leq x_{(k+1)} \quad (2.52b)$$

$$= 1 \quad \text{untuk } x \geq x_{(n)} \quad (2.52c)$$

Misal, $F_0(x)$ adalah suatu *cdf* variabel kontinyu yang spesifikasi teoritisnya lengkap. Hipotesa *null*, H_0 , *cdf* sebenarnya dari X adalah sama artinya dengan $F_0(x)$, yang dinyatakan dalam persamaan 2.53.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \Pr[F_n(x) - F_0(x)] = 1 \quad (2.53)$$

Kriteria dari pengujian ini adalah perbedaan absolut maksimum antara $F_n(n)$ dan $F_0(x)$, yang didefinisikan dalam persamaan 2.54.

$$D_n = \sup_x \Pr[F_n(x) - F_0(x)] \quad (2.54)$$

Persamaan 2.54 untuk mengukur deviasi dengan tes dua sisi yang umumnya digunakan. Jika suatu alasan pengujian satu sisi diperlukan, maka $F_n(n) > F_0(x)$, maka persamaan 2.54 dapat diubah menjadi persamaan 2.55.

$$D_n^+ = \sup_x \Pr[F_n(x) - F_0(x)] \quad (2.55)$$

Dapat juga dinyatakan sebagai D_n^- . salah satu keuntungan dari pengujian tipe ini yaitu distribusi dari uji statistik tersebut bebas. Untuk nilai n yang besar, pendekatan distribusi dapat dinyatakan sebagai $\bar{n}D_n$, yang dapat didefinisikan :

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \Pr(\sqrt{n}D_n \leq z) = (\sqrt{2\pi/z}) \sum_{k=1}^{\infty} \exp[-(2k-1)^2 \pi^2 / 8z^2] \quad (2.56)$$

Kemudian dapat dihitung bahwa besarnya nilai kritis $D_{n,\alpha}$, untuk jumlah sampel yang besar, $n > 35$ adalah $1,3581/\sqrt{n}$ untuk $\alpha = 0.05$ dan 0.01 , dimana harga

TUGAS AKHIR

peluangnya 0.95 dan 0.99. sedangkan untuk jumlah sampel yang kecil, nilai kritis $D_{n,\alpha}$ dapat diperoleh dengan menggunakan tabel harga $D_{n,\alpha}$ untuk *Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit test* (Kotegoda, 1997). Pengujian ini diterapkan dengan asumsi bahwa $F_0(X)$ menyatakan suatu cdf kontinyu dengan spesifikasi teoritis lengkap / parameter.

2.3 Fungsi Kinerja

Fungsi kinerja sistem merupakan fungsi yang dapat menyatakan moda kegagalan yang hendak dihindari atau diperkirakan peluangnya dalam peubah-peubah (X) yang mengatur moda kegagalan tersebut. Dari beberapa peubah tersebut tidak semua wajar disebut sebagai peubah acak, tetapi hanya beberapa peubah-peubah tersebut yang memiliki ketidakpastian yang besar sehingga lebih wajar jika diperlakukan sebagai peubah acak dengan fungsi kerapatan peluang *fkp* tertentu. Dan selanjutnya peubah-peubah ini selanjutnya disebut sebagai peubah dasar dalam fungsi kinerja.

$$FK(X) = FK(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2.57)$$

Kasus paling sederhana jika fungsi kinerja merupakan fungsi linier dalam (X), seperti dalam persamaan 2.58.

$$FK(X) = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n \quad (2.58)$$

Dengan :

a_i : Konstanta , $i = 1, 2, 3, \dots, n$

X_i : Peubah dasar dengan *fkp* normal gaussian, $i = 1, 2, 3, \dots, n$

TUGAS AKHIR

Apabila X_i tidak memiliki korelasi, maka FK (X) akan juga normal gaussian, dengan harga rata-rata dan varian seperti dinyatakan dalam persamaan 2.59 dan persamaan 2.60.

$$\mu_{FK} = a_0 + a_1 \mu_{X_1} + a_2 \mu_{X_2} + \dots + a_n \mu_{X_n} \quad (2.59)$$

$$\sigma^2_{FK} = a_0 + a_1 \sigma^2_{X_1} + a_2 \sigma^2_{X_2} + \dots + a_n \sigma^2_{X_n} \quad (2.60)$$

Dengan :

μ_{X_i} : Harga rata-rata X_i

σ_{X_i} : Simpangan baku X_i .

Selanjutnya, didefinisikan indeks keandalan β seperti persamaan 2.61.

$$\beta = \frac{\mu_{FK}}{\sigma_{FK}} \quad (2.61)$$

Dan peluang kegagalan dari sistem dapat diperoleh dengan persamaan 2.62.

$$K = \phi(\beta) \quad (2.62)$$

Untuk fungsi kinerja non-linier, maka FK(X) dapat dilinierkan, dengan menggunakan ekspansi Taylor, FK(X) yang dilinierkan pada sebuah titik X_0 memperoleh bentuk

$$FK(X) = FK(X_0) + \sum_{i=0}^n \frac{\delta FK}{\delta x_i} (X_i - X_0) \quad (2.63)$$

TUGAS AKHIR

Untuk turunan-turunan parsial dihitung pada titik ekspansi X_0 . harga pendekatan untuk μ_{FK} dan σ^2_{FK} dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.64 dan persamaan 2.65.

$$\mu_{FK} = FK(X_0) + \sum_{i=0}^n \frac{\delta FK}{\delta X_i} (\mu_{x_i} - X_0) \quad (2.64)$$

$$\sigma^2_{FK} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\delta FK}{\delta x_i} Cov[X_i, X_j] \quad (2.65)$$

2.4 Teknik Analisa Keandalan

2.4.1 Metode Perkiraan Titik

Seperti metode deret *Taylor*, metode Perkiraan Titik memberikan perkiraan fungsi momen variable acak dari variable dasar tanpa memerlukan spesifikasi hubungan distribusi peluang diantara variable-variabel tersebut. Hal ini memberikan kemungkinan untuk melakukan perhitungan masalah keandalan dengan menggunakan metode ini, tanpa memerlukan turunan fungsi kondisi batasnya. Metode ini sangat menguntungkan karena kesulitan atau ketidakmungkinan dalam menghitung turunan fungsi, ketika suatu syarat batas diberikan sebagai fungsi eksplisit atau dalam bentuk grafik atau penyelesaian elemen hingga. Jika $Z=g(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_m)$ yang melambangkan variable acak Z sebagai fungsi m peubah acak $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_m$, dapat kita peroleh 2^m Perkiraan Titik Z, z_k , dengan $k = 1, \dots, 2^m$, maka akan diperoleh suatu Pendekatan Titik yang dinyatakan seperti persamaan 2.66.

$$z_k = g(\mu_1 + \eta_{1k}\sigma_1, \mu_2 + \eta_{2k}\sigma_2, \dots, \mu_m + \eta_{mk}\sigma_m) \quad (2.66)$$

TUGAS AKHIR

Dengan :

μ_i : Nilai rata-rata dari X_i

σ_i : Standar deviasi dari X_i

η_{ik} : Koefisien dengan nilai 1 dan -1 yang memenuhi

$$k = 1 + \sum_{i=1}^m 2^{i-2} (1 + \eta_{ik}) \quad (2.67)$$

Sebagai contoh jika $Z = g(X_1)$ maka akan diperoleh dua Perkiraan Titik, untuk empat Perkiraan Titik diperoleh untuk $Z = g(X_1, X_2)$ dan seterusnya. Momen dari Z diperkirakan seperti dalam persamaan 2.68.

$$\hat{E}[Z^r] = \sum_{k=1}^{2^m} \pi_k z_k^r \quad (2.68)$$

Dengan :

π_k : Nilai π untuk Perkiraan Titik ke-k.

Besar nilai π dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.69.

$$\pi_k = 2^{-m} \quad (2.69)$$

Untuk beberapa k , jika variable acak X_i mempunyai hubungan yang saling bebas maka nilai π_k dihitung dengan menggunakan persamaan 2.70.

$$\pi_k = 2^{-m} \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m \eta_{ik} \eta_{jk} \rho_{ij} \quad (2.70)$$

Untuk hubungan X_i , dimana ρ_{ij} melambangkan koefisien hubungan antara X_i dan X_j . Sebagai catatan metode ini juga dapat diaplikasikan ketika harga

TUGAS AKHIR

$g(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_m)$ bukan merupakan fungsi eksplisit X_i , tetapi harga dari fungsi tersebut dihitung secara perhitungan numerik. Untuk fungsi dengan satu random variable, $Z = g(X_1)$, $\eta_{11} = +1$ dan $\eta_{12} = -1$, sehingga $z_1 = g(\mu_1 + \sigma_1)$ dan $z_2 = g(\mu_1 - \sigma_1)$. Dimana $\pi_1 = \pi_2 = \frac{1}{2}$

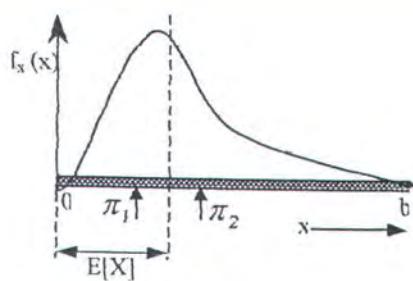
$$\hat{E}[Z] = \sum_{k=1}^2 \pi_k z_k = 0,5(z_1 + z_2) \quad (2.71)$$

$$\begin{aligned} \text{Var}[Z] &= \hat{E}[Z^2] - \hat{E}^2[Z] = \sum_{k=1}^2 \pi_k z_k - 0,25(z_1 + z_2)^2 \\ &= 0,5(z_1^2 + z_2^2) - 0,25(z_1 + z_2)^2 \quad (2.72) \\ &= 0,25((z_1^2 - 2z_1 z_2 + z_2^2)) \end{aligned}$$

Dalam kasus satu dimensi, pengertian dari metode ini dapat dianalogikan mendekati pembuktian antara fungsi kerapatan peluang dan distribusi beban vertikal pada tumpuan dari balok kaku horizontal. Nilai yang diharapkan adalah analog dengan beban terpusat dan standar deviasi memberikan informasi mengenai kecenderungan yang terpusat dan variasi sebaran.

Informasi ini mengutip dari analogi balok dengan balok kaku dengan panjang b , seperti terlihat pada gambar, dengan reaksi π_1 yang bekerja pada x_1 dan π_2 yang bekerja pada x_2 .

$$\pi_1 + \pi_2 = \int_0^b f_x(x) dx = 1 \quad (2.73)$$



Gambar 2.7. Analogi balok dengan Perkiraan Titik (Kotegoda dan Rosso, 1997)

Reaksi π_1 dan π_2 disebut sebagai distribusi perkiraan dua titik $f_x(x)$. Analogi ini menunjukkan syarat bahwa fungsi kerapatan peluang adalah simeteri. Modifikasi perhitungan berat $\pi_1 = 0,5 + \gamma_1/4$ dan $\pi_2 = 0,5 - \gamma_1/4$ untuk koefisien *skewness* γ_1 dari 1 sampai 2 dan untuk studi akurasi dari berat ini untuk variasi γ_1 dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 : Sensivitas berat Perkiraan Titik terhadap skewness (Kotegoda dan Rosso,

1997)

$-\gamma_1$	$\pi_1 = 0,5 + \gamma_1/4$	Eksak γ_1
0,00	0,50	0,5
0,25	0,56	0,56
0,50	0,62	0,62
0,75	0,69	0,68
1,00	0,75	0,72

TUGAS AKHIR

Dalam kasus bivariate, dengan $Z = g(X_1, X_2)$, $\eta_{11} = +1$, $\eta_{12} = -1$, $\eta_{13} = +1$, $\eta_{14} = -1$,

$\eta_{21} = +1$, $\eta_{22} = +1$, $\eta_{23} = -1$, $\eta_{24} = -1$. sehingga, $z_1 = g(\mu_1 + \sigma_1, \mu_2 + \sigma_2)$,

$z_2 = g(\mu_1 - \sigma_1, \mu_2 + \sigma_2)$, $z_3 = g(\mu_1 + \sigma_1, \mu_2 - \sigma_2)$, $z_4 = g(\mu_1 - \sigma_1, \mu_2 - \sigma_2)$,

$$\pi_1 = \pi_4 = (1 + \rho)/4 \quad \text{dan} \quad \pi_2 = \pi_3 = (1 - \rho)/4$$

Dengan : $\rho = \rho_{12} = \rho_{21}$ adalah koefisien korelasi antara X_1 dan X_2 .
sehingga,

$$\hat{E}[Z] = \sum_{k=1}^4 \pi_k z_k = 0,25 (1 + \pi)(z_1 + z_4) + 0,25 (1 - \rho)(z_2 + z_3) \quad (2.74)$$

dan

$$\text{Var}[Z] = 0,25 [(1 + \mu_{\pi})(z_1^2 + z_4^2) + (1 - \rho)(z_2^2 + z_3^2) - \hat{E}^2[Z]] \quad (2.75)$$

Untuk hubungan X_1 dan X_2 yang saling bebas

$$\hat{E}[Z] = \sum_{k=1}^4 \pi_k z_k = 0,25 (z_1 + z_2 + z_3 + z_4) \quad (2.76)$$

$$\text{Var}[Z] = 0,25 (z_1^2 + z_2^2 + z_3^2 + z_4^2) - 0,625 (z_1 + z_2 + z_3 + z_4)^2 \quad (2.77)$$

Untuk masalah yang multivariasi diberikan ketentuan harga η_j seperti pada tabel 3.4.

TUGAS AKHIR

Tabel 3.4 : Koefisien η_{ik} untuk metode Perkiraan Titik

(Kotegoda dan Rosso, 1997)

	i =	1	2	3	4
	$k = 1$	+1	+1	+1	+1
m = 1	2	-1	+1	+1	+1
	3	+1	-1	+1	+1
2	4	-1	-1	+1	+1
	5	+1	+1	-1	+1
3	6	-1	+1	-1	+1
	7	+1	-1	-1	+1
4	8	-1	-1	-1	+1
	9	+1	+1	+1	-1
5	10	-1	+1	+1	-1
	11	+1	-1	+1	-1
6	12	-1	-1	+1	-1
	13	+1	+1	-1	-1
7	14	-1	+1	-1	-1
	15	+1	-1	-1	-1
8	16	-1	-1	-1	-1

2.4.2 Simulasi Monte Carlo

Simulasi *Montecarlo* adalah salah satu alternatif metode yang lebih bermanfaat untuk menyelesaikan suatu analisa keandalan apabila diketahui suatu fungsi kinerja sistem, FK (X) sangat non-linier. Dalam simulasi tidak ini tidak memerlukan diferensial parsial dalam menyelesaikan suatu sistem persamaan simultan. Dalam metode ini dilakukan suatu sampling numerik dengan bantuan *random number generator* (RNG) menjadi besaran fisis yang sesuai dengan fungsi kerapatan peluangnya. RNG yang disediakan ini hampir selalu berbentuk *linear congruential generator* yang mengeluarkan suatu deret bilangan cacah I_1 , I_2 , I_3 , ..., dimana besarnya antara 0 dan $m-1$ dengan menggunakan relasi rekurens.

$$I_{j+1} = a I_j + c \pmod{m} \quad (2.78)$$

TUGAS AKHIR

Dengan :

m : modulasi

a dan c : Bilangan cacah yang berturut-turut disebut sebagai pengganda dan *inkremen*.

Relasi rekurensi tersebut akan berulang dengan periode yang lebih kecil dari m. jika m, a, c dipilih secara seksama, maka periode ulang yang akan terjadi akan memiliki panjang maksimum yaitu m. dalam hal ini, semua bilangan cacah antara 0 dan m-1 akan muncul, sehingga setiap pilihan “biji I_0 ” akan menghasilkan deret yang sama baiknya (Rosyid dan Rifai, 1996).

Dalam simulasi *Montecarlo* tidak ada batasan yang berhubungan dengan asumsi inputan parameter, seperti laju kegagalan dan perbaikan, sehingga harga yang tidak konstan dapat digunakan. Salah satu masalah yang dihadapi dalam penggunaan simulasi *Montecarlo* adalah waktu penggunaan komputer yang mahal. Karena tiap-tiap event (kegagalan, perbaikan, perpindahan dll) harus mempunyai sampel tiap unit untuk setiap waktu, menggunakan inputan distribusi, sistem simulasi cukup besar hingga mencapai hasil layak dibutuhkan periode waktu berjam-jam untuk menjalankan komputer. Juga karena hasil dari simulasi peluang variable pembangkit event, dipengaruhi simulasi variabilitas pada kenyataannya, hal ini penting untuk melakukan jumlah orde operasi untuk memperoleh hasil nilai tengah dan varians yang merupakan parameter yang penting. Disatu sisi pengaruh variasi dapat diperkirakan.

2.5 Moda Kegagalan Pipeline

Dengan mengacu pada kesetimbangan gaya-gaya yang bekerja pada pipa, dimana Untuk stabilitas lateral disyaratkan bahwa gaya gesek akibat interaksi pipa dengan tanah haruslah lebih besar dari kombinasi gaya *Drag* dan *Inertia*, minimal 10 % (DnV, 1981), maka moda kegagalan sistem pipa karena pengaruh beban hidrodinamis adalah sebagai berikut :

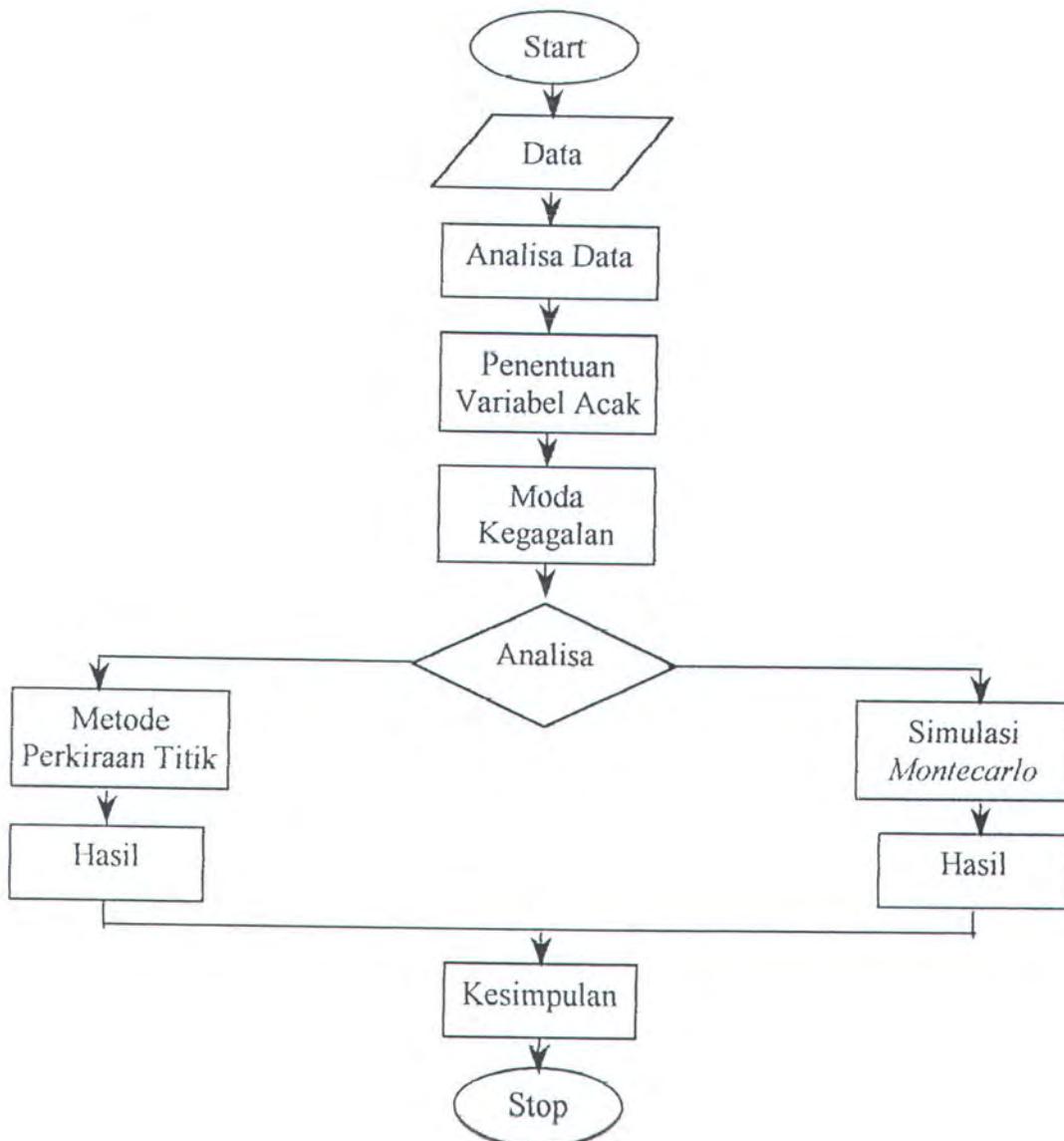
$$\begin{aligned} MK(Z) &= (W - F_L) \mu - (F_D + F_I) \\ &= (W - \frac{1}{2} \rho C_L D_T U_{eff}^2) \mu - ((\frac{1}{2} \rho C_D D_T U_{eff} |U_{eff}| + \\ &\quad \rho C_M (\frac{\pi D_T^2}{4}) (du/dt))) \end{aligned} \quad (2.79)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

Dalam analisa keandalan sistem pipa akibat beban-beban hidridinamis, sesuai dengan penulisan tugas akhir ini melalui tahap-tahap penggerjaan yang dapat dijelaskan secara skematis seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram alir langkah-langkah analisa

TUGAS AKHIR

3.1 Data

3.1.1 Data Pipa

Pipa yang sering digunakan digunakan dalam analisa adalah tipe ASTM A106 grade B yang mempunyai spesifikasi meliputi :

1. Data material properties

Data material properties pipa meliputi jenis material pipa, modulus elastisitas, moment *Inertia* dan densitas material pipa. Khusus untuk densitas material tergantung pada jenis material yang digunakan. Untuk lapisan anti korosi yang digunakan pada pipa bawah air biasanya berupa aspal batubara atau coal tar enamel (Hellíwel dalam Irfani, 2000). Analisa dilakukan dengan melakukan variasi terhadap ketebalan lapisan beton. Variasi ketebalan dilakukan hingga 6 inchi, tebal maksimum yang sering digunakan dalam industri lepas pantai.

2. Data material geometris

Data geometris material pipa meliputi diameter luar, D_0 , diameter dalam, D_i , dari pipa dan tebal baja pipa, t_p , tebal lapisan anti korosi, t_{ac} , dan tebal lapisan beton, t_c .

TUGAS AKHIR

3.1.2 Data Lingkungan

Data lingkungan yang diperlukan dalam analisa, yaitu :

1. Kedalaman perairan

Kedalaman perairan yang digunakan berdasarkan pada pembagian zone sepanjang jalur pipa dengan kedalaman yang hampir sama, yang selanjutnya digunakan dalam analisa untuk tiap-tiap zone.

2. Data kecepatan arus

Data kecepatan arus terdiri dari arus non pasang surut dan arus pasang surut, dimana inputan kecepatan akibat arus dalam analisa ini adalah kecepatan arus steady dengan arah normal terhadap pipa. Besarnya arus steady arah normal terhadap pipa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.1, dimana arah utara merupakan sumbu 0° dan pipa membentuk sudut 20° terhadap arah utara.

$$U = U_{\text{steady}} \cos \alpha \quad , \text{dengan } \alpha = (\beta - 20) \quad (3.1)$$

Hasil yang diperoleh dari persamaan 3.1 merupakan hasil yang dijadikan sebagai inputan dalam variabel acak. Untuk perhitungan stabilitas pipa kecepatan akibat arus steady pada arah normal dikoreksi untuk kedalaman 1 meter dari dasar laut dengan persamaan 2.14.

$$\frac{U}{U_0} = \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/7} \quad (3.2)$$

Kecepatan yang diperoleh selanjutnya digunakan dalam menghitung kecepatan partikel air horisontal efektif dengan persamaan 2.15b.

$$U_{\text{eff}}^2 = 0,778 U_0^2 \left(\frac{D_T}{Y_0} \right)^{0,286} \quad (3.3)$$

3. Tinggi, periode dan panjang gelombang

Data untuk variabel ini merupakan hasil peramalan dengan menggunakan kecepatan angin didaerah studi untuk bulan September – Oktober 1994, yang selanjutnya dianggap sebagai data lapangan.

3.2 Analisa Data

Analisa yang digunakan berdasarkan pada konsep-konsep dasar yang digali dari refrensi dan literature. Dalam proses analisa data dilakukan perhitungan data tinggi gelombang, periode gelombang dan panjang gelombang, yang merupakan beberapa variabel acak yang akan digunakan dalam analisa keandalan, yaitu berpengaruh didalam efek beban (Gaya *Drag* dan *Inertia*) dan efek kekuatan (Gaya *Lift*). Perhitungan data-data tersebut dilakukan karena adanya beberapa kesulitan untuk memperoleh data lapangan. Perhitungan data tinggi gelombang dan periode gelombang dilakukan dengan menggunakan peramalan dengan menggunakan data kecepatan angin dan panjang *fetch*. Disamping itu analisa juga dilakukan dengan menentukan berat struktur pipa dengan menggunakan data-data properti pipa yang dianalisa.

TUGAS AKHIR

3.2.1 Perhitungan Berat Struktur Pipa

Berat struktur pipa terdiri atas berat berat baja pipa, lapisan anti korosi dan lapisan beton, yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.26.

$$W_a = (M_p + M_{ac} + M_c) g \quad (3.4)$$

Dimana besarnya massa tiap-tiap penyusun massa total pipa dihitung dengan menggunakan persamaan 2.21, 2.22, dan 2.23. Pipa bawah air akan mendapatkan gaya keatas sebesar fluida yang dipidahkannya, F_b , maka berat pipa dibawah air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.28

$$W_s = W_a - F_b \quad (3.5)$$

3.2.2 Peramalan Tinggi Dan Panjang Gelombang Dengan Menggunakan Kecepatan Angin Dan Fetch

Distribusi kecepatan angin di atas permukaan laut terbagi dalam tiga elevasi diatas permukaan laut, yaitu : daerah geotrospik yang berada diatas 1000m dengan kecepatan angin konstan, daerah Eakman yang berada antara 100 m dan 1000m, dan daerah dimana tegangan konstan yang berada pada elevasi 10 m – 100 m. Di kedua daerah tersebut kecepatan dan arah angin berubah sesuai dengan elevasi, karena adanya gesekan dengan permukaan laut dan perbedaan temperatur antara air dan udara.

1. Konversi kecepatan angin

Dalam melakukan perhitungan untuk memperkirakan pengaruh kecepatan angin, maka diperlukan konversi terhadap kecepatan angin untuk elevasi 10 m, apabila kecepatan angin tidak diukur pada elevasi 10 m (Triatmodjo, 1999). Hal

TUGAS AKHIR

ini dilakukan karena beberapa rumus atau grafik yang digunakan untuk meramalkan gelombang didasarkan pada kecepatan angin pada elevasi 10 m . Konversi kecepatan angin dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 3.6.

$$U(10) = U(y) \left(\frac{10}{y}\right)^{1/7} \quad (3.6)$$

Persamaan diatas hanya berlaku untuk besar y lebih kecil dari 20 m.

Selanjutnya untuk pengukuran angin yang dilakukan didaratan, harus dilakukan transformasi dari data angin diatas daratan yang terdekat dengan lokasi studi ke data angin diatas permukaan laut. Hubungan antara angin diatas laut dan angin diatas daratan terdekat dirumuskan seperti dalam persamaan 3.7.

$$R_L = U_w/U_L \quad (3.7)$$

yang dinyatakan dalam grafik hubungan antara kecepatan angin dilaut (U_w) dan darat (U_L), dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

Disamping itu karena adanya perbedaan suhu antara suhu dipermukaan air laut dan di udara, maka kecepatan angin juga harus dikonversikan dengan menggunakan persamaan 3.8.

$$U_T = U(10) R_T \quad (3.8)$$

Apabila besar suhu dipermukaan laut tidak diketahui maka besarnya harga R_T dapat diasumsikan sebesar 1.1. Untuk melakukan peramalan gelombang maka harus diketahui besarnya faktor tegangan angin, U_A , yang dapat dihitung dengan menggunakan kecepatan angin yang telah dikonversi dengan menggunakan persamaan 3.9.

TUGAS AKHIR

$$U_A = 0.71 U^{1.23} \quad (3.9)$$

2. Fetch

Di daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin (Triatmodjo, 1999). Fetch rerata efektif dihitung dengan menggunakan persamaan 3.10.

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (3.10)$$

Dengan,

F_{eff} : Fetch rerata efektif, km.

X_i : Panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung fetch., km.

α : Deviasi kedua sisi arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6^0 sampai sudut sebesar 42^0 pada kedua sisi dari arah angin.

Dari besar tegangan permukaan angin, U_A , dan fetch rerata efektif, F_{eff} , maka dapat diketahui tinggi dan periode gelombang signifikan dengan menggunakan grafik peramalan gelombang (Triatmodjo, 1999).

TUGAS AKHIR

3.2.3 Perhitungan Panjang Gelombang Dan Penetuan Teori Gelombang

Perhitungan panjang gelombang dilakukan dengan menggunakan data kedalaman perairan masing-masing Zone, tinggi gelombang dan periode gelombang dengan menggunakan persamaan 3.11.

$$L_0 = 1.56 T^2 \quad (3.11)$$

Dari kedalaman rata –rata masing –masing Zone, dapat diketahui harga dari $\frac{d}{L_0}$

yang selanjutnya dengan menggunakan tabel fungsi d/L untuk pertambahan nilai

d/L_0 (Triatmojo, 1999) akan diketahui harga $\frac{d}{L}$. Dari harga $\frac{d}{L}$, maka besarnya

panjang gelombang dapat diketahui.

Dari data tinggi, periode dan panjang gelombang yang diketahui serta kedalaman perairan untuk masing- masing zone dapat ditentukan teori gelombang yang digunakan dalam analisa dengan menggunakan Diagram validitas teori gelombang (Mouselli, 1981). Dimana untuk penentuan dengan menggunakan Diagram validitas teori gelombang, harus ditentukan besar parameter berikut :

$$\frac{H}{gT^2} \text{ dan } \frac{d}{gT^2}$$

3.2.4 Pengujian Untuk Kecocokan Pemilihan Parameter Distribusi (*Goodness-of-Fit Test*)

Dari data kecepatan arus steady, tinggi, periode dan panjang yang diketahui, dapat dilakukan pengujian untuk pemilihan parameter distribusi yang

TUGAS AKHIR

memenuhi, untuk masing-masing variabel acak tersebut. Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua tipe pengujian yaitu *Chi-Squared Goodness-of-Fit Test* dan *Kolmogorov-Smirnov Goodness-of-Fit Test*.

Secara manual, uji hipotesis dari distribusi peluang tiap variabel yang kita ajukan, untuk *Chi-Squared Goodness-of-Fit Test* pengujian dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.51. Dimana syarat penerimaan dari hipotesa parameter distribusi, tiap-tiap variabel acak, yang diajukan adalah $\chi_0^2 < \chi_{\alpha, k-p-1}^2$. Sedangkan untuk *Kolmogorov-Smirnov Goodness-of-Fit Test* dengan menggunakan persamaan 2.54 dan 2.57, dimana syarat batas penerimaan dari hipotesa yang kita ajukan adalah $D_n < D_{n,\alpha}$.

Untuk mempermudah pemilihan peluang distribusi, untuk masing-masing variabel acak, dilakukan dengan menggunakan bantuan software arena. Fasilitas dari software arena yang digunakan adalah fasilitas *input analyzer*, dimana fasilitas ini dapat secara otomatis melakukan proses *Goodness-of-Fit Test* pada data masukan dari variabel acak. Pemilihan terhadap jenis distribusi peluang yang terbaik dan paling sesuai didasarkan pada besarnya harga *p-value* / tingkat penerimaan dari masing-masing hipotesa distribusi peluang (*Chi-Squared Goodness-of-Fit Test*).

3.3 Penetuan Variabel Acak

Dari data-data yang diperoleh dapat dilihat ada beberapa variabel yang mempunyai besar yang tidak pasti/acak, dimana selanjutnya variabel ini dijadikan sebagai variabel acak dalam analisa keandalan sistem pipa. Variabel acak yang digunakan adalah :

- Kecepatan partikel air akibat arus steady, U_{arus}
- Periode gelombang, T
- Tinggi gelombang, H
- Panjang gelombang, L

Selanjutnya dalam analisa besar koefisien gesekan permukaan tanah dasar, μ , diberikan dalam tiga asumsi yaitu deterministik, mengikuti distribusi uniform dan triangular, sehingga variabel acak yang akan digunakan untuk asumsi distribusi uniform dan triangular, koefisien gesekan permukaan tanah dasar, μ , ditambahkan sebagai variabel acak.

3.4 Penentuan Moda Kegagalan

Moda kegagalan yang akan digunakan untuk menganalisa keandalan stabilitas pipa terhadap beban hidrodinamis , yang dapat dinyatakan :

$$\begin{aligned} MK(Z) &= (W - F_L) \mu - (F_D + F_I) \\ &= (W - \frac{1}{2} \rho C_L D_T U_{\text{eff}}^2) \mu - (\frac{1}{2} \rho C_D D_T U_{\text{eff}} |U_{\text{eff}}| + \\ &\quad \rho C_M (\frac{\pi D_T^2}{4}) (du/dt)) \end{aligned} \quad (3.12)$$

Dengan, $U_{\text{eff}} = U_{\text{arus}} + U_{\text{gelombang}}$, dan $U_{\text{gelombang}}$ dihitung berdasarkan pada teori gelombang yang digunakan, sebagai fungsi panjang gelombang, periode gelombang dan tinggi gelombang, demikian juga dengan harga du/dt .

3.5 Metode Analisa

Metode analisa yang digunakan dalam analisa ini adalah :

3.5.1 Metode Perkiraan Titik

Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Menghitung jumlah dan besar nilai Perkiraan Titik, Z_k , dengan menggunakan persamaan 2.66.

$$z_k = g(\mu_1 + \eta_{1k}\sigma_1, \mu_2 + \eta_{2k}\sigma_2, \dots, \mu_m + \eta_{mk}\sigma_m) \quad (3.13)$$
$$, k = 1, 2, \dots, 2^m$$

- Menghitung besar nilai π , dengan menggunakan persamaan 2.69.

$$\pi_k = 2^{-m} \quad (3.14)$$

- Menghitung harga rata-rata, $\mu_s = E[Z]$ dan standar deviasi, $\sigma_s = \sqrt{\text{Var}[Z]}$ dengan menggunakan persamaan 2.71 dan persamaan 2.72.

$$\hat{E}[Z] = \sum_{k=1}^2 \pi_k z_k \quad (3.15)$$

$$\text{Var}[Z] = \hat{E}[Z^2] - \hat{E}^2[Z] \quad (3.16)$$

- Menghitung indeks keandalan dari fungsi, dengan menggunakan persamaan 2.61.

$$\beta = \frac{\mu}{\sigma} = \frac{E[Z]}{\sqrt{\text{Var}[Z]}} \quad (3.17)$$

TUGAS AKHIR

- e. Menentukan keandalan sistem sebagai fungsi indek keandalan dengan menggunakan tabel distribusi normal

$$K = \phi(\beta) \quad (3.18)$$

Secara skematis langkah-langkah yang dilakukan dalam analisa dengan menggunakan metode Perkiraan Titik dapat dilihat dalam gambar 3.2.

3.5.2 Simulasi *Montecarlo*

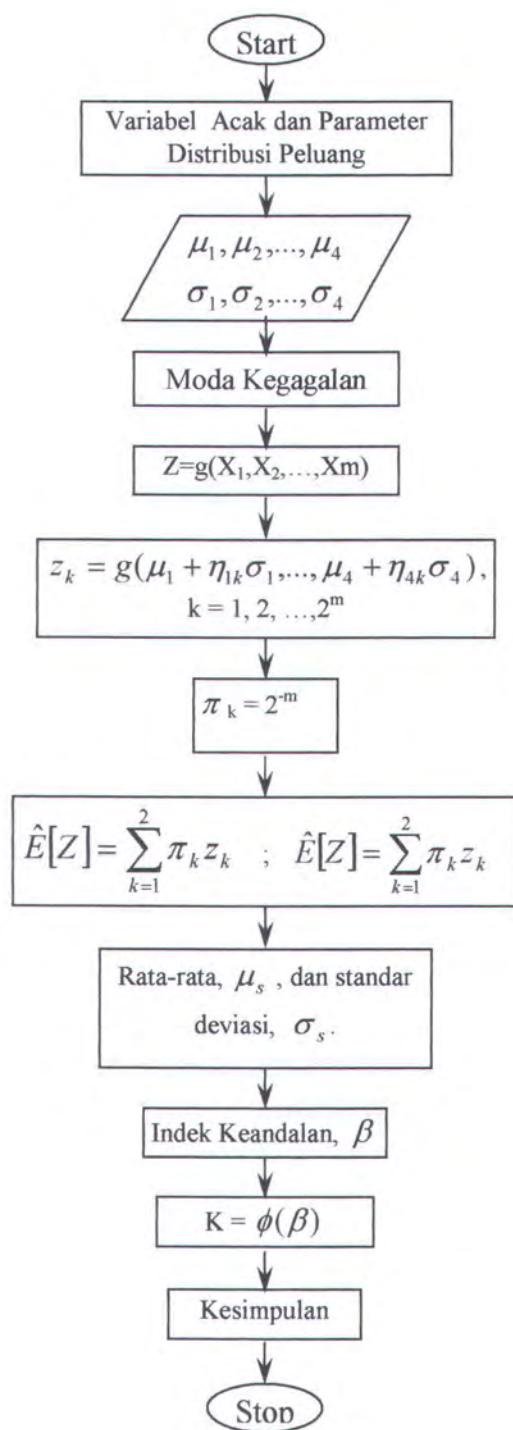
Langkah-langkah yang dilakukan dalam metode ini :

- a. Menentukan beberapa sampel untuk setiap X_i dari sebuah populasi x_i .
- b. Melakukan transformasi x_i ke harga a_p , melalui transformasi *pdf* dan *cdf*.
- c. Memasukan populasi tersebut kedalam persamaan fungsi kinerja $FK(X)$ dan menghitung harga $FK(X)$.
- d. Mencatat setiap kejadian yang memenuhi $FK(X) > 0$, yaitu sistem tidak mengalami kegagalan.
- e. Menentukan peluang keandalan dengan menggunakan persamaan 2.30.

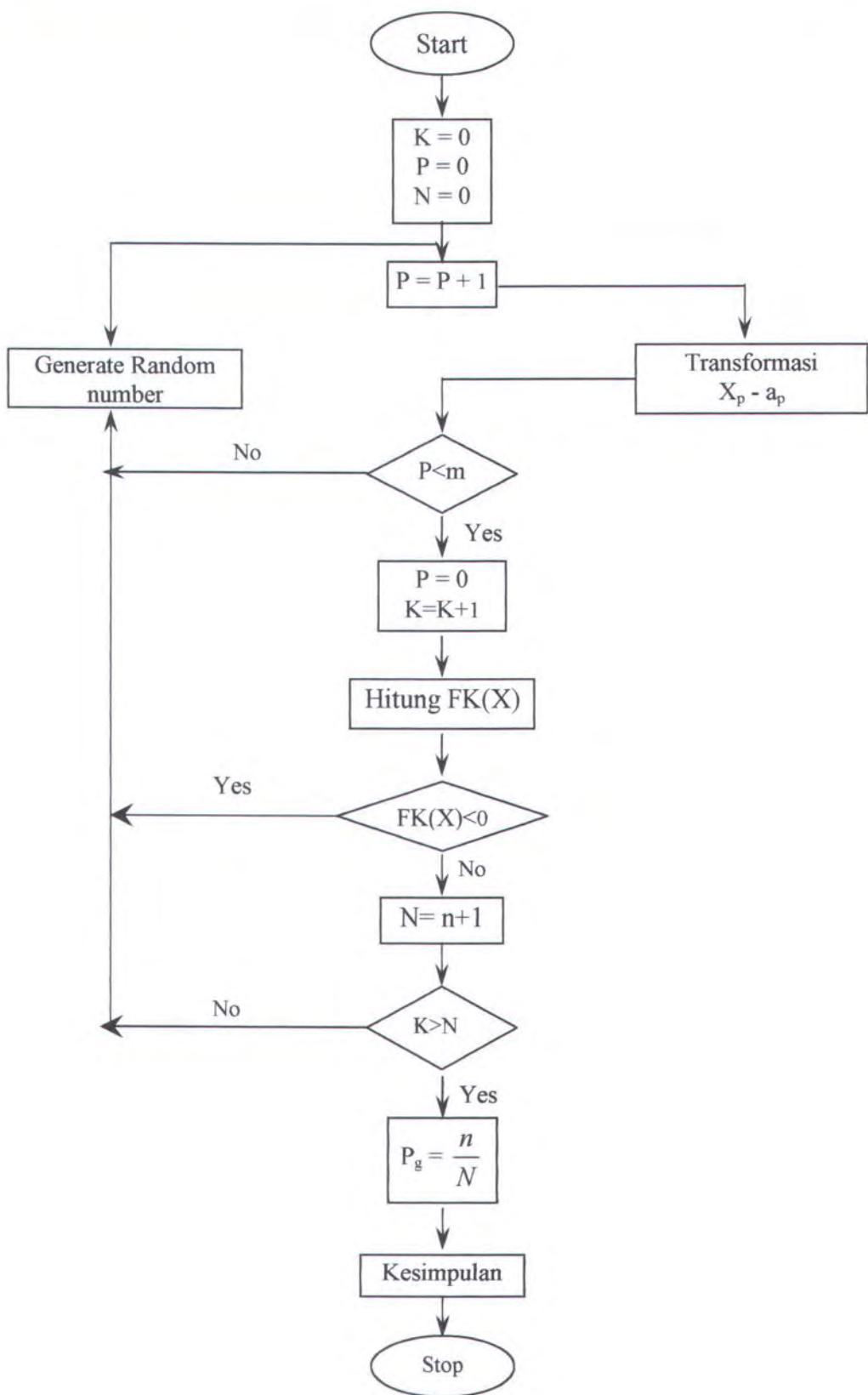
$$K = \frac{n}{N} \quad (3.19)$$

Secara skematis langkah-langkah yang dilakukan dalam analisa dengan menggunakan simulasi *Montecarlo* dapat dijelaskan pada gambar 3.3.

TUGAS AKHIR



Gambar 3.2. Diagram alir untuk metode Perkiraan Titik.



Gambar 3.3. Diagram alir untuk simulasi *Montecarlo*.

TUGAS AKHIR

3.6 Hasil Akhir

Hasil yang diperoleh dari analisa yang dilakukan yaitu hubungan keandalan sistem pipa dengan berat pipa, untuk setiap zone jalur pipa dan variasi distribusi koefisien gesekan tanah dasar, yang dihasilkan dari analisa dengan menggunakan metode Perkiraan Titik dan simulasi *Montecarlo*. Dan diperoleh perbandingan hasil antara penggunaan metode Perkiraan Titik dan simulasi *Montecarlo* sehingga dapat diketahui kelayakan pemakaian metode Perkiraan Titik untuk analisa keandalan stabilitas pipa akibat beban-beban hidrodinamis di perairan Tuban, Jawa Timur..



BAB IV

PERHITUNGAN DAN ANALISA

BAB 4
PERHITUNGAN DAN ANALISA

4.1 Perhitungan Kasus

4.1.1 Data

Data yang digunakan dalam perhitungan kasus ini adalah sebagai berikut:

1. Data Pipa

- Property Material Pipa

Type : ASTM A106 grade B

SMYS : 6500 psi (412985444.7 N/m)

E : 29×10^9 N/m

I : 0.0018 m^4

ρ_p : 78430 kg/m^3

ρ_{ac} : 1300 kg/m^3

ρ_c : 2247 kg/m^3

- Geometri Material Pipa

D_0 : 18 inch (0.406 m)

t_p : 0.375 inch (0.0095 m)

t_{ac} : 0.2 inch (0.00508 m)

t_c : 0.5 inchi, 1 inchi, 1.5 inchi, 2 inchi, 2.5 inchi, 3 inchi, 3.5

inchi, 4 inchi, 4.5 inchi, 5 inchi, 5.5 inchi dan 6 inchi.

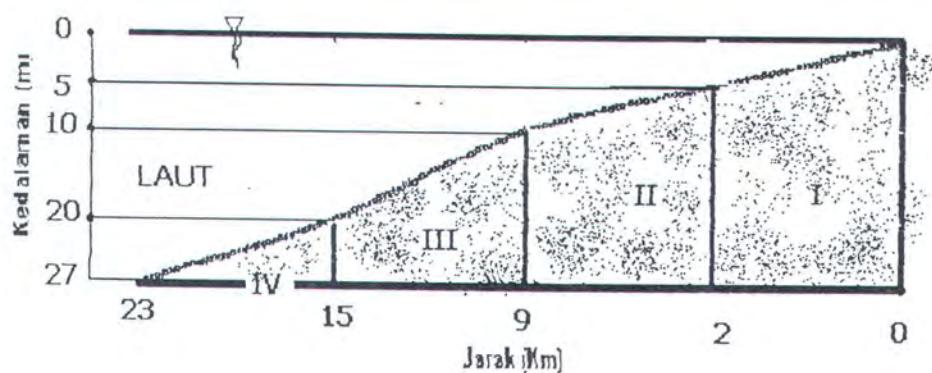
TUGAS AKHIR

2. Data Lingkungan

Jalur pipa ditarik sepanjang 23 km dari daratan dengan arah 20° terhadap arah utara dan analisa dilakukan dengan membagi perairan sepanjang jalur pipa menjadi empat zone dengan kedalaman rata-rata masing-masing zone adalah sebagai berikut :

Kedalaman	Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV
d	2.8 m	8 m	15 m	25 m

Penampang melintang kedalaman perairan sepanjang jalur pipa dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 4.1 Penampang melintang Bathimetri Perairan Tuban, Jawa Timur.

TUGAS AKHIR

Data gelombang diramalkan dengan menggunakan data kecepatan angin dan panjang *fetch*, dimana data angin yang diperoleh dikonversikan terhadap elevasi 10 m, lokasi dan temperatur dengan menggunakan persamaan 3.6, 3.7 dan 3.8.

$$U(10) = U(y) \left(\frac{10}{y}\right)^{1/7}$$

$$R_L = U_w/U_L$$

$$U_T = U(10) R_T$$

Dari hasil perhitungan konversi kecepatan digunakan untuk menghitung besar faktor tegangan angin dengan menggunakan persamaan 3.9.

$$U_A = 0.71 U^{1.23}$$

Untuk peramalan gelombang dengan grafik peramalan gelombang (Triatmodjo, 1999), selanjutnya dihitung besar *fetch* rerata efektif dengan persamaan 3.10.

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha}$$

Hasil dari perhitungan diatas dapat dilihat pada lampiran B.

4.1.2 Perhitungan Berat dan Massa Pipa

Berat struktur pipa tiap satuan panjang adalah :

$$W = M \cdot g$$

Berdasarkan persamaan 2.21, 2.22, dan 2.23 nilai komponen penyusun massa dapat ditentukan.

TUGAS AKHIR

- Massa material baja tiap satuan baja (M_p)

$$M_p = \rho_p \cdot 0,25\pi(D_0^2 - (D_0 - 2t_p)^2)$$

$$= 104.84 \text{ Kg/m}$$

- Massa lapisan anti korosi (M_{ac})

$$M_{ac} = \rho_{ac} \cdot 0,25\pi((D_0 + 2t_{ac})^2 - D_0^2)$$

$$= 9.59 \text{ Kg/m}$$

- Massa lapisan beton (M_c)

$$M_c = \rho_c \cdot 0,25\pi((D_0 + 2t_{ac} + 2t_c)^2 - (D_0 - 2t_{ac})^2)$$

Dengan memasukan variasi tebal beton yang ditinjau kedalam persamaan akan diperoleh hasil, untuk setiap variasi tebal beton, yang dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 : Massa Lapisan beton

t_c (inchi)	M_c (kg)
0.5	43.02
1	88.31
1.5	135.88
2	185.72
2.5	237.84
3	292.24
3.5	348.91
4	407.86
4.5	469.08
5	532.58
5.5	598.36
6	666.41

TUGAS AKHIR

Pipa yang berada dalam air laut akan mendapatkan gaya reaksi keatas dari fluida yang besarnya sama dengan berat volume zat cair yang dipindahkan.

$$\begin{aligned} F_b &= \rho_{sw} \cdot A_{tot} \cdot g \\ &= \rho_{sw} (0,25\pi D_T^2) g \end{aligned}$$

Besar gaya reaksi keatas untuk masing-masing variasi tebal beton dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 : Besar gaya reaksi keatas tiap satuan panjang

t_c (inchi)	F_b (N/m)
0.5	1916.61
1	2119.29
1.5	2332.16
2	2555.21
2.5	2788.44
3	3031.86
3.5	3285.47
4	3549.26
4.5	3823.24
5	4107.40
5.5	4401.74
6	4706.27

- Berat total pipa tiap satuan panjang (W_a) :

$$\begin{aligned} W_a &= M_a \cdot g \\ &= (M_p + M_{ac} + M_c) g \end{aligned}$$

Berat total pipa tiap satuan panjang dihitung, dengan menggunakan persamaan diatas, dengan mesubtitusikan nilai massa penyusun massa pipa total. Hasil perhitungan berat total pipa, untuk setiap variasi tebal beton, dapat dilihat pada tabel 4.3.

TUGAS AKHIR

Tabel 4.3 : Berat total pipa tiap satuan panjang

t_c (inchi)	W_a (N/m)
0.5	1544.49
1	1988.81
1.5	2455.45
2	2944.42
2.5	3455.72
3	3989.35
3.5	4545.30
4	5123.58
4.5	5724.19
5	6347.13
5.5	6992.39
6	7659.98

- Berat total pipa bawah laut (W_s) :

$$W_s = W_a - F_b$$

Dengan menggunakan persamaan diatas berat total pipa bawah laut, untuk tiap variasi ketebalan beton, dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 : Berat total pipa bawah laut tiap satuan panjang

t_c (inchi)	W_s (N/m)
0.5	-372.12
1	-130.48
1.5	123.29
2	389.22
2.5	667.28
3	957.48
3.5	1259.83
4	1574.32
4.5	1900.95
5	2239.73
5.5	2590.65
6	2953.71

TUGAS AKHIR

4.1.3 Perhitungan Gelombang

- Penentuan teori gelombang

Dari data lingkungan , dengan menggunakan Diagram validitas teori gelombang (Mouselli, 1981), dapat ditentukan teori gelombang yang sesuai untuk kodisi analisa tiap-tiap zone dengan menentukan besar parameter berikut :

$$\frac{H}{gT^2} \text{ dan } \frac{d}{gT^2}$$

Dari hasil perhitungan parameter diatas, dapat diketahui bahwa teori gelombang yang digunakan untuk perhitungan gelombang untuk masing-masing zone .

Zone I : Teori gelombang Cnoidal

Zone II, III dan IV : Teori Stoke Orde Dua

- Perhitungan panjang gelombang

Perhitungan panjang gelombang dilakukan dengan menggunakan data kedalaman perairan masing-masing zone, tinggi gelombang dan periode gelombang dengan menggunakan persamaan :

$$L_0 = 1.56 T^2$$

Dari kedalaman rata –rata masing –masing zone, dapat diketahui harga dari $\frac{d}{L_0}$

yang selanjutnya dengan menggunakan tabel fungsi d/L untuk pertambahan nilai

d/L_0 (Triatmojo, 1999) akan diketahui harga $\frac{d}{L}$. Dari harga $\frac{d}{L}$ yang diketahui,

TUGAS AKHIR

nilai panjang gelombang, L dapat dihitung, dengan hasil seperti tercantum dalam lampiran B.

- Perhitungan kecepatan dan percepatan partikel air

Dari nilai panjang gelombang, L dan kedalaman,d ditentukan kedalaman relatif dari perairan, $\frac{d}{L}$ dan dari hasil perhitungan gelombang perairan yang

ditinjau dapat diklasifikasikan ke dalam gelombang dilaut transisi dengan $\frac{1}{20} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$, dimana cepat rambat dan panjang gelombang tergantung pada

kedalaman air. Untuk perairan transisi lintasan partikel berbentuk ellips, semakin besar kedalaman bentuk ellips semakin pipih dan didasar gerak partikel adalah horizontal (Triatmojo, 1999). Untuk perhitungan kecepatan partikel air, dipengaruhi oleh kecepatan akibat arus steady dan kecepatan akibat gelombang.

Perhitungan kecepatan partikel air dilakukan sebagai berikut :

$$U_{\text{eff}} = U_{\text{arus}} + U_{\text{gel}}$$

Zone I :

$$U_{\text{eff}} = U_{\text{arus}} +$$

$$\frac{L}{T} \left[\left(\frac{-0.433 + H}{d} \right) - \left(\frac{-0.433 + H}{d} \right)^2 - \left(4 \left(\frac{1}{3} - \left(\frac{D_r}{d} \right) \right)^2 \right) \right] \frac{4.096H}{gT^2}$$

TUGAS AKHIR

Zone II, III dan IV :

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

Dimana kecepatan partikel air akibat arus steady dan gelombang yang digunakan yaitu kecepatan effektif yang bekerja pada permukaan pipa, dengan nilai kecepatan effektif yang dapat diperoleh dari koreksi menggunakan persamaan 2.15.b

$$U_{\text{eff}}^2 = 0.778 U_0^2 \left(\frac{D_T}{Y_0} \right)^{0.286}$$

dengan U_0 dihitung dengan menggunakan persamaan 2.14.

$$\frac{U}{U_0} = \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/7}$$

Untuk menghitung besarnya kecepatan dan percepatan partikel air akibat gelombang, dimana $t = 0$ puncak dan lembah gelombang terjadi pada $x = 0$ dan $x = L/2$, sehingga komponen kecepatan vertikal partikel sama dengan nol, sehingga komponen kecepatan dan percepatan yang digunakan adalah komponen horisontal.

4.1.4 Perhitungan Beban-Beban Hidrodinamis

- Perhitungan nilai koefisien-koefisien hidrodinamis

Untuk menghitung beban-beban hidrodinamis yang bekerja, dengan menggunakan regresi dari data percobaan yang pernah dilakukan, koefisien-

TUGAS AKHIR

koefisien hidrodinamis dapat dinyatakan sebagai fungsi dari *Reynold Number*, Re, sebagai berikut :

$$C_D = 4 \times 10^{-12} Re^2 - 4 \times 10^{-6} Re + 1.44$$

$$C_L = 5 \times 10^{-12} Re^2 - 4 \times 10^{-6} Re + 1.49$$

$$C_M = -2 \times 10^{-12} Re^2 + 3 \times 10^{-7} Re + 1.992$$

Dengan harga Reynold Number, Re :

$$Re = \frac{U_{eff} D_T}{v}$$

Dimana besar Re untuk masing-masing variasi tebal beton dapat dilihat seperti tabel 4.5.

Tabel 4.5 : Hubungan tebal beton dengan harga Re

t_c (inchi)	R _e
0.5	$5.30 \times 10^5 U_{eff}$
1	$5.58 \times 10^5 U_{eff}$
1.5	$5.85E \times 10^5 U_{eff}$
2	$6.12 \times 10^5 U_{eff}$
2.5	$6.40 \times 10^5 U_{eff}$
3	$6.67 \times 10^5 U_{eff}$
3.5	$6.94 \times 10^5 U_{eff}$
4	$7.22 \times 10^5 U_{eff}$
4.5	$7.49 \times 10^5 U_{eff}$
5	$7.76 \times 10^5 U_{eff}$
5.5	$8.04 \times 10^5 U_{eff}$
6	$8.31 \times 10^5 U_{eff}$

TUGAS AKHIR

Dengan mensubtitusikan harga dari *Reynold number*, Re , kedalam persamaan koefisien-koefisien hidrodinamis maka diperoleh persamaan seperti dibawah ini :

$$C_D = a U_{\text{eff}}^2 - b U_{\text{eff}} + c$$

$$C_L = d U_{\text{eff}}^2 - e U_{\text{eff}} + f$$

$$C_M = g U_{\text{eff}}^2 + h U_{\text{eff}} + i$$

Dimana harga masing-masing konstanta dari persamaan diatas, untuk tiap-tiap ketebalan variasi tebal beton, ditunjukan pada 4.6.

Tabel 4.6 : Konstanta persamaan koefisien-koefisien hidrodinamis tiap variasi tebal beton

t_e (inchi)	C_D			C_L			C_M		
	a	b	c	d	e	f	g	h	i
0.5	1.13	2.12	1.44	1.41	2.12	1.49	-0.56	0.16	1.99
1	1.24	2.23	1.44	1.56	2.23	1.49	-0.62	0.17	1.99
1.5	1.37	2.34	1.44	1.71	2.34	1.49	-0.68	0.18	1.99
2	1.50	2.45	1.44	1.88	2.45	1.49	-0.75	0.18	1.99
2.5	1.64	2.56	1.44	2.05	2.56	1.49	-0.82	0.19	1.99
3	1.78	2.67	1.44	2.23	2.67	1.49	-0.89	0.20	1.99
3.5	1.93	2.78	1.44	2.41	2.78	1.49	-0.96	0.21	1.99
4	2.08	2.89	1.44	2.61	2.89	1.49	-1.04	0.22	1.99
4.5	2.24	3.00	1.44	2.81	3.00	1.49	-1.12	0.22	1.99
5	2.41	3.11	1.44	3.01	3.11	1.49	-1.21	0.23	1.99
5.5	2.58	3.22	1.44	3.23	3.22	1.49	-1.29	0.24	1.99
6	2.76	3.32	1.44	3.45	3.32	1.49	-1.38	0.25	1.99

- Perhitungan beban-beban hidrodinamis

Dari harga-harga koefisien hidrodinamis yang diperoleh, besar gaya-gaya hidrodinamis untuk masing-masing variasi tebal beton dapat dirumuskan sebagai berikut :

TUGAS AKHIR

$$F_D = (A U_{\text{eff}}^3 - B U_{\text{eff}}^2 + C U_{\text{eff}}) \left| U_{\text{eff}} \right|$$

$$F_L = (D U_{\text{eff}}^4 - E U_{\text{eff}}^3 + F U_{\text{eff}}^2)$$

$$F_I = (G U_{\text{eff}}^2 + H U_{\text{eff}} + I) (du/dt)$$

Dimana harga masing – masing konstanta dari persamaan diatas, untuk tiap-tiap ketebalan variasi tebal beton, ditunjukan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 : Kontanta Persamaan beban-beban hidrodinamis tiap variasi tebal beton

t_c (inchi)	F_D			F_L			F_I		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
0.5	284.20	535.81	363.66	355.25	535.81	376.28	-109.93	31.09	389.18
1	330.46	592.47	382.40	413.07	592.47	395.68	-134.41	36.15	430.34
1.5	381.47	651.98	401.15	476.84	651.98	415.08	-162.77	41.73	473.56
2	437.49	714.33	419.89	546.86	714.33	434.47	-195.40	47.86	518.86
2.5	498.74	779.54	438.64	623.42	779.54	453.87	-232.70	54.56	566.22
3	565.45	847.59	457.38	706.81	847.59	473.26	-275.10	61.85	615.64
3.5	637.86	918.49	476.13	797.32	918.49	492.66	-323.04	69.78	667.14
4	716.20	992.23	494.87	895.25	992.23	512.06	-377.00	78.35	720.71
4.5	800.71	1068.83	513.62	1000.89	1068.83	531.45	-437.45	87.59	776.34
5	891.62	1148.27	532.36	1114.52	1148.27	550.85	-504.89	97.53	834.04
5.5	989.16	1230.55	551.11	1236.45	1230.55	570.24	-579.85	108.20	893.81
6	1093.56	1315.69	569.85	1366.96	1315.69	589.64	-662.86	119.62	955.65

4.1.5 Pemilihan Jenis dan Parameter Distribusi Untuk Masing-Masing Variabel

Dari hasil perhitungan kecepatan partikel air akibat arus steady, U_{arus} , tinggi gelombang, H, periode gelombang, T, dan panjang gelombang, L, dapat ditentukan deskripsi statistik dari masing-masing variable dengan menggunakan tes *Chi-Square* dan Tes *Kolmogorov-Smirnov*. Untuk kecepatan air akibat arus steady, data inputan yang digunakan sebagai variabel acak adalah data hasil pengukuran.

TUGAS AKHIR

Langkah ini dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan software Arena, fasilitas input analyzer, dengan hasil dapat dilihat pada lampiran C. Untuk kedua jenis tes ini syarat batas penerimaan dinyatakan sebagai *p-value*, dimana hipotesa yang kita ajukan dapat diterima apabila harga *p-value* lebih kecil dari 0.05. Hasil dari pemilihan jenis dan parameter dari masing-masing variabel acak , untuk tiap zone dan variasi tebal lapisan beton, dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 : Deskripsi statistik variable acak untuk data yang diperoleh dengan menggunakan pendekatan kecepatan angin dan panjang *Fetch*.

Variabel Acak	Zone	Mean dan Standar Deviasi	Distribusi
Kecepatan Arus	all	$\mu = 0.145$ $\sigma = 0.0537$	Lognormal (-2.0007 , 0.3663) *)
Tinggi Gelombang	all	$\mu = 0.831$ $\sigma = 0.352$	LogNormal (-0.2494, 0.3321) *)
Periode Gelombang	all	$\mu = 4.84$ $\sigma = 0.804$	LogNormal (1.5652, 0.1472) *)
Panjang Gelombang	I	$\mu = 23.2$ $\sigma = 4.44$	20 + (22*(Beta (0.297 , 1.75)))
	II	$\mu = 33.1$ $\sigma = 8.29$	28+(38*(Beta (0.19 , 1.23)))
	III	$\mu = 37.8$ $\sigma = 14.5$	30+(53*(Beta (0.219 , 1.04)))
	IV	$\mu = 41.2$ $\sigma = 24.1$	30+(102*(Beta (0.21 , 0.874)))

*) Parameter yang digunakan adalah nilai dari logmean dan logstandar-deviasi

4.2 Penentuan Moda Kegagalan

Karena keberadaannya didalam air, pada pipa bawah laut akan bekerja gaya-gaya hidrodinamis. Gaya-gaya tersebut akan berpengaruh pada stabilitas lateral dari sistem pipa itu sendiri, yaitu gaya *Drag*, gaya *Lift*, gaya *Inertia* dan

TUGAS AKHIR

gaya berat struktur pipa. Pipa akan mengalami kegagalan atau bergeser dari kedudukannya apabila kombinasi dari gaya *Drag* dan gaya *Inertia* melebihi gaya gesek antara permukaan pipa dengan tanah, dimana dapat dinyatakan dengan mode kegagalan sebagai berikut :

$$\mathbf{MK(Z)} = (W - F_L) \mu - F_D + F_I$$

Dengan asumsi bahwa tanah di permukaan laut adalah pasir dengan koefisien gesek ditentukan secara deterministik dengan harga 0,6 , mengikuti distribusi uniform dengan harga minimum 0.5 dan harga maksimum 0.7, dan mengikuti distribusi triangular dengan harga minimum 0.5, harga mode 0.6, dan harga maksimum 0.7. Mode kegagalan untuk masing-masing Zone dapat ditulis sebagai berikut :

Zone I :

$$\mathbf{MK(Z)} = \{ W - (D U_{\text{eff}}^4 - E U_{\text{eff}}^3 + F U_{\text{eff}}^2) \} \mu - \{(A U_{\text{eff}}^3 - B U_{\text{eff}}^2 + C U_{\text{eff}}) \\ |U_{\text{eff}}| + (G U_{\text{eff}}^2 + H U_{\text{eff}} + I) (du/dt)\}$$

Dengan, $U_{\text{eff}} = U_{\text{arus}} +$

$$\frac{L}{T} \left[\left(\frac{-0.433 + H}{d} \right) - \left(\frac{-0.433 + H}{d} \right)^2 - \left(4 \left(\frac{1}{3} - \left(\frac{D_r}{d} \right) \right)^2 \right) \right] \frac{4.096 H}{g T^2}$$

TUGAS AKHIR

Zone II, III dan IV :

$$MK(Z) = \{ W - (D U_{\text{eff}}^4 - E U_{\text{eff}}^3 + F U_{\text{eff}}^2) \} \mu - \{ (A U_{\text{eff}}^3 - B U_{\text{eff}}^2 + C U_{\text{eff}}) \\ |U_{\text{eff}}| + (G U_{\text{eff}}^2 + H U_{\text{eff}} + I) (du/dt) \}$$

Dengan, $U_{\text{eff}} = U_{\text{arus}} + \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh(ks)}{\sinh(kd)} \cos \theta + \frac{3}{4} \frac{\pi H}{T} \left(\frac{\pi H}{L} \right) \frac{\cosh(2ks)}{\sinh^4(kd)} \cos 2\theta$

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

Untuk penentuan harga kecepatan dan percepatan partikel air karena gelombang digunakan asumsi bahwa sudut kemiringan tanah dasar adalah 0 dan kecepatan yang ditinjau adalah maximum, $t = 0$. Dimana, $k = 2\pi/L$ dan $s = z + d = D_T$, diameter luar pipa total. Untuk percepatan akan mempunyai harga nol, pada saat $x=t=0$ harga $\sin((kx-\sigma t)) = \sin 0^\circ = 0$, sehingga nilai gaya *Inertia* mempunyai harga minimum, yaitu nol.

4.3 Perhitungan Keandalan Stabilitas Sistem Pipa

4.3.1 Metode Perkiraan Titik

1. Koefisien gesekan tanah dasar ditentukan secara deterministik dengan nilai,

$$\mu = 0.6$$

Untuk harga koefisien gesekan tanah, μ , yang ditentukan secara deterministik dengan harga 0.6, maka jumlah variable acak yang digunakan dalam analisa keandalan sistem pipa adalah 4 macam, yaitu Kecepatan partikel air

TUGAS AKHIR

karena arus steady, X_1 , Tinggi gelombang, X_2 , Periode gelombang, X_3 dan Panjang gelombang, X_4 , sehingga fungsi kinerja dari sistem dapat dinyatakan:

$$Z = g(X_1, X_2, X_3, X_4)$$

- Perhitungan jumlah dan nilai Perkiraan Titik

Dengan menggunakan empat variabel acak maka kita dapat memperoleh $2^m = 2^4 = 16$ Perkiraan Titik dari Z , Z_k .

$$Z_k = g(\mu_1 + \eta_{1k}\sigma_1, \mu_2 + \eta_{2k}\sigma_2, \mu_3 + \eta_{3k}\sigma_3 + \mu_4 + \eta_{4k}\sigma_4), \quad k = 1 \dots 16$$

Zone I :

$$Z_k = \{ W - [D(\zeta)^4 - E(\zeta)^3 + F(\zeta)^2] \} \mu - \{ (A(\zeta)^3 - B(\zeta)^2 + C(\zeta)) \mid \zeta \mid \}$$

Dengan,

$$\begin{aligned} \zeta &= ((\mu_1 + \eta_{1k}\sigma_1) + \frac{(\mu_4 + \eta_{4k}\sigma_4)}{(\mu_3 + \eta_{3k}\sigma_3)} x \\ &\quad \left[\left(\frac{-0.433 + (\mu_2 + \eta_{2k}\sigma_2)}{d} \right) - \left(\frac{-0.433 + (\mu_2 + \eta_{2k}\sigma_2)}{d} \right)^2 - \left(4 \left(\frac{1}{3} - \left(\frac{D_T}{d} \right) \right)^2 \right) \right] \\ &\quad x \frac{4.096(\mu_2 + \eta_{2k}\sigma_2)}{g(\mu_3 + \eta_{3k}\sigma_3)^2} \end{aligned}$$

Zone II, III dan IV :

$$Z_k = \{ W - (D(n)^4 - E(n)^3 + F(n)^2) \} \mu - \{ (A(n)^3 - B(n)^2 + C(n)) \mid n \mid \}$$

TUGAS AKHIR

Dengan,

$$\pi = (\mu_1 + \eta_{1k}\sigma_1) + \left(\frac{\pi(\mu_2 + \eta_{2k}\sigma_2)}{(\mu_3 + \eta_{3k}\sigma_3)} \right) \frac{\cosh\left(\frac{2\pi}{(\mu_4 + \eta_{4k}\sigma_4)} D_T\right)}{\sinh\left(\frac{2\pi}{(\mu_4 + \eta_{4k}\sigma_4)} d\right)} \cos \theta + \\ \frac{3}{4} \frac{\pi(\mu_2 + \eta_{2k}\sigma_2)}{(\mu_3 + \eta_{3k}\sigma_3)} \left(\frac{\pi(\mu_2 + \eta_{2k}\sigma_2)}{(\mu_4 + \eta_{4k}\sigma_4)} \right) \frac{\cosh(2\frac{2\pi}{(\mu_4 + \eta_{4k}\sigma_4)} D_T)}{\sinh^4\left(\frac{2\pi}{(\mu_4 + \eta_{4k}\sigma_4)} d\right)} \cos 2\theta$$

Dengan memasukan parameter rataan, μ dan standar deviasi, σ , dari masing-masing variabel acak kedalam persamaan, akan diperoleh harga Perkiraan Titik, Z_k . Hasil perhitungan nilai masing-masing Perkiraan Titik dengan variasi tebal beton dan tiap zone dapat dilihat pada lampiran D.

- Perhitungan harga π

Untuk analisa metode Perkiraan Titik dengan menggunakan empat variabel acak ($m=4$), dimana masing-masing variabel independen, nilai π Perkiraan Titik, π_k , dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.69.

$$\pi_k = 2^{-m} = 2^{-4} = 0.0625$$

- Perhitungan harga rata-rata dan standar deviasi

Perhitungan harga rata-rata fungsi kinerja, $E[Z]$, dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.71 .

TUGAS AKHIR

$$E[Z] = \mu = \hat{E}[Z'] = \sum_{i=1}^{2^m} \pi_k z_k = 0.0625 (Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_{16})$$

Hasil perhitungan harga rata-rata fungsi kinerja sistem tiap variasi ketebalan beton dan tiap zone dapat dilihat pada lampiran D.

Besar harga standar deviasi dari fungsi kinerja sistem, $(Var [Z])^{0.5}$, dihitung dengan menggunakan persamaan 2.72 .

$$\begin{aligned} Var[Z] &= \sigma^2 = \hat{E}[Z^2] - \hat{E}^2[Z] \\ &= 0.0625 (Z_1^2 + Z_2^2 + Z_3^2 + \dots + Z_{16}^2) - 0.003906 (Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_{16})^2 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan standar deviasi fungsi kinerja sistem dengan variasi ketebalan dan tiap Zone dapat dilihat pada lampiran D.

- Perhitungan besar nilai indeks keandalan

Dari hasil perhitungan nilai rata-rata dan standar deviasi sistem , besar nilai indeks keandalan dari kinerja sistem dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.61.

$$\beta = \frac{\mu}{\sigma} = \frac{E[Z]}{(Var[Z])^{0.5}}$$

dimana besar nilai indeks keandalan dengan tiap variasi tebal beton untuk setiap zone dapat dilihat pada tabel 4.9.

TUGAS AKHIR

- Perhitungan nilai keandalan

Nilai keandalan dari sistem dapat dinyatakan sebagai fungsi β

$$K = \Phi(\beta)$$

Dengan menggunakan tabel kurva normal keandalan sistem pipa dapat ditentukan nilainya untuk masing-masing nilai β yang diperoleh.

Nilai keandalan dari sistem pipa, untuk tiap penambahan variasi tebal beton (berat) dan tiap zone dapat dilihat pada tabel 4.9.

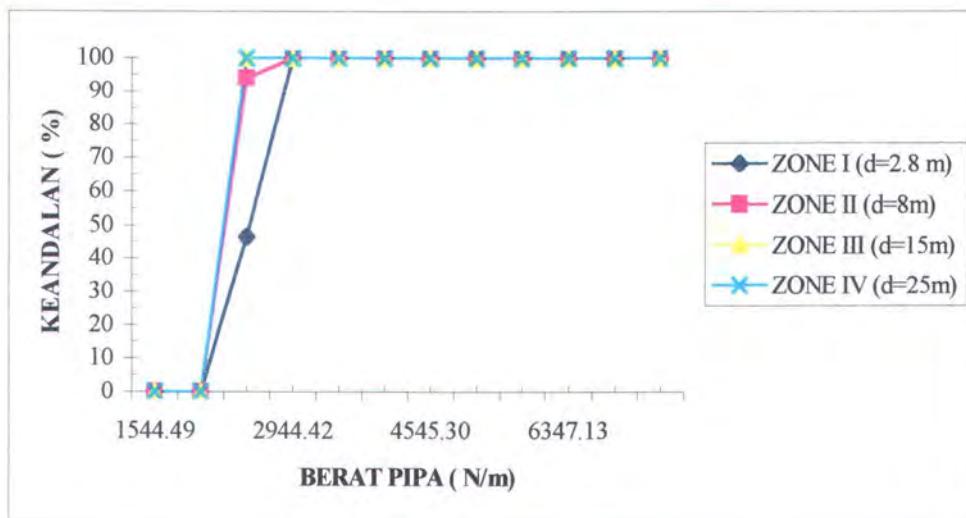
Tabel 4.9 : Nilai keandalan sistem pipa dengan menggunakan metode perkiraan titik untuk setiap zone dan variasi tebal lapisan beton, dimana koefisien gesekan tanah dasar 0.6

t_c (Ichi)	W (N/m)	Zone I		Zone II		Zone III		Zone IV	
		β	K	β	K	β	K	β	K
0.5	1544.49	-8.52	0	-11.26	0	-28.68	0	-56.87	0
1	1988.81	-4.15	0	-4.85	0	-10.51	0	-19.96	0
1.5	2455.45	-0.09	46.41	1.55	93.94	7.12	99.99	15.31	99.99
2	2944.42	3.56	99.98	7.93	99.99	24.35	99.99	49.23	99.99
2.5	3455.72	6.68	99.99	14.26	99.99	41.30	99.99	82.06	99.99
3	3989.35	9.22	99.99	20.48	99.99	58.06	99.99	114.03	99.99
3.5	4545.30	11.17	99.99	26.52	99.99	74.71	99.99	145.31	99.99
4	5123.58	12.55	99.99	32.29	99.99	91.33	99.99	176.05	99.99
4.5	5724.19	13.43	99.99	37.71	99.99	107.96	99.99	206.40	99.99
5	6347.13	13.88	99.99	42.68	99.99	124.65	99.99	236.45	99.99
5.5	6992.39	13.99	99.99	47.11	99.99	141.43	99.99	266.32	99.99
6	7659.98	13.85	99.99	50.94	99.99	158.35	99.99	296.08	99.99

- Grafik hubungan berat pipa dengan keandalan dari sistem pipa

Dari hasil keandalan sistem pipa untuk setiap variasi tebal beton pada masing-masing zone dapat diperoleh grafik hubungan antara nilai keandalan dengan berat struktur pipa, untuk seluruh zone, dapat dilihat pada grafik 4.1.

TUGAS AKHIR



Grafik 4.1 : Hubungan nilai keandalan dengan berat pipa untuk koefisien gesekan tanah 0.6 menggunakan metode Pendekatan Titik.

2. Koefisien gesekan tanah dasar diasumsikan mengikuti distribusi uniform (0.5 , 0.7)

Untuk koefisien gesekan tanah dasar yang diasumsikan mengikuti jenis distribusi uniform, dengan nilai minimum 0.5 dan nilai maksimum 0.7, maka variabel acak yang berpengaruh pada fungsi kinerja sistem menjadi lima macam , yaitu Kecepatan arus steady, X_1 , Tinggi gelombang, X_2 , Periode gelombang, X_3 , Panjang gelombang, X_4 , dan Koefisien gesekan tanah dasar, X_5 , sehingga fungsi kinerja dari sitem dapat dinyatakan sebagai :

$$Z = g(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$$

- Perhitungan jumlah dan nilai Perkiraan Titik

Dengan menggunakan lima variabel acak maka kita dapat memperoleh $2^5 = 2^5 = 32$ Perkiraan Titik dari Z , Z_k .

TUGAS AKHIR

$$Z_k = g(\mu_1 + \eta_{1k}\sigma_1, \mu_2 + \eta_{2k}\sigma_2, \mu_3 + \eta_{3k}\sigma_3 + \mu_4 + \eta_{4k}\sigma_4, \mu_5 + \eta_{5k}\sigma_5)$$

, k = 132.

Zone I :

$$Z_k = \{ W - [D(k^4) - E(k^3) + F(k^2)] \} j - \{ (A(k^3) - B(k^2) + C(k)) | k | \}$$

Dengan,

$$j = (\mu_5 + \eta_{5k}\sigma_5)$$

Zone II, III dan IV :

$$Z_k = \{ W - (D(n^4) - E(n^3) + F(n^2)) \} j - \{ (A(n^3) - B(n^2) + C(n)) | n | \}$$

Dengan memasukan parameter rataan, μ dan standar deviasi, σ , dari masing-masing variabel acak kedalam persamaan, akan diperoleh harga Perkiraan Titik, Z_k . Hasil perhitungan nilai masing-masing Perkiraan Titik dengan variasi tebal beton untuk masing-masing zone dapat dilihat pada lampiran D.

- Perhitungan harga π

Untuk analisa metode Perkiraan Titik dengan menggunakan lima variabel acak ($m=4$), dimana masing-masing variabel independen, nilai π Perkiraan Titik, π_k adalah :

$$\pi_k = 2^{-m} = 2^{-5} = 0.03125$$

TUGAS AKHIR

- Perhitungan harga rata-rata dan standar deviasi

Harga rata-rata fungsi kinerja, $E[Z]$, ditentukan sebagai berikut :

$$E[Z] = \mu = \hat{E}[Z^r] = \sum_{i=1}^{2^m} \pi_k z_k^r = 0.03125 (Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_{32})$$

Besarnya standar deviasi dari fungsi kinerja sistem, $(\text{Var}[Z])^{0.5}$,

$$\begin{aligned} \text{Var}[Z] &= \sigma^2 = \hat{E}[Z^2] - \hat{E}^2[Z] \\ &= 0.03125 (Z_1^2 + Z_2^2 + Z_3^2 + \dots + Z_{25}^2) - 0.00097656 (Z_1 + Z_2 + \\ &\quad Z_3 + \dots + Z_{25})^2 \end{aligned}$$

Perhitungan harga rata-rata dan Varian fungsi kinerja sistem tiap variasi ketebalan beton dan tiap zone dapat dilihat pada lampiran D.

- Perhitungan besar nilai indeks keandalan

Dari nilai rata-rata dan standar deviasi sistem, besar nilai indeks keandalan dihitung sebagai berikut :

$$\beta = \frac{\mu}{\sigma} = \frac{E[Z]}{(\text{Var}[Z])^{0.5}}$$

Dimana besar nilai indeks keandalan untuk variasi tebal beton dan setiap zone dapat dilihat pada tabel 4.10.

- Perhitungan nilai keandalan

Nilai keandalan dari sistem dapat dinyatakan sebagai fungsi β

$$K = \Phi(\beta)$$

TUGAS AKHIR

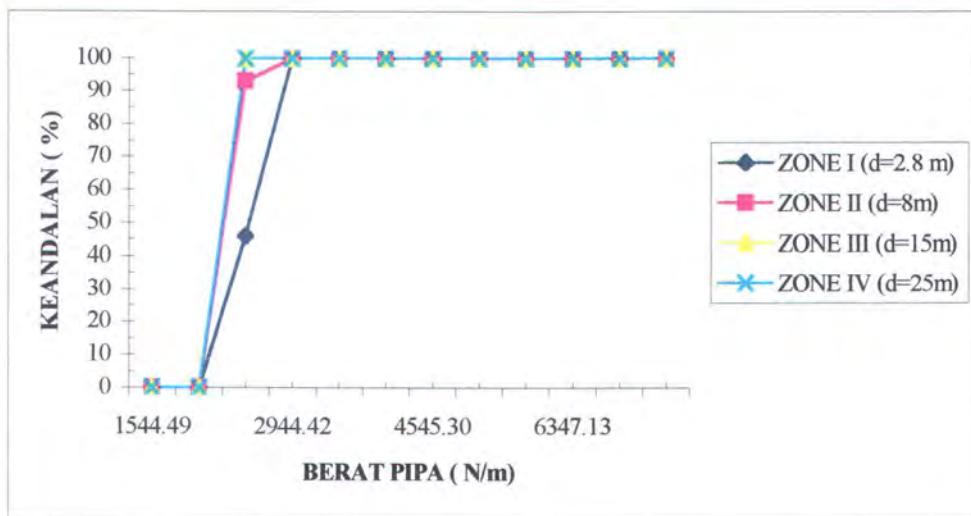
Dengan menggunakan tabel kurva normal keandalan sistem pipa dapat ditentukan nilainya untuk masing-masing nilai β yang diperoleh. Nilai keandalan dari sistem pipa, untuk tiap penambahan variasi tebal beton (berat) dan tiap zone dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 : Nilai keandalan sistem pipa dengan menggunakan metode perkiraan titik untuk setiap zone dan variasi tebal lapisan beton, dimana koefisien gesekan tanah dasar diasumsikan uniform (0.5 - 0.7).

t_e (Ichi)	W (N/m)	Zone I		Zone II		Zone III		Zone IV	
		β	K	β	K	β	K	β	K
0.5	1544.49	-6.93	0	-7.99	0	-10.06	0	-13.12	0
1	1988.81	-3.98	0	-4.51	0	-7.68	0	-8.70	0
1.5	2455.45	-0.10	46.02	1.49	93.19	5.66	99.99	6.23	99.99
2	2944.42	3.22	99.94	6.00	99.99	9.34	99.99	12.07	99.99
2.5	3455.72	5.34	99.99	8.03	99.99	9.95	99.99	13.33	99.99
3	3989.35	6.57	99.99	8.93	99.99	10.15	99.99	13.76	99.99
3.5	4545.30	7.27	99.99	9.38	99.99	10.24	99.99	13.96	99.99
4	5123.58	7.68	99.99	9.64	99.99	10.30	99.99	14.07	99.99
4.5	5724.19	7.92	99.99	9.80	99.99	10.33	99.99	14.13	99.99
5	6347.13	8.04	99.99	9.90	99.99	10.35	99.99	14.18	99.99
5.5	6992.39	8.08	99.99	9.97	99.99	10.37	99.99	14.21	99.99
6	7659.98	8.07	99.99	10.02	99.99	10.38	99.99	14.23	99.99

- Grafik hubungan berat pipa dengan nilai keandalan sistem pipa

Dari hasil perhitungan keandalan dapat ditentukan grafik hubungan antara keandalan dengan berat pipa, untuk seluruh zone, dapat dilihat pada grafik 4.2.



Grafik 4.2 : Hubungan nilai keandalan dengan berat pipa untuk koefisien gesekan tanah diasumsikan sebagai distribusi uniform (0.5 0.7) menggunakan metode Pendekatan Titik

3. Koefisien gesekan tanah dasar diasumsikan mengikuti distribusi triangular (0.5

0.6 0.7)

Perhitungan yang dilakukan dengan asumsi bahwa koefisien gesekan tanah dasar mengikuti distribusi triangular, dilakukan dengan langkah yang sama ketika koefisien gesekan tanah ditentukan mengikuti distribusi uniform. Dalam perhitungan nilai variabel acak X_5 dinyatakan sebagai fungsi peluang dengan distribusi triangular.

Perhitungan jumlah dan nilai Perkiraan Titik dilakukan dengan memasukan nilai μ_5 dan σ_5 , berturut-turut sebagai rata-rata dan standar deviasi

TUGAS AKHIR

dari hasil distribusi triangular. . Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran D, untuk tiap variasi tebal beton .

- Perhitungan besar nilai indeks keandalan

Dari nilai rata-rata dan standar deviasi sistem dapat diperoleh harga indeks keandalan untuk setiap variasi tebal beton pada masing-masing zone, dimana hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.11.

- Perhitungan nilai keandalan

Dengan menggunakan tabel kurva normal keandalan sistem dapat ditentukan nilainya sebagai fungsi β untuk setiap variasi tebal beton pada masing-masing zone, yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.11.

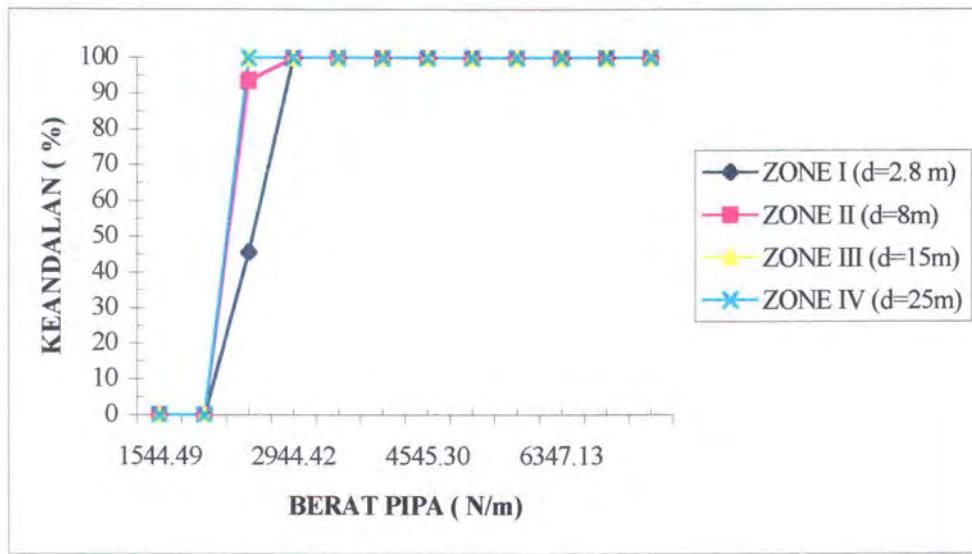
- Grafik hubungan berat pipa dengan nilai keandalan sistem pipa

Dari hasil perhitungan nilai keandalan dapat ditentukan grafik hubungan antara nilai keandalan dengan berat pipa, untuk seluruh zone, dapat dilihat pada grafik 4.3.

TUGAS AKHIR

Tabel 4.11 : Nilai keandalan sistem pipa dengan menggunakan metode perkiraan titik untuk setiap zone dan variasi tebal lapisan beton, dimana koefisien gesekan tanah dasar diasumsikan triangular (0.5 0.6 0.7).

t_c (Ichi)	W (N/m)	Zone I		Zone II		Zone III		Zone IV	
		β	K	β	K	β	K	β	K
0.5	1544.49	-7.07	0	-9.12	0	-10.44	0	-14.13	0
1	1988.81	-3.99	0	-4.67	0	-9.58	0	-12.00	0
1.5	2455.45	-0.11	45.62	1.53	93.57	8.29	99.99	10.15	99.99
2	2944.42	3.24	99.94	6.75	99.99	10.05	99.99	13.56	99.99
2.5	3455.72	5.45	99.99	9.80	99.99	10.26	99.99	14.00	99.99
3	3989.35	6.76	99.99	11.42	99.99	10.33	99.99	14.14	99.99
3.5	4545.30	7.54	99.99	12.31	99.99	10.36	99.99	14.21	99.99
4	5123.58	8.00	99.99	12.83	99.99	10.38	99.99	14.24	99.99
4.5	5724.19	8.26	99.99	13.16	99.99	10.40	99.99	14.27	99.99
5	6347.13	8.39	99.99	13.37	99.99	10.41	99.99	14.28	99.99
5.5	6992.39	8.44	99.99	13.52	99.99	10.41	99.99	14.29	99.99
6	7659.98	8.42	99.99	13.63	99.99	10.42	99.99	14.30	99.99



Grafik 4.3 : Hubungan nilai keandalan dengan berat pipa untuk koefisien gesekan tanah diasumsikan sebagai distribusi triangular (0.5 0.6 0.7) menggunakan metode Pendekatan Titik

TUGAS AKHIR

4.3.2 Simulasi *Montecarlo*

Metode simulasi *Montecarlo* digunakan sebagai pembanding dari metode Perkiraan Titik. Simulasi *Montecarlo* dilakukan dengan memasukan nilai variabel acak, yang merupakan hasil sampling numerik, kedalam moda kegagalan. Sampling numerik tiap variabel acak yang digunakan dilakukan melalui *generate random sampling*, yaitu setiap nilai x variabel acak ditransformasikan menjadi nilai x_a , yang akan digunakan sebagai inputan dalam simulasi. Transformasi nilai x dilakukan dengan mencari *pdf* dari variabel acak, yang selanjutnya *pdf* ditransformasikan kedalam bentuk *cdf*. Untuk memperoleh nilai x_a , dari *cdf* dilakukan operasi invers *cdf* yang selanjutnya akan diperoleh hasil yang digunakan sebagai inputan (Kotegoda dan Rosso, 1997). Operasi ini akan lebih sederhana dan cepat dilakukan dengan menggunakan software Minitab, yaitu dengan membuat makro dari mode kegagalan pipa, dimana inputan yang digunakan adalah :

X_1 : kecepatan partikel air akibat arus steady

X_2 : Tinggi gelombang

X_3 : Periode gelombang

X_4 : Panjang gelombang

Untuk analisa dengan menggunakan asumsi bahwa koefisien gesekan tanah dasar mengikuti distribusi uniform dan triangular inputan ditambah dengan

X_5 : Koefisien gesekan tanah dasar

TUGAS AKHIR

Dimana inputan tersebut selanjutnya akan digunakan sebagai variabel acak untuk metode ini. Simulasi *Montecarlo* dilakukan dengan menggunakan 40000 simulasi sampling, kemudian dari 40000 simulasi tersebut jumlah kejadian gagal dan jumlah kejadian sukses dicatat. Nilai keandalan (K) untuk tiap simulasi ini dihitung dengan menggunakan persamaan 2.30.

$$K = n/N$$

1. Koefisien gesekan tanah dasar ditentukan secara diterministik dengan nilai,

$$\mu = 0.6$$

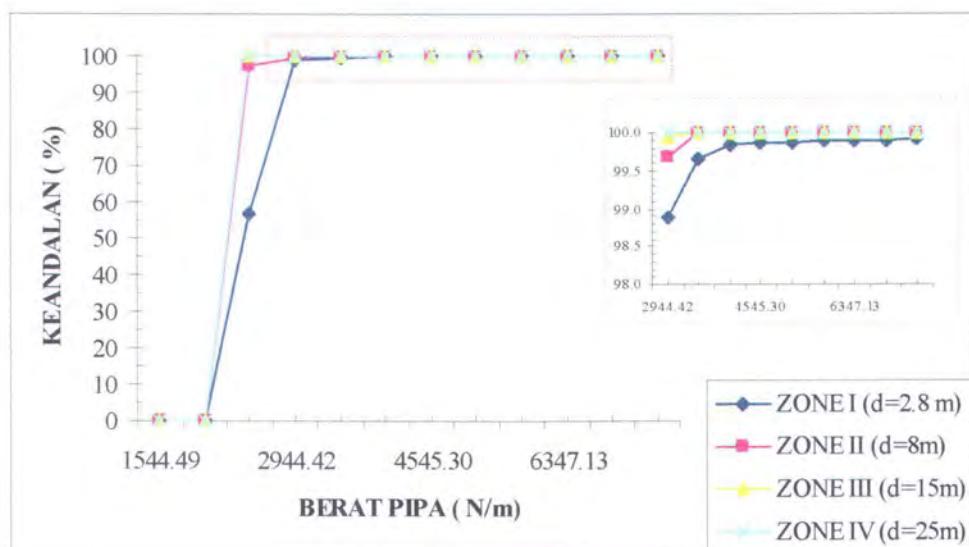
Untuk analisa dengan asumsi ini, analisa dilakukan dengan menggunakan empat variabel acak, yaitu kecepatan arus steady, tinggi, periode dan panjang gelombang. Analisa dilakukan dengan membuat makro dari mode kegagalan sistem pipa dalam Minitab, untuk tiap zone dan variasi tebel beton, seperti terlampir dalam lampiran E.

Besarnya nilai keandalan untuk tiap zone dan variasi tebal beton dapat dilihat pada tabel 4.12 dan grafik hubungan antara nilai keandalan dengan berat pipa dapat dilihat pada grafik 4.4.

TUGAS AKHIR

Tabel 4.12 : Tabel nilai keandalan sistem pipa tiap variasi tebal pipa, dengan koefisien gesekan tanah deterministik 0.6, dengan menggunakan simulasi *Montecarlo*

t_c	W (N/m)	Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV
0.5	1544.49	0	0	0	0
1	1988.81	0	0	0	0
1.5	2455.45	56.86	97.2	99.94	99.97
2	2944.42	98.89	99.67	99.96	99.99
2.5	3455.72	99.64	99.99	99.99	99.99
3	3989.35	99.85	99.99	99.99	99.99
3.5	4545.30	99.88	99.99	99.99	99.99
4	5123.58	99.88	99.99	99.99	99.99
4.5	5724.19	99.89	99.99	99.99	99.99
5	6347.13	99.9	99.99	99.99	99.99
5.5	6992.39	99.9	99.99	99.99	99.99
6	7659.98	99.92	99.99	99.99	99.99



Grafik 4.4 : Hubungan peluang keandalan sistem pipa dengan berat pipa dengan koefisien gesek tanah mengikuti ditentukan secara deterministik 0.6, dengan menggunakan simulasi *Montecarlo*

TUGAS AKHIR

2. Koefisien gesekan tanah dasar diasumsikan mengikuti distribusi uniform (0.5 - 0.7)

Analisa yang dilakukan dengan menggunakan asumsi ini dilakukan dengan menambahkan satu variabel acak yaitu koefisien gesekan tanah dasar, X_5 . Analisa dilakukan untuk 40000 sampling simulasi, untuk setiap variabel acaknya, dengan membuat makro seperti terlampir dalam lampiran E.

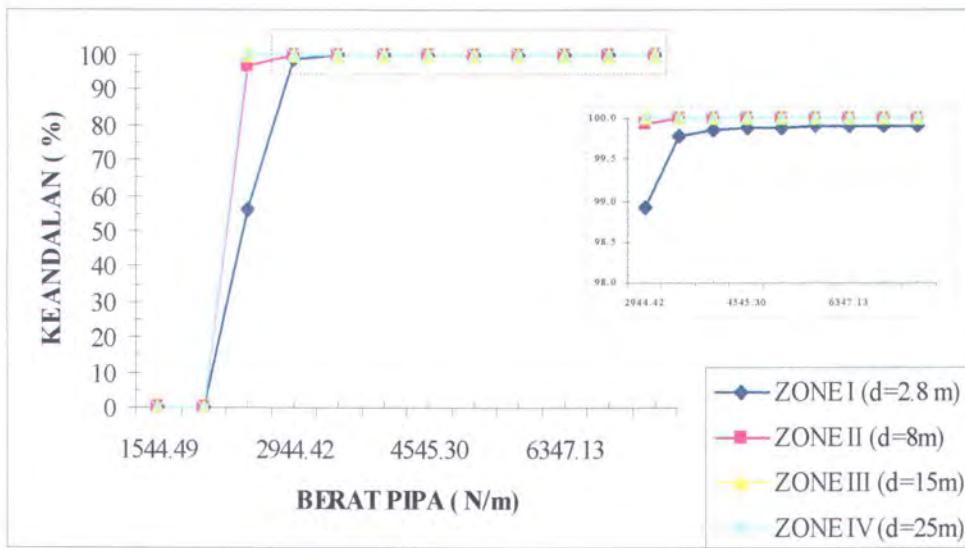
Besarnya peluang keandalan dan kegagalan untuk tiap zone dan variasi tebal beton dapat dilihat pada tabel 4.13 dan grafik hubungan antara peluang keandalan dan kegagalan dengan berat pipa dapat dilihat pada grafik 4.5.

Tabel 4.13 : Tabel peluang keandalan dan peluang kegagalan sistem pipa tiap variasi tebal pipa, dengan koefisien gesekan tanah Uniform (0.5 - 0.7), dengan menggunakan

simulasi *Montecarlo*

t_c	W (N/m)	Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV
0.5	1544.49	0	0	0	0
1	1988.81	0	0	0	0
1.5	2455.45	56.1	97.04	99.91	99.96
2	2944.42	98.92	99.93	99.99	99.99
2.5	3455.72	99.79	99.99	99.99	99.99
3	3989.35	99.84	99.99	99.99	99.99
3.5	4545.30	99.87	99.99	99.99	99.99
4	5123.58	99.91	99.99	99.99	99.99
4.5	5724.19	99.88	99.99	99.99	99.99
5	6347.13	99.9	99.99	99.99	99.99
5.5	6992.39	99.91	99.99	99.99	99.99
6	7659.98	99.91	99.99	99.99	99.99





Grafik 4.5 : Hubungan peluang keandalan sistem pipa dengan berat pipa dengan koefisien gesek tanah mengikuti jenis distribusi uniform (0.5 0.7), dengan menggunakan simulasi *Montecarlo*

3. Koefisien gesekan tanah dasar diasumsikan mengikuti distribusi triangular (0.5 0.6 0.7)

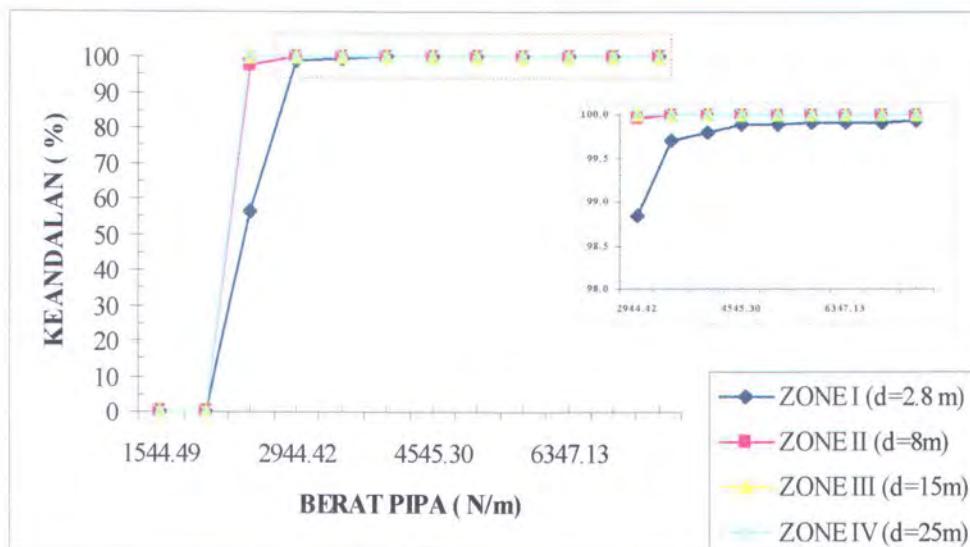
Untuk asumsi ini. Langkah proses analisa yang dilakukan hampir sama dengan asumsi koefisien gesekan tanah dasar uniform, yang membedakan adalah inputan dari variabel x_5 dibangkitkan dengan menggunakan distribusi triangular. Analisa dilakukan untuk 40000 sampling simulasi, untuk setiap variabel acaknya, dengan membuat makro seperti terlampir dalam lampiran E.

Besarnya peluang keandalan dan kegagalan untuk tiap zone dan variasi tebal beton dapat dilihat pada tabel 4.14 dan grafik hubungan antara peluang keandalan dan kegagalan dengan berat pipa dapat dilihat pada grafik 4.6 .

TUGAS AKHIR

Tabel 4.14 : Tabel peluang keandalan dan peluang kegagalan sistem pipa tiap variasi tebal pipa, dengan koefisien gesekan tanah triangular (0.5 0.6 0.7), dengan menggunakan simulasi *Montecarlo*

t_c	W (N/m)	Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV
0.5	1544.49	0	0	0	0
1	1988.81	0	0	0	0
1.5	2455.45	56.38	97.34	99.94	99.97
2	2944.42	98.83	99.95	99.99	99.99
2.5	3455.72	99.69	99.99	99.99	99.99
3	3989.35	99.79	99.99	99.99	99.99
3.5	4545.30	99.88	99.99	99.99	99.99
4	5123.58	99.89	99.99	99.99	99.99
4.5	5724.19	99.9	99.99	99.99	99.99
5	6347.13	99.91	99.99	99.99	99.99
5.5	6992.39	99.91	99.99	99.99	99.99
6	7659.98	99.92	99.99	99.99	99.99



Grafik 4.6 : Hubungan peluang keandalan sistem pipa dengan berat pipa dengan koefisien gesek tanah mengikuti jenis distribusi triangular (0.5 0.6 0.7), dengan menggunakan simulasi *Montecarlo*

TUGAS AKHIR

4.4 Analisa Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan dan grafik yang didapatkan, untuk variasi tebal beton dan tiga asumsi koefisien gesekan tanah tiap zone, keandalan stabilitas sistem pipa terhadap beban hidrodinamis memperlihatkan kecenderungan sebagai berikut :

4.4.1 Pengaruh Penambahan Berat

Penambahan berat pipa dilakukan dengan penambahan lapisan beton, yaitu dengan melakukan variasi tebal lapisan beton. Penambahan tebal lapisan beton akan menaikan berat struktur pipa, dengan prosentase berat lapisan beton berkisar antara 27 % - 85 % terhadap total berat pipa diudara. Penambahan lapisan beton juga akan menaikan besar total diameter luar pipa, dengan prosentase penambahan diameter berkisar antara 2 % - 20 % terhadap total diameter luar pipa.

Untuk variasi berat dengan tebal lapisan beton sebesar 0.5 inchi dan 1 inchi menunjukkan nilai indeks keandalan yang menyimpang, yaitu semakin naik dengan harga negatif, untuk semua zone. Hal ini terjadi karena berat pipa lebih kecil dari gaya keatas yang disebabkan oleh volume air yang dipindahkan oleh pipa sehingga pipa akan mengapung dipermukaan. Pada kondisi ketebalan pipa 0.5 dan 1 inchi analisa tidak memenuhi kondisi batas, pipa pada kondisi meletak didasar laut, sehingga analisa dapat dilakukan untuk tebal lapisan beton lebih besar dari 1 inchi untuk semua zone.

TUGAS AKHIR

Untuk selanjutnya penambahan berat dengan menambah tebal lapisan beton lebih besar dari 1 inchi akan menunjukan kecenderungan kenaikan nilai keandalan secara signifikan. Pada kondisi ini gaya hidrodinamis yang bekerja pada pipa didominasi oleh gaya *Drag* dan gaya *Lift*, dimana besar dan variansi dari gaya-gaya ini sangat kecil dibandingkan dengan berat total pipa dibawah air.

Keandalan sistem pipa akan relatif konstan berkisar pada nilai 99.99 % saat tebal lapisan beton mencapai ketebalan 2.5 inchi atau berat total pipa 3455.72 N/m, untuk semua zone. Kondisi ini tercapai karena besar prosentase berat lapisan beton terhadap berat total pipa jauh lebih besar dibandingkan dengan besar prosentase tebal lapisan beton terhadap total diameter luar pipa. Dimana total diameter luar pipa adalah besaran yang menentukan nilai koefisien *Drag* dan Koefisien *Lift*, sebagai fungsi nilai *Reynold number*, dan luas penampang kerja gaya *Drag* dan gaya *Lift* pada permukaan pipa.

4.4.2 Pengaruh Kedalaman Perairan

Perbedaan kedalaman untuk tiap zone memberikan besar keandalan yang semakin besar untuk zone yang mempunyai kedalaman yang lebih besar. Ini dapat dijelaskan sebagai akibat dari semakin kecilnya pengaruh beban gelombang dan beban arus steady yang bekerja pada pipa, dimana besar kecepatan partikel air akibat gelombang dan arus steady akan berbanding terbalik dengan kedalaman, yang dapat dijelaskan dengan menggunakan persamaan 2.15b. Besar

TUGAS AKHIR

pertambahan keandalan relatif konstan, dengan nilai berkisar 99.99%, mulai zone III dengan kedalaman 15 m .

4.4.3 Pengaruh Variasi Koefisien Gesekan Tanah Dasar

Koefisien gesekan tanah dasar merupakan salah satu parameter lingkungan yang berpengaruh pada efek kekuatan dari stabilitas sistem pipa. Dalam analisa harga koefisien gesekan tanah dasar ditentukan dalam tiga asumsi, yaitu ditentukan secara deterministik, mengikuti distribusi uniform dan mengikuti distribusi triangular. Untuk membandingkan nilai keandalan dari hasil yang diperoleh dengan menggunakan metode Perkiraan Titik dan metode simulasi Montecarlo untuk penggunaan ketiga asumsi harga koefisien gesekan tanah dasar dapat dilakukan dengan mencari persentase perbedaan relatif nilai keandalan yang diperoleh.

Besar persentase perbedaan relatif antara ketiga asumsi koefisien gesekan tanah dasar rata-rata berkisar 0.03 %, untuk hasil yang diperoleh dengan menggunakan metode Perkiraan Titik dan simulasi *Montecarlo*. Kisaran perbedaan relatif yang sangat kecil ini memperlihatkan bahwa penggunaan asumsi koefisien gesekan tanah dasar sebagai variabel acak sangat kecil pengaruhnya terhadap keandalan stabilitas sistem pipa, maka koefisien gesekan tanah dasar dapat dianggap sebagai besaran deterministik.

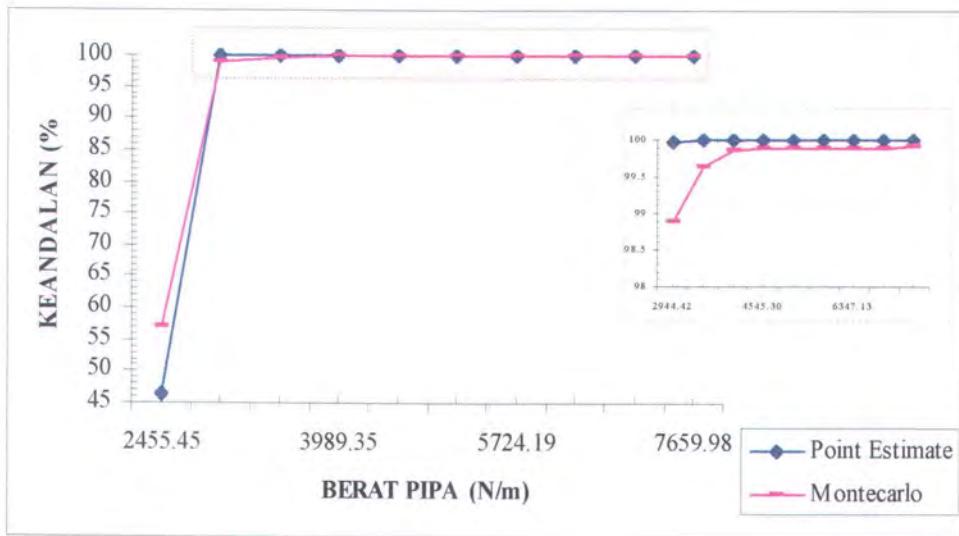
TUGAS AKHIR

4.4.4 Perbandingan Hasil Analisa Dengan Menggunakan Metode Perkiraan Titik dan Simulasi *Montecarlo*

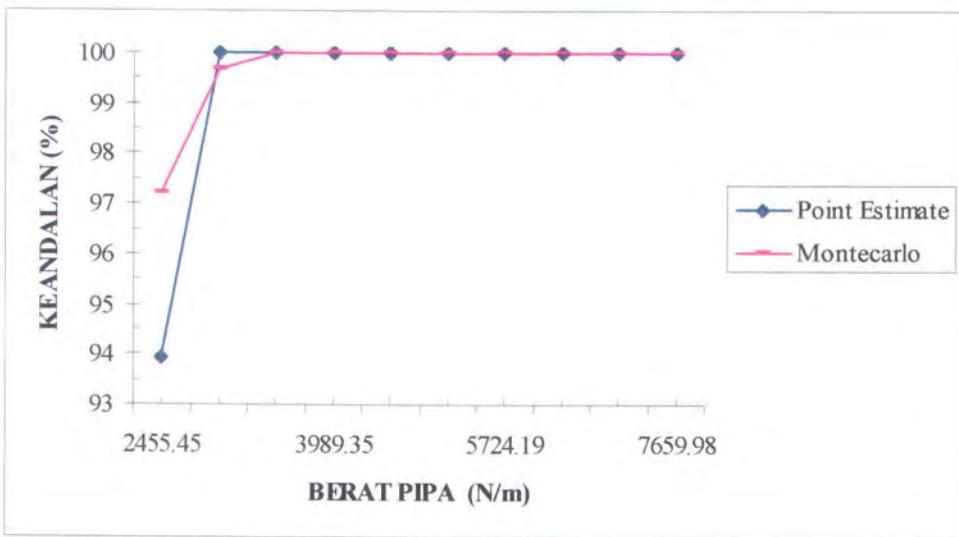
Dalam suatu contoh kasus analisa keandalan pembangkit listrik tenaga air dengan menggunakan metode AFOSM dan metode Pendekatan Titik (Kotegoda, 1997), dimana jumlah variabel acak yang digunakan adalah dua buah. Untuk metode AFOSM diperoleh harga peluang keandalan 89.07 %, sedangkan untuk metode Perkiraan Titik diperoleh harga peluang keandalan 85.08 %. Sedang untuk contoh kasus yang lain untuk analisa keandalan terhadap perambatan buckling pada pipa bawah laut (Yustisi, 2000), dengan metode AFOSM dan simulasi *Montecarlo* diperoleh hasil dengan perbedaan yang kecil.

Perbandingan nilai keandalan yang diperoleh dengan menggunakan metode Pendekatan Titik dan metode simulasi *Montecarlo* untuk setiap variasi tebal lapisan beton atau berat struktur pipa pada masing-masing zone dapat dilihat pada grafik 4.7 sampai dengan grafik 4.10.

TUGAS AKHIR

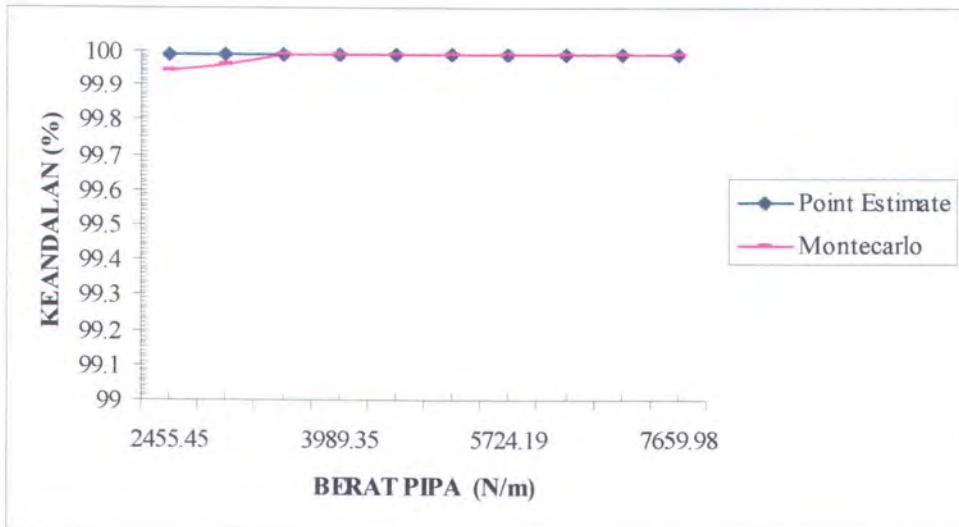


Grafik 4.7 : Perbandingan hasil nilai keandalan dengan menggunakan metode Pendekatan Titik dan metode simulasi *Montecarlo*, untuk setiap variasi tebal lapisan beton / berat struktur pipa pada zone I.

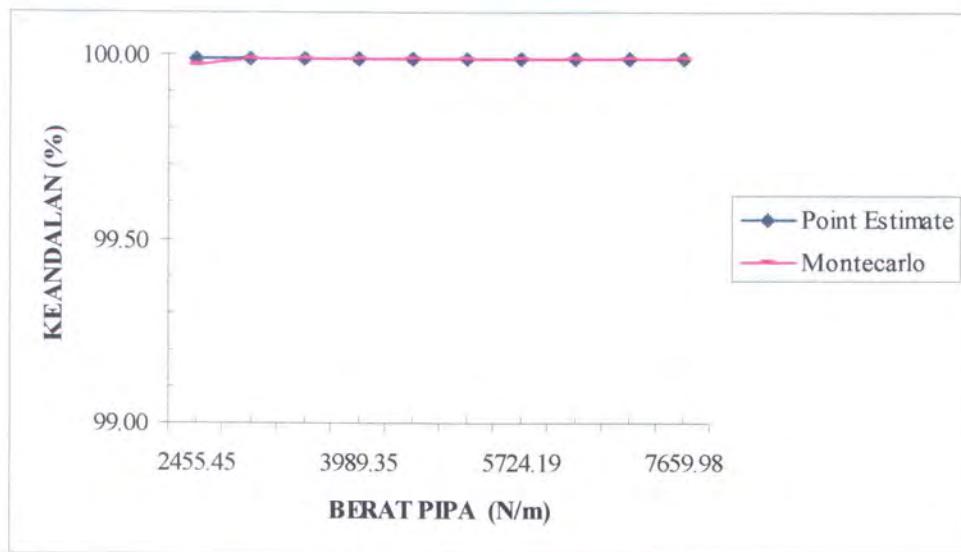


Grafik 4.8 : Perbandingan hasil nilai keandalan dengan menggunakan metode Pendekatan Titik dan metode simulasi *Montecarlo*, untuk setiap variasi tebal lapisan beton / berat struktur pipa pada zone II.

TUGAS AKHIR



Grafik 4.9 : Perbandingan hasil nilai keandalan dengan menggunakan metode Pendekatan Titik dan metode simulasi *Montecarlo*, untuk setiap variasi tebal lapisan beton / berat struktur pipa pada zone III.



Grafik 4.10 : Perbandingan hasil nilai keandalan dengan menggunakan metode Pendekatan Titik dan metode simulasi *Montecarlo*, untuk setiap variasi tebal lapisan beton / berat struktur pipa pada zone IV.

TUGAS AKHIR

Dari grafik diatas, untuk membandingkan perbedaan nilai keandalan yang diperoleh dari metode Perkiraan Titik dan simulasi *Montecarlo*, dapat dilakukan dengan mencari prosentase perbedaan relatif diantara keduanya. Prosentase perbedaan relatif adalah nilai absolut selisih nilai keandalan yang diperoleh dengan menggunakan kedua metode dibanding dengan nilai keandalan yang diperoleh dengan menggunakan salah satu metode. Besar prosentase perbedaan relatif untuk setiap variasi berat pipa dan seluruh zone rata-rata berkisar 0.61 %.

Dengan mempertimbangkan perbedaan nilai keandalan yang diperoleh dengan menggunakan metode Perkiraan Titik dan metode simulasi *Montecarlo*, pemilihan atau penggunaan salah satu metode untuk analisa stabilitas lateral sistem pipa bersifat subyektif. Namun untuk kasus ini, dengan prosentase perbedaan relatif diantara keduanya yang relatif kecil maka metode Perkiraan Titik dapat digunakan karena metode ini dapat dilakukan lebih sederhana, cepat dan murah dibandingkan dengan penggunaan metode simulasi *Montecarlo*. Disamping itu analisa yang dilakukan dengan menggunakan metode Perkiraan Titik tidak memerlukan jenis parameter dari data yang terlalu detail, tanpa harus mengetahui jenis distribusi dari masing-masing variabel acak, dapat dilakukan analisa dengan menggunakan rataan dan standar deviasi data. Simulasi *Montecarlo* membutuhkan waktu rata-rata 2 jam untuk melakukan analisa satu variasi tebal lapisan beton, hingga diperoleh hasil yang konvergen yaitu 40000 sampling numerik dan membutuhkan hardware dengan kemampuan lebih yang dapat mendukungnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Sesuai dengan permasalah dan tujuan dari Tugas Akhir, yaitu hubungan keandalan stabilitas sistem pipa dengan berat struktur pipa terhadap beban hidrodinamis di perairan Tuban, Jawa timur dengan menggunakan metode Perkiraan Titik dan simulasi *Montecarlo*, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Ketebalan lapisan beton minimum yang memenuhi kondisi analisa adalah 1.5 inchi. Penambahan berat struktur pipa cenderung menaikan nilai keandalan stabilitas pipa untuk semua zone dan kenaikan akan relatif konstan berkisar 99.99 % saat tebal lapisan beton mencapai ketebalan 2.5 inchi atau berat struktur pipa 3455.72 N/m. Untuk penggunaan tiga asumsi koefisien gesekan tanah dasar memberikan prosentase perbedaan relatif rata-rata berkisar 0.03% , sehingga analisa dapat dilakukan dengan asumsi koefisien gesekan tanah dasar sebagai besaran deterministik. Sedangkan keandalan stabilitas pipa akan cenderung bertambah untuk pertambahan kedalaman sepanjang jalur pipa, untuk tiap variasi tebal lapisan beton atau berat, dan akan mencapai nilai keandalan yang relatif konstan dengan nilai berkisar 99.99 % mulai kedalaman perairan 15 m.
2. Nilai keandalan yang diperoleh dengan menggunakan metode Perkiraan Titik dan simulasi Montecarlo menunjukan prosentase perbedaan relatif

TUGAS AKHIR

rata-rata berkisar 0.61%, sehingga metode Perkiraan Titik layak digunakan untuk analisa keandalan stabilitas pipa akibat beban-beban hidrodinamis di perairan Tuban, Jawa Timur.

5.2 Saran

Dari hasil analisa keandalan yang telah dilakukan ada beberapa hal yang perlu diperhatikan :

1. Untuk memperoleh pendekatan keandalan yang lebih baik maka variansi dari berat dan diameter pipa perlu ditambahkan sebagai variabel acak.
2. Analisa keandalan stabilitas lateral sistem pipa dapat ditambahkan dengan memperhitungkan tekanan dalam pipa akibat beban operasional dan proses *pigging*, dimana kondisi ini dapat menimbulkan efek getaran yang mungkin berpengaruh pada stabilitas lateral sistem pipa.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

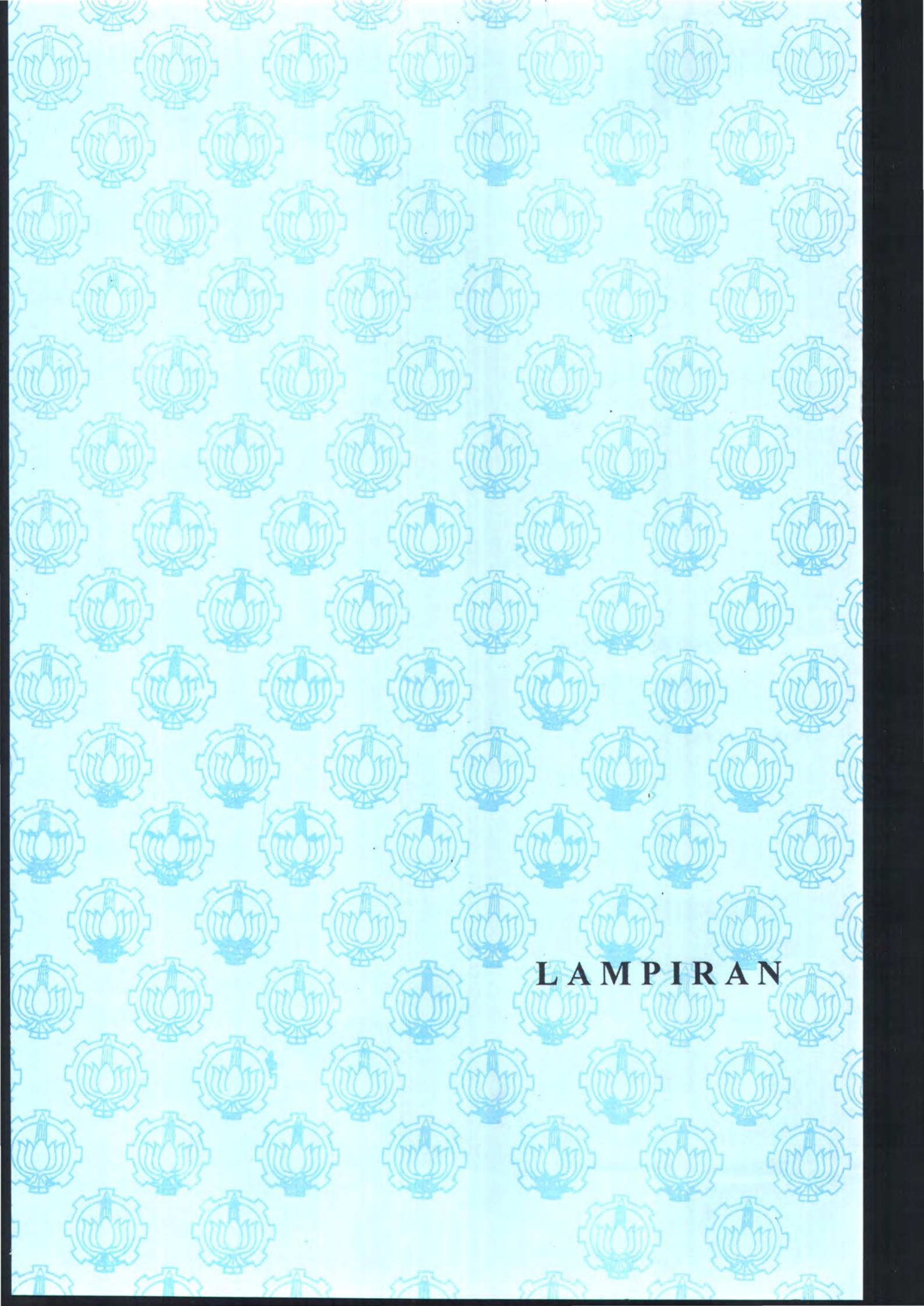
- Det Norske Veritas, 1981. **Rules For Submarine Pipeline**, Oslo, Noway, DnV
- Hallan M.G., Heaf N.J., and Wootton L.R., 1978. **Dynamics of Marine Structures : Methode of Calculating The Dynamic Response of Fixed Structures Subject to Wave And Current Action**, CIRIA Underwater Engineering Groups, London.
- Hines W.W. dan Montgomery D.C. , 1990. **Probabilita dan Statistik Dalam Ilmu Rekayasa dan Manajemen** ; Edisi Kedua, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Irfani A. F., 2000. **Pengembangan perangkat Lunak Untuk Perhitungan Bentangan bebas Pada Pipa Bawah Laut**, Jurusan Teknik Kelautan – FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Kottekoda N.T. dan Rosso R. , 1997. **Statistics, Probability, and Reliability For Civil And Environmental Engineers**, McGraw-Hill Comp.
- Mouselli A.H., 1981. **Offshore Pipeline Design, Analysis, And Methods.**, Pennwell Publishing Comp., Oklohama.
- O'connor P. D. T. ,1991. **Practical Reliability Engineering** ; Edisi 3, John Wiley and Sons.
- Sarpkaya T., 1981. **Mechanics of Wave Force on Offshore Structures**, Litton Educational Publishing Inc.
- Thoft-Christensen P., 1986. **Aplication of Structural Reliability Theory**, Springer-Verlag, Berlin.

Rosyid D. M. dan Rifai I., 1996. **Analisis Keandalan dan Resiko**, Jurusan Teknik Kelautan – FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Triatmodjo B. 1999. **Teknik Pantai**, Beta Offset, Yogyakarta.

Walpole R. E. dan Myers R. H., 1995. **Ilmu Peluang dan Statistika Untuk Insinyur dan Ilmuwan** ; Edisi Keempat, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Yustisi A.,2000. **Analisa Keandalan Terhadap Perambatan Buckling Pada Pipa Bawah Laut**, Jurusan Teknik Kelautan – FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

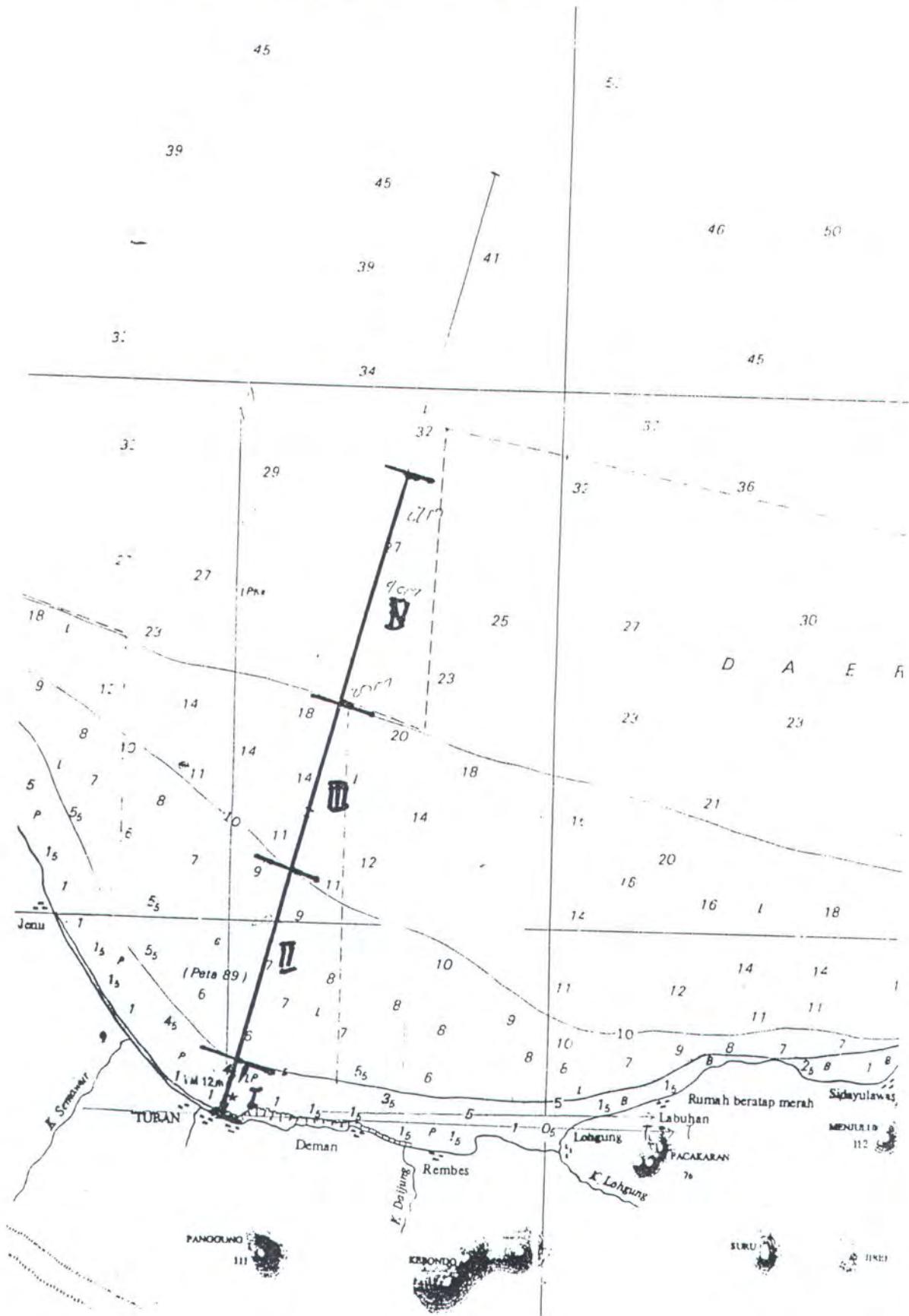


LAMPIRAN

LAMPIRAN A

RENCANA ROUTE PIPA BAWAH LAUT DAN DATA PIPA

Rencana Route Pipa Bawah Laut di Perairan Tuban Jawa Timur



Tabel A-1 : Desain properti pipa dan tekanan kerja yang diijinkan untuk pipa ASTM A 106, grade B seamless pipe – kode pipa pengolahan minyak untuk pipa bertekanan ANSI B31.1984 - toleransi korosi = 0.05

Nom pipe size in.	Sch. No.	Weight of pipe lb/ft.	O.D. in.	Wall thk. in.	I.D. (d) in.	d ⁵	Flow area sq ft	Allowable working pressures for temperatures (in F) not to exceed						
								-20 to 100	200	300	400	500	600	700
1/2	S40	.851	.840	.109	.672	.0901	.00211	7258	7258	7258	7258	7134	1953	1863
3/4	S40 X80	1,131 1,474	1,050	.113 .154	.824 .742	.3799 .2749	.00371	1933 3451	1933 3451	1933 3451	1933 3451	1827 3261	1572 2983	1525 2847
1	S40 X80 160 XX	1,679 2,172 2,644 3,659	1,315	.133 .179 .250 .358	1,049 .957 .815 .559	1,7700 .9027 .00367 .00196	.00600	2103 3468 3720 9224	2103 3468 3720 9224	2103 3468 3720 9224	2103 3468 3720 9224	1968 3277 3405 9334	1519 2000 2461 9010	1725 2000 2561 7868
1 + 1/2	S40 X80 160 XX	2,718 3,632 4,866 6,109	1,900	.145 .200 .281 .400	1,610 1,500 1,338 1,100	10,820 7,594 4,758 1,611	.01414 .01275 .00976 .00660	1672 2777 4494 7228	1672 2777 4494 7228	1672 2777 4494 7228	1672 2777 4494 7228	1580 2125 4247 6631	1446 2402 3867 6753	1379 1881 3707 5963
2	S40 X80 160 XX	3,653 5,022 7,445 9,030	2,275	.154 .218 .343 .436	2,067 1,929 1,687 1,503	37.72 27.41 13.74 7.67	.02339 .02050 .01536 .01232	1469 2488 4600 6754	1469 2488 4600 6754	1469 2488 4600 6754	1469 2488 4600 6754	1358 2351 4347 5939	1270 2152 3979 5435	1212 2013 3765 5185
3	S40 X80 160 XX	7,58 10,73 14,33 18,58	3,500	.216 .309 .438 .600	3,058 2,900 2,524 2,300	271.50 205.10 174.40 64.26	.05130 .04587 .03755 .02885	1640 2352 4122 6089	1640 2352 4122 6089	1640 2352 4122 6089	1640 2352 4122 6089	1550 2412 3853 5754	1419 2207 3566 5267	1333 1765 3401 5014
4	S40 X80 160 XX	10,79 14,99 22,51 27,54	4,300	.237 .337 .531 .674	4,026 3,826 3,438 3,152	1058.0 819.8 480.3 311.1	.08840 .07986 .06447 .05419	1439 2273 3928 5307	1439 2273 3928 5307	1439 2273 3928 5307	1439 2273 3928 5307	1350 2150 3750 5015	1244 1668 3441 4590	1187 1877 3282 4378
6	S40 X80 160 XX	18,98 28,58 45,30 53,17	6,625	.260 .432 .718 .864	8,065 5,761 5,187 4,897	8706. 6346. 3762. 2816.	.2006 .1810 .1469 .1008	1205 2062 3753 4659	1205 2062 3753 4659	1205 2062 3753 4659	1205 2062 3753 4659	1129 1948 3753 4659	1042 1783 3546 4630	954 1751 3547 3544
8	S40 X80 XX 160	28,56 43,4 72,4 74,7	8,625	.372 .500 .875 .906	7,981 7,675 6,875 6,813	32020. 25775. 15260. 14679.	.3474 .3171 .2378 .2372	1298 1864 3114 3699	1298 1864 3114 3699	1298 1864 3114 3699	1298 1864 3114 3699	1037 1761 3359 3498	930 1537 3074 3017	
10	S40 X80 160	40,5 54,7 115,7	10,750	.365 .500 1,175	10,072 9,750 8,500	101000. 68110. 44371.	.5475 .5185 .3941	1022 1484 3736	1022 1484 3736	1022 1484 3736	1022 1484 3736	966 1403 3531	884 1284 3232	843 1224 3082
12	S X 160	49,6 63,4 160,3	12,750	.375 .500 1,312	12,000 11,750 10,126	248800. 229700. 106461.	.7854 .7528 .5592	858 1245 3699	888 1245 3699	888 1245 3699	888 1245 3699	829 1177 3496	768 1077 3200	722 1027 3012
14	10 S30 X	36,7 54,6 72,1	14,000	.250 .375 .500	13,500 13,250 13,000	448400. 408394 371290	.9940 .9575 .9211	486 807 1132	486 807 1132	486 807 1132	486 807 1132	460 763 1069	421 698 979	401 666 934
16	10 S30 X40	42,1 67,6 82,8	16,000	.250 .375 .500	15,500 15,250 15,000	894660. 824801 759375	1,310 1,268 1,227	473 705 987	473 705 987	473 705 987	473 705 987	402 666 934	351 609 854	351 581 815
18	10 S X	47,4 70,6 93,5	18,000	.250 .375 .500	17,500 17,250 17,000	1641309. 1527400 1419000	1,670 1,622 1,575	377 525 876	377 625 876	377 625 876	377 625 876	357 591 828	326 541 737	311 516 722
20	10 S20 X30	52,7 78,6 104,1	20,000	.250 .375 .500	19,500 19,250 19,000	2819500. 2642352 2476099	2,074 2,021 1,969	339 562 787	339 562 787	339 562 787	339 562 787	321 531 743	293 486 680	280 404 649
24	10 S20 X	63,4 94,6 123,5	24,000	.250 .375 .500	23,500 23,250 23,000	2167030. 2093832 19436300	3,012 2,948 2,883	282 468 560	282 467 634	282 467 634	282 467 634	267 442 618	244 404 565	233 386 539

Note: The above allowable working pressures are calculated from Fig. 17-23 using a reduction in t_m to 87.5% of the wall thickness shown above to recognize mill wall tolerance of 12.5%.

LAMPIRAN B

**PERHITUNGAN KECEPATAN ARUS, PERAMALAN TINGGI
GELOMBANG, PERIODE GELOMBANG DAN PERHITUNGAN
PANJANG GELOMBANG**

Data Kecepatan Arus Steady Arah Normal Terhadap Pipa

Tabel B.1 : Perhitungan kecepatan arus steady normal terhadap pipa

U_{ps} (m/s)	U_{np} (m/s)	U_{arus} (m/s)	β	$U_{arus} \sin \beta$
		$U_{ps} + U_{np}$		
0.05	0.075	0.125	50	0.096
0.05	0.075	0.125	50	0.096
0.05	0.075	0.125	55	0.102
0.04	0.075	0.115	60	0.100
0.04	0.075	0.115	60	0.100
0.04	0.075	0.115	70	0.108
0.05	0.075	0.125	75	0.121
0.05	0.075	0.125	70	0.117
0.06	0.075	0.135	75	0.130
0.06	0.075	0.135	50	0.103
0.05	0.075	0.125	70	0.117
0.06	0.075	0.135	75	0.130
0.07	0.075	0.145	70	0.136
0.15	0.075	0.225	75	0.217
0.25	0.075	0.325	75	0.314
0.15	0.075	0.225	75	0.217
0.15	0.075	0.225	70	0.211
0.14	0.075	0.215	80	0.212
0.06	0.075	0.135	75	0.130
0.05	0.075	0.125	78	0.122
0.05	0.075	0.125	80	0.123
0.1	0.075	0.175	90	0.175
0.05	0.075	0.125	75	0.121
0.03	0.075	0.105	65	0.095
0.04	0.09	0.13	70	0.122
0.03	0.09	0.12	70	0.113
0.03	0.09	0.12	75	0.116
0.08	0.09	0.17	60	0.147
0.04	0.09	0.13	70	0.122
0.02	0.09	0.11	60	0.095
0.05	0.09	0.14	70	0.132
0.05	0.09	0.14	70	0.132
0.04	0.09	0.13	90	0.130
0.06	0.09	0.15	40	0.096
0.08	0.09	0.17	35	0.098
0.12	0.09	0.21	50	0.161
0.12	0.09	0.21	60	0.182
0.15	0.09	0.24	65	0.218
0.13	0.09	0.22	70	0.207
0.12	0.09	0.21	60	0.182
0.2	0.09	0.29	65	0.263
0.15	0.09	0.24	60	0.208
0.18	0.09	0.27	60	0.234
0.17	0.09	0.26	60	0.225
0.15	0.09	0.24	60	0.208
0.08	0.09	0.17	60	0.147
0.05	0.09	0.14	60	0.121
0.06	0.09	0.15	60	0.130

0.05	0.07	0.12	60	0.104
0.04	0.07	0.11	65	0.100
0.03	0.07	0.1	50	0.077
0.04	0.07	0.11	65	0.100
0.04	0.07	0.11	60	0.095
0.04	0.07	0.11	60	0.095
0.04	0.07	0.11	60	0.095
0.05	0.07	0.12	60	0.104
0.05	0.07	0.12	60	0.104
0.06	0.07	0.13	60	0.113
0.05	0.07	0.12	40	0.077
0.06	0.07	0.13	85	0.130
0.14	0.07	0.21	80	0.207
0.15	0.07	0.22	80	0.217
0.17	0.07	0.24	85	0.239
0.18	0.07	0.25	86	0.249
0.15	0.07	0.22	80	0.217
0.13	0.07	0.2	80	0.197
0.1	0.07	0.17	80	0.167
0.05	0.07	0.12	70	0.113
0.05	0.07	0.12	70	0.113
0.06	0.07	0.13	80	0.128
0.05	0.07	0.12	80	0.118
0.06	0.07	0.13	65	0.118
0.06	0.08	0.14	70	0.132
0.05	0.08	0.13	70	0.122
0.05	0.08	0.13	70	0.122
0.04	0.08	0.12	70	0.113
0.04	0.08	0.12	75	0.116
0.04	0.08	0.12	90	0.120
0.05	0.08	0.13	0	0.000
0.05	0.08	0.13	30	0.065
0.04	0.08	0.12	60	0.104
0.12	0.08	0.2	10	0.035
0.15	0.08	0.23	80	0.227
0.15	0.08	0.23	80	0.227
0.13	0.08	0.21	60	0.182
0.15	0.08	0.23	70	0.216
0.15	0.08	0.23	70	0.216
0.16	0.08	0.24	70	0.226
0.16	0.08	0.24	70	0.226
0.13	0.08	0.21	60	0.182
0.08	0.08	0.16	65	0.145
0.04	0.08	0.12	50	0.092
0.04	0.08	0.12	55	0.098
0.05	0.08	0.13	50	0.100
0.04	0.08	0.12	45	0.085

**Peramalan Panjang dan Periode Gelombang Dengan Menggunakan
Kecepatan Angin dan Panjang Fetch**

Tabel B.2 : Panjang Fetch Arah Utara

α	X_i (km)	$\cos \alpha$	$X_i \cos \alpha$ (km)
-25	419.4	0.91	380.11
-20	408.15	0.94	383.54
-15	414	0.97	399.89
-10	424.35	0.98	417.90
-5	359.1	1.00	357.73
0	370.8	1.00	370.80
5	378.9	1.00	377.46
10	372.15	0.98	366.50
15	418.5	0.97	404.24
20	388.35	0.94	364.93
25	391.5	0.91	354.82
		10.59	4177.91

Panjang Fetch Efektif (F_{eff}) :

$$F_{\text{eff}} = \frac{F \cos \alpha}{\cos \alpha} = \frac{4177.91}{10.59}$$

$$= 394.67 \text{ km}$$

Tabel B.3 : Perhitungan Panjang dan Periode Gelombang Arah Utara

U_L (m/s ²)	R_L	R_T	U_{10} (m/s ²)	U_T (m/s ²)	U_W (m/s ²)	U_A (m/s ²)	H (m)	T (m)
			$U(y) \left(\frac{10}{y}\right)^{1/7}$	$U(10) R_T$	$R_L U_L$	$0.71 U^{1.23}$		
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.7	1.15	5.7
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.7	1.15	5.7
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.5	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.5	0.64	4.4
3.5	1.6	1.1	3.11	3.42	5.47	5.7	0.82	4.82
5	1.45	1.1	4.44	4.88	7.08	7.9	1.66	6.63
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4

3.5	1.6	1.1	3.11	3.42	5.47	5.7	0.82	4.82
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.5	0.64	4.4
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.1	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
3	1.65	1.1	2.66	2.93	4.83	4.9	0.64	4.4
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.1	0.64	4.4
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.5	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.5	0.64	4.4
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.5	0.64	4.4
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.1	0.64	4.4
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.7	1.15	5.7
5	1.45	1.1	4.44	4.88	7.08	7.9	1.66	6.63
5	1.45	1.1	4.44	4.88	7.08	7.9	1.66	6.63
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.1	0.64	4.4
3.5	1.6	1.1	3.11	3.42	5.47	5.7	0.82	4.82
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.5	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.5	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.5	0.64	4.4
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.5	0.64	4.4
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.5	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.1	0.64	4.4
3.5	1.6	1.1	3.11	3.42	5.47	5.7	0.82	4.82
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.1	0.64	4.4
3.5	1.6	1.1	3.11	3.42	5.47	5.7	0.82	4.82
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.1	0.64	4.4
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.1	0.64	4.4
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.7	1.15	5.7
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.5	0.64	4.4
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.1	0.64	4.4
5	1.45	1.1	4.44	4.88	7.08	7.9	1.66	6.63
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.7	1.15	5.7
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.1	0.64	4.4
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.1	0.64	4.4
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.7	1.15	5.7
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.5	0.64	4.4
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.1	0.64	4.4
5	1.45	1.1	4.44	4.88	7.08	7.9	1.66	6.63
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.7	1.15	5.7
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.1	0.64	4.4
3.5	1.6	1.1	3.11	3.42	5.47	5.7	0.82	4.82
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.1	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.5	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.5	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.5	0.64	4.4
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.5	0.64	4.4
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.7	1.15	5.7
5	1.45	1.1	4.44	4.88	7.08	7.9	1.66	6.63
5	1.45	1.1	4.44	4.88	7.08	7.9	1.66	6.63

1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.5	0.64	4.4
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.1	0.64	4.4
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.7	1.15	5.7
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
3.5	1.6	1.1	3.11	3.42	5.47	5.7	0.82	4.82
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.7	1.15	5.7
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
6.5	1.32	1.1	5.77	6.35	8.38	9.7	2.38	8.08
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.5	0.64	4.4
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
3.5	1.6	1.1	3.11	3.42	5.47	5.7	0.82	4.82
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.7	1.15	5.7
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.7	1.15	5.7
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
5	1.45	1.1	4.44	4.88	7.08	7.9	1.66	6.63
5	1.45	1.1	4.44	4.88	7.08	7.9	1.66	6.63
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.7	1.15	5.7
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.7	1.15	5.7
5	1.45	1.1	4.44	4.88	7.08	7.9	1.66	6.63
5	1.45	1.1	4.44	4.88	7.08	7.9	1.66	6.63
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
5	1.45	1.1	4.44	4.88	7.08	7.9	1.66	6.63
5	1.45	1.1	4.44	4.88	7.08	7.9	1.66	6.63
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.7	1.15	5.7
3.5	1.6	1.1	3.11	3.42	5.47	5.7	0.82	4.82
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
5	1.45	1.1	4.44	4.88	7.08	7.9	1.66	6.63
4.5	1.5	1.1	4.00	4.39	6.59	7.2	1.38	6.03
3.5	1.6	1.1	3.11	3.42	5.47	5.7	0.82	4.82
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.0	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.3	0.64	4.4
3.5	1.6	1.1	3.11	3.42	5.47	5.7	0.82	4.82
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.1	0.64	4.4
3.5	1.6	1.1	3.11	3.42	5.47	5.7	0.82	4.82
5	1.45	1.1	4.44	4.88	7.08	7.9	1.66	6.63
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.7	1.15	5.7

Tabel B.4 : Panjang Fetch Arah Timur Laut

α	X_i (km)	$\cos \alpha$	$X_i \cos \alpha$ (km)
-25	369.9	0.91	335.24
-20	378	0.94	355.20
-15	418.5	0.97	404.24
-10	441	0.98	434.30
-5	427.5	1.00	425.87
0	405	1.00	405.00
5	509.4	1.00	507.46
10	515.25	0.98	507.42
15	769.5	0.97	743.28
20	783	0.94	735.78
25	815.4	0.91	739.00
		10.59	5592.81

Panjang Fetch Efektif (F_{eff}) :

$$F_{\text{eff}} = \frac{F \cos \alpha}{\cos \alpha} = \frac{5592.81}{10.59}$$

$$= 528.33 \text{ km}$$

Tabel B.5 : Perhitungan Panjang dan Periode Gelombang Arah Timur Laut

U_L (m/s ²)	R_L	R_T	U_{10} (m/s ²)	U_T (m/s ²)	U_W (m/s ²)	U_A (m/s ²)	H (m)	T (m)
			$U(y) \left(\frac{10}{y}\right)^{1/7}$	$U(10) R_T$	$R_L U_L$	$0.71 U^{1/23}$		
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
4.5	1.47	1.1	4.00	4.39	6.46	7.04	1.25	5.89
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
6	1.38	1.1	5.33	5.86	8.09	9.29	2.22	7.82
5	1.42	1.1	4.44	4.88	6.93	7.69	1.58	6.45

2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
3.5	1.55	1.1	3.11	3.42	5.30	5.52	0.7	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
4.5	1.47	1.1	4.00	4.39	6.46	7.04	1.25	5.89
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
3.5	1.55	1.1	3.11	3.42	5.30	5.52	0.7	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
2	1.7	1.1	1.78	1.95	3.32	3.11	0.64	4.4
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
3.5	1.55	1.1	3.11	3.42	5.30	5.52	0.7	4.4
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
4.5	1.47	1.1	4.00	4.39	6.46	7.04	1.25	5.89
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
6	1.38	1.1	5.33	5.86	8.09	9.29	2.22	7.82
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
3.5	1.55	1.1	3.11	3.42	5.30	5.52	0.7	4.4
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4

1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3.5	1.55	1.1	3.11	3.42	5.30	5.52	0.7	4.4
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
4.5	1.47	1.1	4.00	4.39	6.46	7.04	1.25	5.89
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
3.5	1.55	1.1	3.11	3.42	5.30	5.52	0.7	4.4
3.5	1.55	1.1	3.11	3.42	5.30	5.52	0.7	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
6	1.38	1.1	5.33	5.86	8.09	9.29	2.22	7.82
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
3.5	1.55	1.1	3.11	3.42	5.30	5.52	0.7	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
3.5	1.55	1.1	3.11	3.42	5.30	5.52	0.7	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4

2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
4.5	1.47	1.1	4.00	4.39	6.46	7.04	1.25	5.89
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
3.5	1.55	1.1	3.11	3.42	5.30	5.52	0.7	4.4
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
4.5	1.47	1.1	4.00	4.39	6.46	7.04	1.25	5.89
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
4.5	1.47	1.1	4.00	4.39	6.46	7.04	1.25	5.89
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
3.5	1.55	1.1	3.11	3.42	5.30	5.52	0.7	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
4.5	1.47	1.1	4.00	4.39	6.46	7.04	1.25	5.89
3.5	1.55	1.1	3.11	3.42	5.30	5.52	0.7	4.4
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21

2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
6	1.38	1.1	5.33	5.86	8.09	9.29	2.22	7.82
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
3.5	1.55	1.1	3.11	3.42	5.30	5.52	0.7	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
3.5	1.55	1.1	3.11	3.42	5.30	5.52	0.7	4.4
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
4.5	1.47	1.1	4.00	4.39	6.46	7.04	1.25	5.89
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
4.5	1.47	1.1	4.00	4.39	6.46	7.04	1.25	5.89
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
3.5	1.55	1.1	3.11	3.42	5.30	5.52	0.7	4.4
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
6	1.38	1.1	5.33	5.86	8.09	9.29	2.22	7.82
6	1.38	1.1	5.33	5.86	8.09	9.29	2.22	7.82
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4

3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
1.5	1.85	1.1	1.33	1.46	2.71	2.42	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4
1	1.95	1.1	0.89	0.98	1.90	1.57	0.64	4.4
5	1.43	1.1	4.44	4.88	6.98	7.75	1.5	6.5
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
3	1.59	1.1	2.66	2.93	4.66	4.71	0.64	4.4
4	1.5	1.1	3.55	3.91	5.86	6.25	1	5.21
2.5	1.7	1.1	2.22	2.44	4.15	4.09	0.64	4.4
2	1.76	1.1	1.78	1.95	3.44	3.24	0.64	4.4

Tabel B.6 : Panjang Fetch Arah Timur

α	X_i (km)	$\cos \alpha$	$X_i \cos \alpha$ (km)
-25	733.5	0.91	664.78
-20	819	0.94	769.61
-15	805.5	0.97	778.05
-10	119.25	0.98	117.44
-5	94.5	1.00	94.14
0	81	1.00	81.00
5	76.5	1.00	76.21
10	67.5	0.98	66.47
15	63	0.97	60.85
20	54	0.94	50.74
25	45	0.91	40.78
	10.59		2800.08

Panjang Fetch Efektif (F_{eff}) :

$$F_{\text{eff}} = \frac{F \cos \alpha}{\cos \alpha} = \frac{2800.08}{10.59}$$

$$= 264.51 \text{ km}$$

Tabel B.7 : Perhitungan Panjang dan Periode Gelombang Arah Timur

U_L (m/s ²)	R_L	R_T	U_{10} (m/s ²)	U_T (m/s ²)	U_W (m/s ²)	U_A (m/s ²)	H (m)	T (m)
			$\frac{10}{y} \left(\frac{U(y)}{10}\right)^{1/7}$	$U(10) R_T$	$R_L U_L$	$0.71 U^{1.23}$		
3.5	1.6	1.1	3.11	3.42	5.47	5.74	0.82	4.82
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.04	0.64	4.4
4.5	1.5	1.1	4.00	4.39	6.59	7.22	1.38	6.03
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.47	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.66	1.15	5.7
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.04	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.47	0.64	4.4
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.15	0.64	4.4
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.15	0.64	4.4
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.47	0.64	4.4
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.47	0.64	4.4
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.47	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.33	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.33	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.33	0.64	4.4
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.04	0.64	4.4
5	1.45	1.1	4.44	4.88	7.08	7.89	1.66	6.63
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.66	1.15	5.7
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.66	1.15	5.7
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.47	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.47	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.33	0.64	4.4
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.47	0.64	4.4
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.66	1.15	5.7
6	1.38	1.1	5.33	5.86	8.09	9.29	2.22	7.82
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.04	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.33	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.33	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.33	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.33	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.33	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.33	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.33	0.64	4.4
4	1.58	1.1	3.55	3.91	6.17	6.66	1.15	5.7
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.15	0.64	4.4
2.5	1.72	1.1	2.22	2.44	4.20	4.15	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4

1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.47	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.33	0.64	4.4
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.47	0.64	4.4
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.47	0.64	4.4
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.04	0.64	4.4
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.04	0.64	4.4
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.04	0.64	4.4
3.5	1.6	1.1	3.11	3.42	5.47	5.74	0.82	4.82
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.47	0.64	4.4
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.04	0.64	4.4
1.5	1.88	1.1	1.33	1.46	2.75	2.47	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.33	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.33	0.64	4.4
2	1.8	1.1	1.78	1.95	3.52	3.33	0.64	4.4
3	1.68	1.1	2.66	2.93	4.92	5.04	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4
1	1.93	1.1	0.89	0.98	1.88	1.55	0.64	4.4

Perhitungan Panjang Gelombang Dengan Menggunakan Tabel Fungsi d/L Untuk Pertambahan Nilai d/L₀

Tabel B.8 : Perhitungan panjang gelombang dengan menggunakan tabel fungsi

d/L untuk pertambahan nilai d/L₀, semua kedalaman Zone jalur pipa.

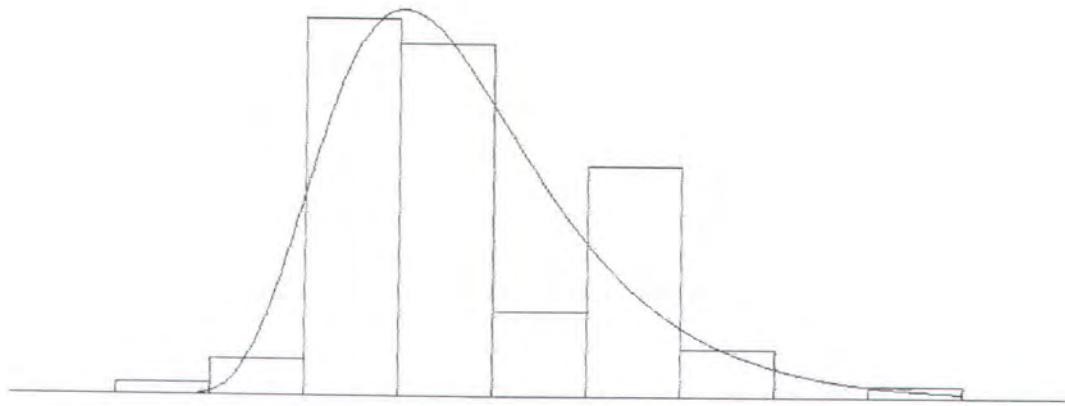
LAMPIRAN C

PEMILIHAN JENIS DAN DISTRIBUSI STATISTIK VARIABEL ACAK



**Hasil Pengujian Jenis Dan Distribusi Statistik Tiap Variabel Acak Dengan
Menggunakan Software Arena / Input Analyzer**

1. Kecepatan Arus Steady



Distribution Summary

Distribution: Lognormal
 Expression: LOGN(0.145, 0.0548)
 Square Error: 0.029051

Chi Square Test

Number of intervals = 4
 Degrees of freedom = 1
 Test Statistic = 21.2
 Corresponding p-value < 0.005

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.141
 Corresponding p-value = 0.0437

Data Summary

Number of Data Points = 95
 Min Data Value = 0.0347
 Max Data Value = 0.314

Sample Mean = 0.145
 Sample Std Dev = 0.0537

Histogram Summary
 Histogram Range = 0 to 0.35
 Number of Intervals = 9

2. Tinggi Gelombang



Distribution Summary
 Distribution: Lognormal
 Expression: $0.46 + \text{LOGN}(0.35, 0.273)$
 Square Error: 0.271360

Chi Square Test
 Number of intervals = 11
 Degrees of freedom = 8
 Test Statistic = 765
 Corresponding p-value < 0.005

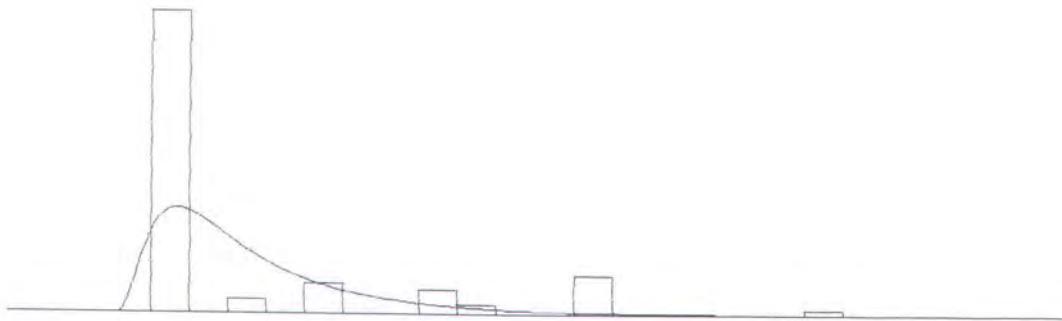
Kolmogorov-Smirnov Test
 Test Statistic = 0.266
 Corresponding p-value < 0.01

Data Summary
 Number of Data Points = 522
 Min Data Value = 0.64
 Max Data Value = 2.38

Sample Mean = 0.831
 Sample Std Dev = 0.352

Histogram Summary
 Histogram Range = 0.46 to 2.56
 Number of Intervals = 22

3. Periode Gelombang



Distribution Summary
 Distribution: Lognormal
 Expression: $4.03 + \text{LOGN}(0.76, 0.642)$
 Square Error: 0.308782

Chi Square Test
 Number of intervals = 11
 Degrees of freedom = 8
 Test Statistic = $1.03e+003$
 Corresponding p-value < 0.005
 Kolmogorov-Smirnov Test
 Test Statistic = 0.269
 Corresponding p-value < 0.01

Data Summary
 Number of Data Points = 522
 Min Data Value = 4.4
 Max Data Value = 8.08
 Sample Mean = 4.84

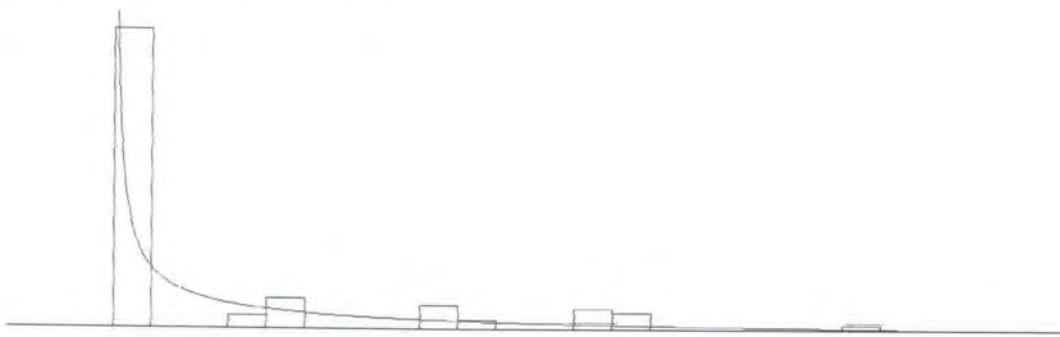
Sample Std Dev = 0.804

Histogram Summary

Histogram Range = 4.03 to 8.45

Number of Intervals = 22

4. Panjang Gelombang Untuk Zone I



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: $20 + 22 * \text{BETA}(0.297, 1.75)$

Square Error: 0.059404

Chi Square Test

Number of intervals = 13

Degrees of freedom = 10

Test Statistic = 346

Corresponding p-value < 0.005

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.748

Corresponding p-value < 0.01

Data Summary

Number of Data Points = 522

Min Data Value = 20.8

Max Data Value = 41.1

Sample Mean = 23.2

Sample Std Dev = 4.44

Histogram Summary

Histogram Range = 20 to 42

Number of Intervals = 22

5. Panjang Gelombang Untuk Zone II



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: $28 + 38 * \text{BETA}(0.19, 1.23)$

Square Error: 0.038232

Chi Square Test

Number of intervals = 13

Degrees of freedom = 10

Test Statistic = 349

Corresponding p-value < 0.005

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.42

Corresponding p-value < 0.01

Data Summary

Number of Data Points = 522

Min Data Value = 28.5

Max Data Value = 65.7

Sample Mean = 33.1

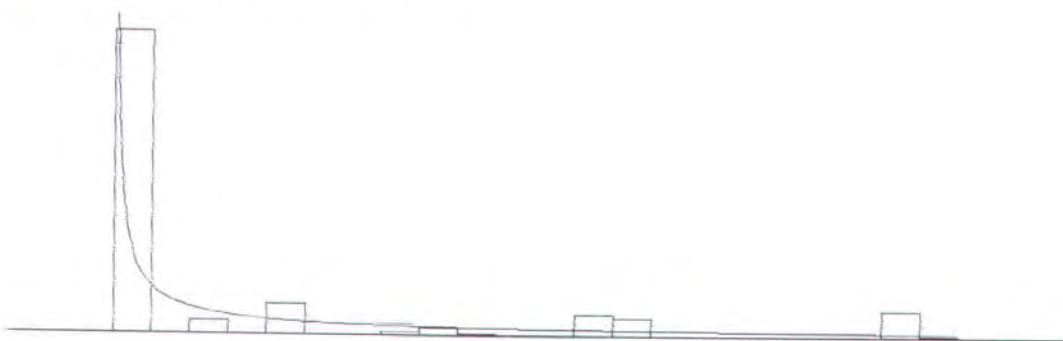
Sample Std Dev = 8.29

Histogram Summary

Histogram Range = 28 to 66

Number of Intervals = 22

6. Panjang Gelombang Untuk Zone III



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: $30 + 53 * \text{BETA}(0.219, 1.04)$

Square Error: 0.057678

Chi Square Test

Number of intervals = 15

Degrees of freedom = 12

Test Statistic = 287

Corresponding p-value < 0.005

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.133

Corresponding p-value < 0.01

Data Summary

Number of Data Points = 522

Min Data Value = 30.1

Max Data Value = 82.8

Sample Mean = 37.8

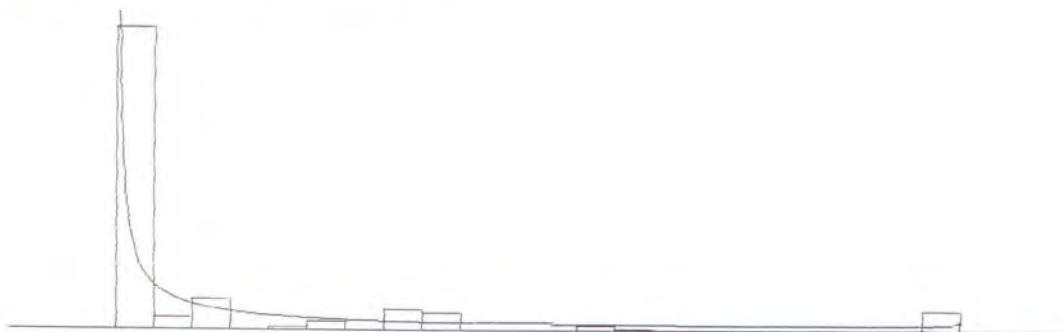
Sample Std Dev = 14.5

Histogram Summary

Histogram Range = 30 to 83

Number of Intervals = 22

7. Panjang Gelombang Untuk Zone IV



Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: $30 + 102 * \text{BETA}(0.21, 0.874)$

Square Error: 0.050496

Chi Square Test

Number of intervals = 16

Degrees of freedom = 13

Test Statistic = 214

Corresponding p-value < 0.005

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.262

Corresponding p-value < 0.01

Data Summary

Number of Data Points = 522

Min Data Value = 30.2

Max Data Value = 132

Sample Mean = 41.2

Sample Std Dev = 24.1

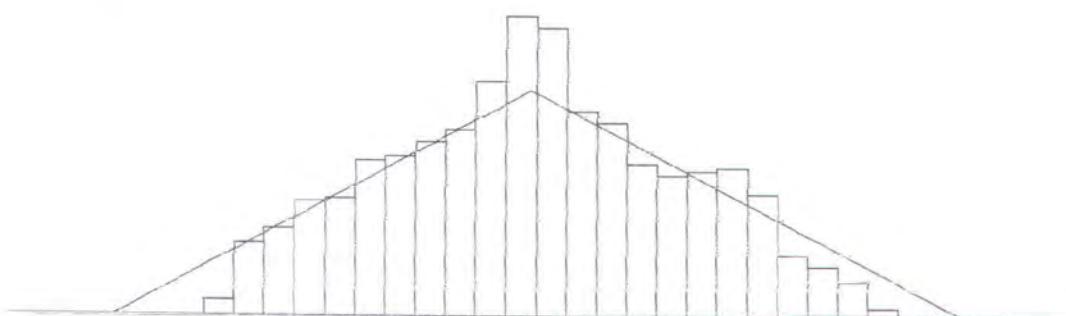
Histogram Summary

Histogram Range = 30 to 132

Number of Intervals = 22

8. Koefisien Gesekan Tanah Dengan Asumsi Distribusi Triangular (0.5 0.6

0.7)



Distribution Summary

Distribution: Triangular

Expression: TRIA(0.48, 0.598, 0.72)

Square Error: 0.002231

Chi Square Test

Number of intervals = 24

Degrees of freedom = 22

Test Statistic = 75.5

Corresponding p-value < 0.005

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.0479

Corresponding p-value = 0.0438

Data Summary

Number of Data Points = 833

Min Data Value = 0.506

Max Data Value = 0.698

Sample Mean = 0.599

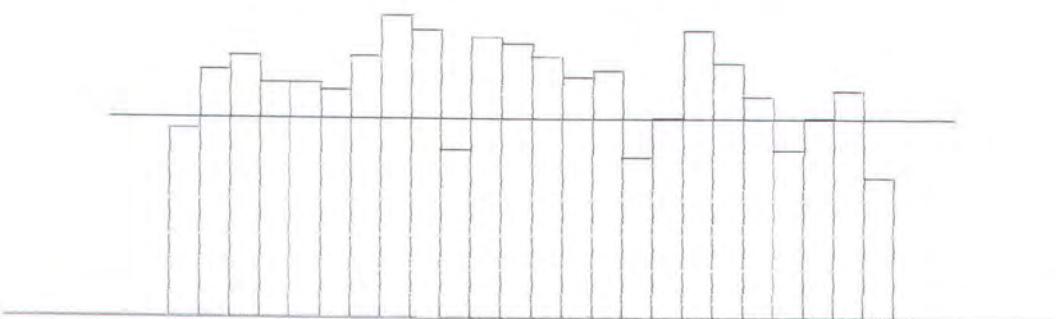
Sample Std Dev = 0.0417

Histogram Summary

Histogram Range = 0.48 to 0.72

Number of Intervals = 28

9. Koefisien Gesekan Tanah Dengan Asumsi Distribusi Uniform (0.5 - 0.7)



Distribution Summary

Distribution: Uniform

Expression: UNIF(0.48, 0.72)

Square Error: 0.007392

Chi Square Test

Number of intervals = 28

Degrees of freedom = 27

Test Statistic = 172

Corresponding p-value < 0.005

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.0893

Corresponding p-value < 0.01

Data Summary

Number of Data Points = 833

Min Data Value = 0.5

Max Data Value = 0.7

Sample Mean = 0.596

Sample Std Dev = 0.057

Histogram Summary

Histogram Range = 0.48 to 0.72

Number of Intervals = 28

LAMPIRAN D

TABEL PERHITUNGAN PERKIRAAN TITIK

Koefisien Gesekan Tanah Ditentukan Deterministik

Tabel D.1 : Tabel perhitungan Indeks Keandalan untuk variasi tebal lapisan beton 0.5 inchi pada zone I ($d=2.8$ m).

θ	=	0	π	=	3.14
d	=	2.8	m	σ_1	= 0.054
μ_1	=	0.145	m	σ_2	= 0.352
μ_2	=	0.831	m	σ_3	= 0.804
μ_3	=	4.84	m	σ_4	= 4.44
μ_4	=	23.2	m	t_c	= 0.5 inchi (***)

Z_k	k	η_{1k}	η_{2k}	η_{3k}	η_{4k}	c	η_{\min}	η_{\max}	1	2	3	4	U_{arus}	U_0	U_{eff}	U_{gel}	U_0	U_{eff}	W	F_L	F_D	F_I	Z_k	Z_k^2
Z_1	1	1	1	1	1	4.897	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.016	0.199	0.172	0.137	0.801	0.692	0.551	-223.271	49.944	61.332	0	-334.547	111921.684
Z_2	2	-1	1	1	1	4.897	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.016	0.091	0.079	0.063	0.801	0.692	0.551	-223.271	41.016	53.485	0	-317.771	100978.676
Z_3	3	1	-1	1	1	4.897	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.006	0.199	0.172	0.137	0.392	0.339	0.270	-223.271	21.539	31.869	0	-276.679	76551.487
Z_4	4	-1	-1	1	1	4.897	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.006	0.091	0.079	0.063	0.392	0.339	0.270	-223.271	15.761	24.001	0	-263.033	69186.274
Z_5	5	1	1	-1	1	6.848	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.030	0.199	0.172	0.137	0.999	0.863	0.688	-223.271	71.747	78.201	0	-373.219	139292.176
Z_6	6	-1	1	-1	1	6.848	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.030	0.091	0.079	0.063	0.999	0.863	0.688	-223.271	58.869	68.481	0	-350.621	122934.961
Z_7	7	1	-1	-1	1	6.848	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.012	0.199	0.172	0.137	0.499	0.431	0.344	-223.271	27.804	39.646	0	-290.721	84518.431
Z_8	8	-1	-1	-1	1	6.848	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.012	0.091	0.079	0.063	0.499	0.431	0.344	-223.271	21.522	31.848	0	-276.641	76530.083
Z_9	9	1	1	1	-1	3.324	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.016	0.199	0.172	0.137	0.544	0.469	0.374	-223.271	30.587	42.838	0	-296.696	88028.734
Z_{10}	10	-1	1	1	-1	3.324	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.016	0.091	0.079	0.063	0.544	0.469	0.374	-223.271	24.065	35.103	0	-282.439	79771.714
Z_{11}	11	1	-1	1	-1	3.324	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.006	0.199	0.172	0.137	0.266	0.230	0.183	-223.271	14.811	22.649	0	-260.731	67980.548
Z_{12}	12	-1	-1	1	-1	3.324	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.006	0.091	0.079	0.063	0.266	0.230	0.183	-223.271	9.656	15.069	0	-247.996	61502.249
Z_{13}	13	1	1	-1	-1	4.648	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.030	0.199	0.172	0.137	0.678	0.585	0.467	-223.271	39.827	52.364	0	-315.462	99516.065
Z_{14}	14	-1	1	-1	-1	4.648	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.030	0.091	0.079	0.063	0.678	0.585	0.467	-223.271	32.326	44.753	0	-300.350	90209.905
Z_{15}	15	1	-1	-1	-1	4.648	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.012	0.199	0.172	0.137	0.339	0.293	0.233	-223.271	18.611	27.961	0	-269.842	72814.967
Z_{16}	16	-1	-1	-1	-1	4.648	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.012	0.091	0.079	0.063	0.339	0.293	0.233	-223.271	13.080	20.148	0	-256.499	65791.720

Sum -4713.25 1407529.67

$$E[Z] = (-4713.2466 / 16) = -294.578$$

$$\text{Var}[Z] = (1407529.673 / 16) - (-294.5779)^2 = 1194.457$$

$$\beta = (-294.5779) / (1194.45669^{0.5}) = -8.523$$

Tabel D.2 : Tabel perhitungan Indeks Keandalan untuk variasi tebal lapisan beton 0.5 inchi pada zone II (d=8 m).

$$\begin{aligned}
 \theta &= 0 & \pi &= 3.14 \\
 d &= 8 \text{ m} & m^* \sigma_1 &= 0.054 \\
 \mu_1 &= 0.145 \text{ m} & \sigma_2 &= 0.352 \\
 \mu_2 &= 0.831 \text{ m} & \sigma_3 &= 0.804 \\
 \mu_3 &= 4.84 \text{ m} & \sigma_4 &= 8.29 \quad (** \\
 \mu_4 &= 33.1 \text{ m} & (** \text{ tc} &= 0.5 \text{ inchi } (***
 \end{aligned}$$

Z _k	k	η_{1k}	η_{2k}	η_{3k}	η_{4k}	a	b	c	e	f	g	h	U _{arus}	U ₀	U _{eff}	U _{gel}	U ₀	U _{eff}	W	F _L	F _D	F _I	Z _k	Z _k ²
Z ₁	1	1	1	1	1	0.658	0.152	0.788	0.494	0.090	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.535	0.405	0.323	-223.271	25.901	37.371	0	-286.543	82107.043
Z ₂	2	-1	1	1	1	0.658	0.152	0.788	0.494	0.090	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.535	0.405	0.323	-223.271	19.833	29.612	0	-272.716	74374.201
Z ₃	3	1	-1	1	1	0.266	0.152	0.788	0.200	0.036	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.213	0.161	0.128	-223.271	10.840	16.844	0	-250.954	62977.967
Z ₄	4	-1	-1	1	1	0.266	0.152	0.788	0.200	0.036	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.213	0.161	0.128	-223.271	6.256	9.875	0	-239.402	57313.502
Z ₅	5	1	1	-1	1	0.920	0.152	0.788	0.690	0.090	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.749	0.567	0.452	-223.271	38.111	50.708	0	-312.091	97400.592
Z ₆	6	-1	1	-1	1	0.920	0.152	0.788	0.690	0.090	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.749	0.567	0.452	-223.271	30.883	43.169	0	-297.323	88401.093
Z ₇	7	1	-1	-1	1	0.373	0.152	0.788	0.279	0.036	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.297	0.225	0.180	-223.271	14.446	22.126	0	-259.843	67518.310
Z ₈	8	-1	-1	-1	1	0.373	0.152	0.788	0.279	0.036	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.297	0.225	0.180	-223.271	9.380	14.652	0	-247.303	61158.770
Z ₉	9	1	1	1	-1	0.658	0.253	0.353	0.494	0.150	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.233	0.177	0.141	-223.271	11.696	18.115	0	-253.081	64050.132
Z ₁₀	10	-1	1	1	-1	0.658	0.253	0.353	0.494	0.150	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.233	0.177	0.141	-223.271	6.983	10.996	0	-241.249	58201.176
Z ₁₁	11	1	-1	1	-1	0.266	0.253	0.353	0.200	0.061	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.094	0.071	0.057	-223.271	6.352	10.023	0	-239.647	57430.554
Z ₁₂	12	-1	-1	1	-1	0.266	0.253	0.353	0.200	0.061	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.094	0.071	0.057	-223.271	2.702	4.310	0	-230.283	53030.049
Z ₁₃	13	1	1	-1	-1	0.920	0.253	0.353	0.690	0.150	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.326	0.247	0.197	-223.271	15.742	23.973	0	-262.986	69161.521
Z ₁₄	14	-1	1	-1	-1	0.920	0.253	0.353	0.690	0.150	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.326	0.247	0.197	-223.271	10.535	16.388	0	-250.194	62596.911
Z ₁₅	15	1	-1	-1	-1	0.373	0.253	0.353	0.279	0.061	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.132	0.100	0.080	-223.271	7.692	12.086	0	-243.049	59072.922
Z ₁₆	16	-1	-1	-1	-1	0.373	0.253	0.353	0.279	0.061	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.132	0.100	0.080	-223.271	3.707	5.896	0	-232.874	54230.190

sum -4119.54 1069024.93

$$E[Z] = (-4119.538 / 16) = -257.471$$

$$\text{Var}[Z] = (1069024.93 / 16) - (-257.471)^2 = 522.675$$

$$\beta = (-257.471) / (522.675^{0.5}) = -11.262$$

D2

Koefisien Gesekan Tanah Ditentukan Uniform

Tabel D.3 : Tabel perhitungan Indeks Keandalan untuk variasi tebal lapisan beton 0.5 inchi pada zone I ($d = 2.8 \text{ m}$).

θ	=	0	π	=	3.14
d	=	2.8	m	σ_1	= 0.054
μ_1	=	0.145	m	σ_2	= 0.352
μ_2	=	0.831	m	σ_3	= 0.804
μ_3	=	4.84	m	σ_4	= 4.44
μ_4	=	23.2	m	σ_5	= 0.057
μ_5	=	0.592	t_c	=	0.5 inchi (***)

Z_k	k	η_{1k}	η_{2k}	η_{3k}	η_{4k}	η_{5k}	c	η_{\min}	η_{\max}	1	2	3	4	U_{atas}	U_0	U_{eff}	U_{gel}	U_0	U_{eff}	W	F_L	F_D	F_I	Z_k	Z_k^2
Z_1	1	1	1	1	1	1	4.897	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.016	0.199	0.172	0.137	0.801	0.692	0.551	-241.505	54.023	61.332	0	-356.860	127348.727
Z_2	2	-1	1	1	1	1	4.897	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.016	0.091	0.079	0.063	0.801	0.692	0.551	-241.505	44.366	53.485	0	-339.355	115161.707
Z_3	3	1	-1	1	1	1	4.897	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.006	0.199	0.172	0.137	0.392	0.339	0.270	-241.505	23.298	31.869	0	-296.672	88014.396
Z_4	4	-1	-1	1	1	1	4.897	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.006	0.091	0.079	0.063	0.392	0.339	0.270	-241.505	17.048	24.001	0	-282.554	79836.642
Z_5	5	1	1	-1	1	1	6.848	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.030	0.199	0.172	0.137	0.999	0.863	0.688	-241.505	77.606	78.201	0	-397.312	157856.642
Z_6	6	-1	1	-1	1	1	6.848	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.030	0.091	0.079	0.063	0.999	0.863	0.688	-241.505	63.677	68.481	0	-373.662	139623.479
Z_7	7	1	-1	-1	1	1	6.848	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.012	0.199	0.172	0.137	0.499	0.431	0.344	-241.505	30.074	39.646	0	-311.225	96860.966
Z_8	8	-1	-1	-1	1	1	6.848	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.012	0.091	0.079	0.063	0.499	0.431	0.344	-241.505	23.280	31.848	0	-296.632	87990.633
Z_9	9	1	1	1	-1	1	3.324	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.016	0.199	0.172	0.137	0.544	0.469	0.374	-241.505	33.085	42.838	0	-317.428	100760.594
Z_{10}	10	-1	1	1	-1	1	3.324	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.016	0.091	0.079	0.063	0.544	0.469	0.374	-241.505	26.030	35.103	0	-302.638	91589.724
Z_{11}	11	1	-1	1	-1	1	3.324	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.006	0.199	0.172	0.137	0.266	0.230	0.183	-241.505	16.021	22.649	0	-280.174	78497.553
Z_{12}	12	-1	-1	1	-1	1	3.324	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.006	0.091	0.079	0.063	0.266	0.230	0.183	-241.505	10.445	15.069	0	-267.019	71299.063
Z_{13}	13	1	1	-1	-1	1	4.648	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.030	0.199	0.172	0.137	0.678	0.585	0.467	-241.505	43.080	52.364	0	-336.948	113533.950
Z_{14}	14	-1	1	-1	-1	1	4.648	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.030	0.091	0.079	0.063	0.678	0.585	0.467	-241.505	34.966	44.753	0	-321.223	103184.464
Z_{15}	15	1	-1	-1	-1	1	4.648	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.012	0.199	0.172	0.137	0.339	0.293	0.233	-241.505	20.131	27.961	0	-289.596	83865.947
Z_{16}	16	-1	-1	-1	-1	1	4.648	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.012	0.091	0.079	0.063	0.339	0.293	0.233	-241.505	14.148	20.148	0	-275.801	76066.164
Z_{17}	17	1	1	1	1	-1	4.897	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.016	0.199	0.172	0.137	0.801	0.692	0.551	-199.083	44.533	61.332	0	-304.949	92993.710
Z_{18}	18	-1	1	1	1	-1	4.897	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.016	0.091	0.079	0.063	0.801	0.692	0.551	-199.083	36.572	53.485	0	-289.140	83602.146
Z_{19}	19	1	-1	1	1	-1	4.897	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.006	0.199	0.172	0.137	0.392	0.339	0.270	-199.083	19.206	31.869	0	-250.158	62579.185

$E[Z]$	=	(-9318.133 / 32)
	=	-291.192
	sum	-9318.133 / 276979 / .308

$$\text{Var}[Z] = (2768787308 / 32) \times (281102 \wedge 3)$$

(2769797.308 / 32) - (-291.192 ^2)

Tabel D.4 : Tabel perhitungan Indeks Keandalan untuk variasi tebal lapisan beton 0.5 inchi pada zone II ($d = 8$ m).

$\theta = 0$ $\pi = 3.14$
 $d = 8$ m (* $\sigma_1 = 0.054$
 $\mu_1 = 0.145$ m $\sigma_2 = 0.352$
 $\mu_2 = 0.831$ m $\sigma_3 = 0.804$
 $\mu_3 = 4.84$ m $\sigma_4 = 8.29$
 $\mu_4 = 33.1$ m (** $\sigma_5 = 0.057$ (**
 $\mu_5 = 0.592$ tc = 0.5 inchi (***)

Z _k	k	η_{1k}	η_{2k}	η_{3k}	η_{4k}	η_{5k}	a	b	c	e	f	g	h	U_{arus}	U_0	U_{eff}	U_{gel}	U_0	U_{eff}	W	F_L	F_D	F_t	Z_k	Z_k^2
Z ₁	1	1	1	1	1	1	0.658	0.152	0.788	0.494	0.090	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.535	0.405	0.323	-241.505	28.016	37.371	0	-306.892	94182.890
Z ₂	2	-1	1	1	1	1	0.658	0.152	0.788	0.494	0.090	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.535	0.405	0.323	-241.505	21.453	29.612	0	-292.570	85597.106
Z ₃	3	1	-1	1	1	1	0.266	0.152	0.788	0.200	0.036	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.213	0.161	0.128	-241.505	11.725	16.844	0	-270.073	72939.499
Z ₄	4	-1	-1	1	1	1	0.266	0.152	0.788	0.200	0.036	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.213	0.161	0.128	-241.505	6.767	9.875	0	-258.147	66639.935
Z ₅	5	1	1	-1	1	1	0.920	0.152	0.788	0.690	0.090	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.749	0.567	0.452	-241.505	41.224	50.708	0	-333.437	111180.166
Z ₆	6	-1	1	-1	1	1	0.920	0.152	0.788	0.690	0.090	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.749	0.567	0.452	-241.505	33.406	43.169	0	-318.079	101174.340
Z ₇	7	1	-1	-1	1	1	0.373	0.152	0.788	0.279	0.036	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.297	0.225	0.180	-241.505	15.626	22.126	0	-279.256	77984.143
Z ₈	8	-1	-1	-1	1	1	0.373	0.152	0.788	0.279	0.036	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.297	0.225	0.180	-241.505	10.146	14.652	0	-266.303	70917.177
Z ₉	9	1	1	1	-1	1	0.658	0.253	0.353	0.494	0.150	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.233	0.177	0.141	-241.505	12.651	18.115	0	-272.270	74131.063
Z ₁₀	10	-1	1	1	-1	1	0.658	0.253	0.353	0.494	0.150	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.233	0.177	0.141	-241.505	7.553	10.996	0	-260.053	67627.682
Z ₁₁	11	1	-1	1	-1	1	0.266	0.253	0.353	0.200	0.061	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.094	0.071	0.057	-241.505	6.871	10.023	0	-258.399	66770.195
Z ₁₂	12	-1	-1	1	-1	1	0.266	0.253	0.353	0.200	0.061	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.094	0.071	0.057	-241.505	2.923	4.310	0	-248.737	61870.087
Z ₁₃	13	1	1	-1	-1	1	0.920	0.253	0.353	0.690	0.150	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.326	0.247	0.197	-241.505	17.027	23.973	0	-282.505	79809.153
Z ₁₄	14	-1	1	-1	-1	1	0.920	0.253	0.353	0.690	0.150	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.326	0.247	0.197	-241.505	11.395	16.388	0	-269.288	72515.953
Z ₁₅	15	1	-1	-1	-1	1	0.373	0.253	0.353	0.279	0.061	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.132	0.100	0.080	-241.505	8.321	12.086	0	-261.911	68597.489
Z ₁₆	16	-1	-1	-1	-1	1	0.373	0.253	0.353	0.279	0.061	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.132	0.100	0.080	-241.505	4.010	5.896	0	-251.410	63207.133
Z ₁₇	17	1	1	1	1	-1	0.658	0.152	0.788	0.494	0.090	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.535	0.405	0.323	-199.083	23.095	37.371	0	-259.550	67366.013
Z ₁₈	18	-1	1	1	1	-1	0.658	0.152	0.788	0.494	0.090	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.535	0.405	0.323	-199.083	17.685	29.612	0	-246.380	60703.139
Z ₁₉	19	1	-1	1	1	-1	0.266	0.152	0.788	0.200	0.036	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.213	0.161	0.128	-199.083	9.665	16.844	0	-225.592	50891.815
Z ₂₀	20	-1	-1	1	1	-1	0.266	0.152	0.788	0.200	0.036	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.213	0.161	0.128	-199.083	5.579	9.875	0	-214.537	46026.092
Z ₂₁	21	1	1	-1	1	-1	0.920	0.152	0.788	0.690	0.090	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.749	0.567	0.452	-199.083	33.983	50.708	0	-283.774	80527.834
Z ₂₂	22	-1	1	-1	1	-1	0.920	0.152	0.788	0.690	0.090	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.749	0.567	0.452	-199.083	27.538	43.169	0	-269.790	72786.557
Z ₂₃	23	1	-1	-1	1	-1	0.373	0.152	0.788	0.279	0.036	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.297	0.225	0.180	-199.083	12.881	22.126	0	-234.090	54798.214
Z ₂₄	24	-1	-1	-1	1	-1	0.373	0.152	0.788	0.279	0.036	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.297	0.225	0.180	-199.083	8.364	14.652	0	-222.099	49328.045

Z_{25}	25	1	1	1	-1	-1	0.658	0.253	0.353	0.494	0.150	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.233	0.177	0.141	-199.083	10.429	18.115	0	-227.627	51813.858
Z_{26}	26	-1	1	1	-1	-1	0.658	0.253	0.353	0.494	0.150	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.233	0.177	0.141	-199.083	6.226	10.996	0	-216.305	46787.888
Z_{27}	27	1	-1	1	-1	-1	0.266	0.253	0.353	0.200	0.061	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.094	0.071	0.057	-199.083	5.664	10.023	0	-214.771	46126.528
Z_{28}	28	-1	-1	1	-1	-1	0.266	0.253	0.353	0.200	0.061	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.094	0.071	0.057	-199.083	2.409	4.310	0	-205.802	42354.528
Z_{29}	29	1	1	-1	-1	-1	0.920	0.253	0.353	0.690	0.150	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.326	0.247	0.197	-199.083	14.036	23.973	0	-237.093	56212.975
Z_{30}	30	-1	1	-1	-1	-1	0.920	0.253	0.353	0.690	0.150	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.326	0.247	0.197	-199.083	9.393	16.388	0	-224.865	50564.185
Z_{31}	31	1	-1	-1	-1	-1	0.373	0.253	0.353	0.279	0.061	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.132	0.100	0.080	-199.083	6.859	12.086	0	-218.028	47536.290
Z_{32}	32	-1	-1	-1	-1	-1	0.373	0.253	0.353	0.279	0.061	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.132	0.100	0.080	-199.083	3.305	5.896	0	-208.284	43382.431

sum -8137.919 2102350.400

$$E[Z] = (-8137.919 / 32) = -254.310$$

$$Var[Z] = (2102350.400 / 32) - (-254.310)^2 = 1024.889$$

$$\beta = (-254.310) / (1024.899^{0.5}) = -7.944$$

Koefisien Gesekan Tanah Ditentukan Triangular

Tabel D.5 : Tabel perhitungan Indeks Keandalan untuk variasi tebal lapisan beton 0.5 inchi pada zone I ($d = 2.8 \text{ m}$).

θ	=	0	π	=	3.14
d	=	2.8	m	σ_1	= 0.054
μ_1	=	0.145	m	σ_2	= 0.352
μ_2	=	0.831	m	σ_3	= 0.804
μ_3	=	4.84	m	σ_4	= 4.44
μ_4	=	23.2	m	σ_5	= 0.042
μ_5	=	0.599		t_c	= 0.5 inchi (***)

Z_k	k	η_{1k}	η_{2k}	η_{3k}	η_{4k}	η_{5k}	c	η_{\min}	η_{\max}	1	2	3	4	U_{arus}	U_0	U_{eff}	U_{gel}	U_0	U_{eff}	W	F_L	F_D	F_I	Z_k	Z_k^2
Z_1	1	1	1	1	1	1	4.897	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.016	0.199	0.172	0.137	0.801	0.692	0.551	-223.271	49.944	61.332	0	-334.547	111921.684
Z_2	2	-1	1	1	1	1	4.897	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.016	0.091	0.079	0.063	0.801	0.692	0.551	-223.271	41.016	53.485	0	-317.771	100978.676
Z_3	3	1	-1	1	1	1	4.897	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.006	0.199	0.172	0.137	0.392	0.339	0.270	-223.271	21.539	31.869	0	-276.679	76551.487
Z_4	4	-1	-1	1	1	1	4.897	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.006	0.091	0.079	0.063	0.392	0.339	0.270	-223.271	15.761	24.001	0	-263.033	69186.274
Z_5	5	1	1	-1	1	1	6.848	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.030	0.199	0.172	0.137	0.999	0.863	0.688	-223.271	71.747	78.201	0	-373.219	139292.176
Z_6	6	-1	1	-1	1	1	6.848	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.030	0.091	0.079	0.063	0.999	0.863	0.688	-223.271	58.869	68.481	0	-350.621	122934.961
Z_7	7	1	-1	-1	1	1	6.848	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.012	0.199	0.172	0.137	0.499	0.431	0.344	-223.271	27.804	39.646	0	-290.721	84518.431
Z_8	8	-1	-1	-1	1	1	6.848	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.012	0.091	0.079	0.063	0.499	0.431	0.344	-223.271	21.522	31.848	0	-276.641	76530.083
Z_9	9	1	1	1	-1	1	3.324	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.016	0.199	0.172	0.137	0.544	0.469	0.374	-223.271	30.587	42.838	0	-296.696	88028.734
Z_{10}	10	-1	1	1	-1	1	3.324	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.016	0.091	0.079	0.063	0.544	0.469	0.374	-223.271	24.065	35.103	0	-282.439	79771.714
Z_{11}	11	1	-1	1	-1	1	3.324	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.006	0.199	0.172	0.137	0.266	0.230	0.183	-223.271	14.811	22.649	0	-260.731	67980.548
Z_{12}	12	-1	-1	1	-1	1	3.324	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.006	0.091	0.079	0.063	0.266	0.230	0.183	-223.271	9.656	15.069	0	-247.996	61502.249
Z_{13}	13	1	1	-1	-1	1	4.648	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.030	0.199	0.172	0.137	0.678	0.585	0.467	-223.271	39.827	52.364	0	-315.462	99516.065
Z_{14}	14	-1	1	-1	-1	1	4.648	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.030	0.091	0.079	0.063	0.678	0.585	0.467	-223.271	32.326	44.753	0	-300.350	90209.905
Z_{15}	15	1	-1	-1	-1	1	4.648	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.012	0.199	0.172	0.137	0.339	0.293	0.233	-223.271	18.611	27.961	0	-269.842	72814.967
Z_{16}	16	-1	-1	-1	-1	1	4.648	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.012	0.091	0.079	0.063	0.339	0.293	0.233	-223.271	13.080	20.148	0	-256.499	65791.720
Z_{17}	17	1	1	1	1	-1	4.897	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.016	0.199	0.172	0.137	0.801	0.692	0.551	-223.271	49.944	61.332	0	-334.547	111921.684
Z_{18}	18	-1	1	1	1	-1	4.897	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.016	0.091	0.079	0.063	0.801	0.692	0.551	-223.271	41.016	53.485	0	-317.771	100978.676
Z_{19}	19	1	-1	1	1	-1	4.897	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.006	0.199	0.172	0.137	0.392	0.339	0.270	-223.271	21.539	31.869	0	-276.679	76551.487

Z ₂₀	20	-1	-1	1	1	-1	4.897	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.006	0.091	0.079	0.063	0.392	0.339	0.270	-223.271	15.761	24.001	0	-263.033	69186.274
Z ₂₁	21	1	1	-1	1	-1	6.848	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.030	0.199	0.172	0.137	0.999	0.863	0.688	-223.271	71.747	78.201	0	-373.219	139292.176
Z ₂₂	22	-1	1	-1	1	-1	6.848	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.030	0.091	0.079	0.063	0.999	0.863	0.688	-223.271	58.869	68.481	0	-350.621	122934.961
Z ₂₃	23	1	-1	-1	1	-1	6.848	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.012	0.199	0.172	0.137	0.499	0.431	0.344	-223.271	27.804	39.646	0	-290.721	84518.431
Z ₂₄	24	-1	-1	-1	1	-1	6.848	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.012	0.091	0.079	0.063	0.499	0.431	0.344	-223.271	21.522	31.848	0	-276.641	76530.083
Z ₂₅	25	1	1	1	-1	-1	3.324	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.016	0.199	0.172	0.137	0.544	0.469	0.374	-223.271	30.587	42.838	0	-296.696	88028.734
Z ₂₆	26	-1	1	1	-1	-1	3.324	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.016	0.091	0.079	0.063	0.544	0.469	0.374	-223.271	24.065	35.103	0	-282.439	79771.714
Z ₂₇	27	1	-1	1	-1	-1	3.324	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.006	0.199	0.172	0.137	0.266	0.230	0.183	-223.271	14.811	22.649	0	-260.731	67980.548
Z ₂₈	28	-1	-1	1	-1	-1	3.324	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.006	0.091	0.079	0.063	0.266	0.230	0.183	-223.271	9.656	15.069	0	-247.996	61502.249
Z ₂₉	29	1	1	-1	-1	-1	4.648	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.030	0.199	0.172	0.137	0.678	0.585	0.467	-223.271	39.827	52.364	0	-315.462	99516.065
Z ₃₀	30	-1	1	-1	-1	-1	4.648	-0.512	0.671	0.240	0.057	1.196	0.030	0.091	0.079	0.063	0.678	0.585	0.467	-223.271	32.326	44.753	0	-300.350	90209.905
Z ₃₁	31	1	-1	-1	-1	-1	4.648	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.012	0.199	0.172	0.137	0.339	0.293	0.233	-223.271	18.611	27.961	0	-269.842	72814.967
Z ₃₂	32	-1	-1	-1	-1	-1	4.648	-0.207	0.272	0.097	0.009	1.196	0.012	0.091	0.079	0.063	0.339	0.293	0.233	-223.271	13.080	20.148	0	-256.499	65791.720

$$\begin{aligned}
 E[Z] &= (-9426.493 / 32) & = -294.578 & & \text{sum} &= -9426.493 & 2815059.347 \\
 \text{Var}[Z] &= (2815059.347 / 32) - (-294.578)^2 & = 1194.457 & & & & \\
 \beta &= (-294.5779) / (1194.45669^{0.5}) & = -8.523 & & & &
 \end{aligned}$$

Tabel D.6 : Tabel perhitungan Indeks Keandalan untuk variasi tebal lapisan beton 0.5 inchi pada zone II (d= 8 m).

$\theta = 0$ $\pi = 3.14$
 $d = 8 \text{ m}$ (*) $\sigma_1 = 0.054$
 $\mu_1 = 0.145 \text{ m}$ $\sigma_2 = 0.352$
 $\mu_2 = 0.831 \text{ m}$ $\sigma_3 = 0.804$
 $\mu_3 = 4.84 \text{ m}$ $\sigma_4 = 8.29$
 $\mu_4 = 33.1 \text{ m}$ (**) $\sigma_5 = 0.042$ (**)
 $\mu_5 = 0.599$ $t_c = 0.5 \text{ inchi}$ (**)

Z _k	k	η_{1k}	η_{2k}	η_{3k}	η_{4k}	η_{5k}	a	b	c	e	f	g	h	U_{arus}	U_0	U_{eff}	U_{gel}	U_0	U_{eff}	W	F_L	F_D	F_I	Z_k	Z_k^2
Z ₁	1	1	1	1	1	1	0.658	0.152	0.788	0.494	0.090	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.535	0.405	0.323	-238.416	27.658	37.371	0	-303.445	92079.129
Z ₂	2	-1	1	1	1	1	0.658	0.152	0.788	0.494	0.090	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.535	0.405	0.323	-238.416	21.178	29.612	0	-289.207	83640.626
Z ₃	3	1	-1	1	1	1	0.266	0.152	0.788	0.200	0.036	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.213	0.161	0.128	-238.416	11.575	16.844	0	-266.835	71200.708
Z ₄	4	-1	-1	1	1	1	0.266	0.152	0.788	0.200	0.036	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.213	0.161	0.128	-238.416	6.681	9.875	0	-254.972	65010.716
Z ₅	5	1	1	-1	1	1	0.920	0.152	0.788	0.690	0.090	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.749	0.567	0.452	-238.416	40.697	50.708	0	-329.821	108781.965
Z ₆	6	-1	1	-1	1	1	0.920	0.152	0.788	0.690	0.090	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.749	0.567	0.452	-238.416	32.978	43.169	0	-314.563	98950.096
Z ₇	7	1	-1	-1	1	1	0.373	0.152	0.788	0.279	0.036	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.297	0.225	0.180	-238.416	15.426	22.126	0	-275.968	76158.333
Z ₈	8	-1	-1	-1	1	1	0.373	0.152	0.788	0.279	0.036	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.297	0.225	0.180	-238.416	10.016	14.652	0	-263.084	69213.433
Z ₉	9	1	1	1	-1	1	0.658	0.253	0.353	0.494	0.150	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.233	0.177	0.141	-238.416	12.489	18.115	0	-269.020	72371.671
Z ₁₀	10	-1	1	1	-1	1	0.658	0.253	0.353	0.494	0.150	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.233	0.177	0.141	-238.416	7.456	10.996	0	-256.868	65981.198
Z ₁₁	11	1	-1	1	-1	1	0.266	0.253	0.353	0.200	0.061	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.094	0.071	0.057	-238.416	6.783	10.023	0	-255.223	65138.698
Z ₁₂	12	-1	-1	1	-1	1	0.266	0.253	0.353	0.200	0.061	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.094	0.071	0.057	-238.416	2.885	4.310	0	-245.611	60324.776
Z ₁₃	13	1	1	-1	-1	1	0.920	0.253	0.353	0.690	0.150	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.326	0.247	0.197	-238.416	16.809	23.973	0	-279.199	77951.968
Z ₁₄	14	-1	1	-1	-1	1	0.920	0.253	0.353	0.690	0.150	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.326	0.247	0.197	-238.416	11.249	16.388	0	-266.054	70784.493
Z ₁₅	15	1	-1	-1	-1	1	0.373	0.253	0.353	0.279	0.061	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.132	0.100	0.080	-238.416	8.214	12.086	0	-258.716	66934.088
Z ₁₆	16	-1	-1	-1	-1	1	0.373	0.253	0.353	0.279	0.061	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.132	0.100	0.080	-238.416	3.958	5.896	0	-248.270	61638.205
Z ₁₇	17	1	1	1	1	-1	0.658	0.152	0.788	0.494	0.090	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.535	0.405	0.323	-207.381	24.058	37.371	0	-268.811	72259.099
Z ₁₈	18	-1	1	1	1	-1	0.658	0.152	0.788	0.494	0.090	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.535	0.405	0.323	-207.381	18.422	29.612	0	-255.415	65237.045
Z ₁₉	19	1	-1	1	i	-1	0.266	0.152	0.788	0.200	0.036	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.213	0.161	0.128	-207.381	10.068	16.844	0	-234.293	54893.327
Z ₂₀	20	-1	-1	1	1	-1	0.266	0.152	0.788	0.200	0.036	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.213	0.161	0.128	-207.381	5.811	9.875	0	-223.068	49759.194
Z ₂₁	21	1	1	-1	1	-1	0.920	0.152	0.788	0.690	0.090	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.749	0.567	0.452	-207.381	35.399	50.708	0	-293.489	86135.778
Z ₂₂	22	-1	1	-1	1	-1	0.920	0.152	0.788	0.690	0.090	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.749	0.567	0.452	-207.381	28.685	43.169	0	-279.236	77972.690
Z ₂₃	23	1	-1	-1	1	-1	0.373	0.152	0.788	0.279	0.036	0.385	1	0.199	0.170	0.135	0.297	0.225	0.180	-207.381	13.418	22.126	0	-242.925	59012.716
Z ₂₄	24	-1	-1	-1	1	-1	0.373	0.152	0.788	0.279	0.036	0.385	1	0.091	0.078	0.062	0.297	0.225	0.180	-207.381	8.712	14.652	0	-230.746	53243.728

Z_{25}	25	1	1	1	-1	-1	0.658	0.253	0.353	0.494	0.150	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.233	0.177	0.141	-207.381	10.863	18.115	0	-236.359	55865.811
Z_{26}	26	-1	1	1	-1	-1	0.658	0.253	0.353	0.494	0.150	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.233	0.177	0.141	-207.381	6.486	10.996	0	-224.863	50563.293
Z_{27}	27	1	-1	1	-1	-1	0.266	0.253	0.353	0.200	0.061	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.094	0.071	0.057	-207.381	5.900	10.023	0	-223.305	49865.214
Z_{28}	28	-1	-1	1	-1	-1	0.266	0.253	0.353	0.200	0.061	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.094	0.071	0.057	-207.381	2.510	4.310	0	-214.201	45881.988
Z_{29}	29	1	1	-1	-1	-1	0.920	0.253	0.353	0.690	0.150	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.326	0.247	0.197	-207.381	14.621	23.973	0	-245.976	60504.220
Z_{30}	30	-1	1	-1	-1	-1	0.920	0.253	0.353	0.690	0.150	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.326	0.247	0.197	-207.381	9.785	16.388	0	-233.555	54547.745
Z_{31}	31	1	-1	-1	-1	-1	0.373	0.253	0.353	0.279	0.061	0.016	1	0.199	0.170	0.135	0.132	0.100	0.080	-207.381	7.145	12.086	0	-226.612	51353.146
Z_{32}	32	-1	-1	-1	-1	-1	0.373	0.253	0.353	0.279	0.061	0.016	1	0.091	0.078	0.062	0.132	0.100	0.080	-207.381	3.443	5.896	0	-216.721	46967.777

$$\begin{aligned}
 E[Z] &= (-8226.431 / 32) = -257.076 & \text{sum} & -8226.432 & 2140222.875 \\
 \text{Var}[Z] &= (2140222.875 / 32) - (-257.076)^2 = 793.902 \\
 \beta &= (-257.075) / (793.902^{0.5}) = -9.124
 \end{aligned}$$

Catatan:

- *) Untuk zone III dan IV dilakukan dengan cara yang sama dengan zone II, kedalaman perairan diganti berturut-turut 15 meter dan 25 meter.
- **) Untuk zone III dan IV analisa dilakukan dengan menggunakan rataan dan standar deviasi panjang gelombang untuk masing-masing zone, yaitu :

$$\text{zone III: } \mu_4 = 37.8; \quad \sigma_4 = 14.5$$

$$\text{zone IV: } \mu_4 = 41.2; \quad \sigma_4 = 41.2$$

- ***) Untuk variasi berat struktur pipa dilakukan dengan penambahan ketebalan lapisan beton sebesar 0.5 inchi sampai ketebalan mencapai 6 inchi.



Keterangan Tabel :

Dari tabel perhitungan Indeks keandalan dengan menggunakan perkiraan titik arti dari notasi yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\eta_{\min} = -0.433(\mu_2 + \eta_{2k}\sigma_2)$$

$$\eta_{\max} = \eta_{\min} + (\mu_2 + \eta_{2k}\sigma_2)$$

$$1 = \frac{\eta_{\min}}{d}$$

$$2 = \left(\frac{\eta_{\min}}{d} \right)^2$$

$$3 = 4 \left(\frac{1}{3} - \left(\frac{D_T}{d} \right)^2 \right)$$

$$4 = \frac{4.096(\mu_2 + \eta_{2k}\sigma_2)}{g(\mu_3 + \eta_{3k}\sigma_3)^2}$$

$$a = \frac{\pi H}{T}$$

$$b = \frac{2\pi}{L}$$

$$c = \frac{\cosh(bs)}{\sinh(bd)}$$

$$e = \frac{3\pi H}{4T}$$

$$f = \frac{\pi H}{L}$$

$$g = \frac{\cosh(2bs)}{\sinh^4(bd)}$$

$$h = \cos 2\theta$$

LAMPIRAN E

GLOBALMACRO UNTUK PERHITUNGAN SIMULASI MONTECARLO

Global Macro Minitab Untuk Perhitungan Keandalan Stabilitas Lateral Pipa

Bawah Laut Dengan Menggunakan Metode Simulasi Montecarlo

1. Koefisien gesekan tanah ditentukan secara Deterministik 0.6

1.1. Untuk Zone I dengan kedalaman perairan 2.8 m

```

gmacro
mcs

#Deterministik :
do k13=1:1

#Jumlah Sampling
name k61 'Jumlah Sampling'
let k61=40000

#Massa Jenis air laut k40:
name k40 'massa jenis air laut'
let k40=1025

#Massa Jenis Beton k41:
name k41 'massa jenis Beton'
let k41=2247

#Tebal Lapisan Beton k18:
name k18 'Tebal Beton'
let k18=0.5
let k18=k18*0.0254

#Tebal Lapisan Anti Korosi k19:
name k19 'Tebal Anti Korosi'
let k19=0.00508

#Tebal Baja Pipa k20:
name k20 'Tebal Baja Pipa'
let k20=0.0127

#Diameter Luar Baja Pipa k21:
name k21 'Diameter Luar Baja Pipa'
let k21=16
let k21=k21*0.0254

#Perhitungan Outer diameter k22:
name k22 'Diameter Luar Total Pipa'
let k22=k21+(2*k18)+(2*k19)

#Massa Baja Pipa k42:

```

```

name k42 'massa baja pipa'
let k42=122.930754138

#Massa Lapisan Anti Korosi k43:
name k43 'massa Lapisan Anti Korosi'
let k43= 8.5326797088

#Massa Lapisan Beton k45:
name k45 'massa Lapisan Beton'
let k45=k41*0.25*3.14*((k22**2)-((k21+(2*k19))**2))

# Perhitungan Gaya Bouyancy k46:
name k46 'B'
let k46=k40*0.25*3.14*(k22**2)*9.81

#Perhitungan Berat Pipa k47:
name k47 'W'
let k47=(k42+k43+k45)*9.81

#Perhitungan Berat Pipa Bawah Laut k48:
name k48 'Ws'
let k48=W-B

#Kedalaman Perairan k23:
name k23 'Kedalaman Perairan'
let k23=2.8

#Nilai Y Untuk Pengukuran Arus k29:
name k29'Jarak Alat Pengukur ke Sea Bed'
let k29=k23

#Random Tinggi Gelombang C1:
name c1 'H'
rand k61 c1;
lognormal -0.2494 0.3321.
let c1 =H

#Random Periode Gelombang C2:
name c2 'T'
rand k61 c2;
lognormal 1.5652 0.1472.
let c2 = 4.03+T

#Random Panjang Gelombang C3:
name c3 'L'
rand k61 c3;
beta 0.297 1.75.
let c3 = 20+(22*L)

#Random kecepatan C4:
name c4 'Varus'
rand k61 c4;
lognormal -2.0007 0.3663.

```

```

let c4 = Varus

# Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Arus 1 m dari Dasar c60:
name c60'Uo arus'
let c60=c4/(k29**(1/7))

#Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Arus Pada Pipa U c59:
name c59 'Uarus'
let c59=sqrt((0.778*(c60**2))*(k22**0.286))

#Kecepatan Gelombang c5:
name c5 'c'
let c5 =L/T

#Faktor 1:
name c6 '1'
let c6=(-0.433*H)+H)/k23

#Faktor 2:
name c50 '2'
let c50=4*(0.3333-((k22/k23)**2)*(4.096*(H/9.81(T**2)))

#Perhitungan Kecepatan Partikel Air Akibat Gelombang c7:
name c7 'Vgel'
let c7 =c5*(c6-(c6**2)-c50)

# Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Gelombang 1 m dari Dasar c5:
name c62'Uo gel'
let c62=c7/(k23**(1/7))

#Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Gelombang Pada Pipa U c6:
name c63 'Ugel'
let c63=((0.778*c62**2)*(k22**0.286))**0.5

#Hitung Kecepatan Effektif c8:
name c8 'Veff'
name c9 'Veff2'
let c8 = Uarus + Ugel
let c9 = c8 **2

#Harga Viskositas Fluida k25:
name k25 'Viskositas Fluida'
let k25=9.29E-7

#Perhitungan Bilangan Reynold c40:
name c40 'Re'
let c40=(k22*Veff)/k25

#Perhitungan Koefisien Drag c41:
name c41 'Cd'
let c41=(4E-12*(Re**2)-(4E-6*Re)+1.44

#Perhitungan Koefisien Lift c42:

```

```

name c42 'Cl'
let c42=(5E-12*(Re**2))-(4E-6*Re)+1.49

#Perhitungan Gaya Lift c31:
name c31 'Fl'
let c31=0.5*1025*Cl*k22*Veff2

#Perhitungan Efek Kekuatan c32:
name c32 'K'
let c32=(Ws-Fl)*0.6

#Perhitungan Gaya Drag c34:
name c34 'Fd'
let c34=0.5*1025*Cd*k22*Veff2

#Perhitungan Moda Kegagalan MK(Z) c10:
name c10 'MK(Z)'
let c10=K-Fd
enddo

#Penentuan gagal-sukses c11:
name c11 'sukses=1;gagal=0'
do k2=1:k61
if c10(k2)>0
let c11(k2) = 1
else
let c11(k2) = 0
endif
enddo

Tally C11;
Counts;
Percents.

Endmacro

```

- 1.2. Untuk Zone II, III dan IV dengan kedalaman perairan berturut-turut 8 m, 15 m dan 25 m

```

gmacro
mcs

#Deterministik :
do k13=1:1

#Jumlah Sampling
name k61 'Jumlah Sampling'
let k61=40000

#Massa Jenis air laut k40:
name k40 'massa jenis air laut'

```

let k40=1025

#Massa Jenis Beton k41:
name k41 'massa jenis Beton'
let k41=2247

#Tebal Lapisan Beton k18:
name k18 'Tebal Beton'
let k18=0.5
let k18=k18*0.0254

#Tebal Lapisan Anti Korosi k19:
name k19 'Tebal Anti Korosi'
let k19=0.00508

#Tebal Baja Pipa k20:
name k20 'Tebal Baja Pipa'
let k20=0.0127

#Diameter Luar Baja Pipa k21:
name k21 'Diameter Luar Baja Pipa'
let k21=16
let k21=k21*0.0254

#Perhitungan Outer diameter k22:
name k22 'Diameter Luar Total Pipa'
let k22=k21+(2*k18)+(2*k19)

#Massa Baja Pipa k42:
name k42 'massa baja pipa'
let k42=122.930754138

#Massa Lapisan Anti Korosi k43:
name k43 'massa Lapisan Anti Korosi'
let k43= 8.5326797088

#Massa Lapisan Beton k45:
name k45 'massa Lapisan Beton'
let k45=k41*0.25*3.14*((k22**2)-((k21+(2*k19))**2))

Perhitungan Gaya Bouyancy k46:
name k46 'B'
let k46=k40*0.25*3.14*(k22**2)*9.81

#Perhitungan Berat Pipa k47:
name k47 'W'
let k47=(k42+k43+k45)*9.81

#Perhitungan Berat Pipa Bawah Laut k48:
name k48 'Ws'
let k48=W-B

#Kedalaman Perairan k23:

```

name k23 'Kedalaman Perairan'
let k23=8 **)

#Nilai Y Untuk Pengukuran Arus k29:
name k29'Jarak Alat Pengukur ke Sea Bed'
let k29=k23-4

#Random Tinggi Gelombang C1:
name c1 'H'
rand k61 c1;
lognormal -0.2494 0.3321.
let c1 =H

#Random Periode Gelombang C2:
name c2 'T'
rand k61 c2;
lognormal 1.5652 0.1472.
let c2 = T

#Random Panjang Gelombang C3: **)
name c3 'L'
rand k61 c3;
beta 0.19 1.23.
let c3 = 28+(38*L)

#Random kecepatan C4:
name c4 'Varus'
rand k61 c4;
lognormal -2.0007 0.3663.
let c4 = Varus

# Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Arus 1 m dari Dasar c60:
name c60'Uo arus'
let c60=c4/(k29**((1/7)))

#Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Arus Pada Pipa U c59:
name c59 'Uarus'
let c59=sqrt((0.778*(c60**2))*(k22**0.286))

#hitung dummy1 c5:
let c5 = (((3.14*H)**2)*3)/(4*T*L)
let c70 = (3.14*H)/T

#hitung dummy2 c6:
let c6 = 4*3.14*(k22)/L
let c16 = 2*3.14*k23/L
let c71 = 2*3.14*(k22)/L

#Hitung dummy3 c50:
let c50 = 0.5*(exp(c6)+exp(-c6))
let c51 = 0.5*(exp(c16)-exp(-c16))
let c52 = 0.5*(exp(c71)+exp(-c71))

```

```

#hitung kecepatan gelombang c7:
name c7 'Vgel'
let c7 = (c5 * (c50/(c51**4)))+(c70 *(c52/c51))

# Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Gelombang 1 m dari Dasar c5:
name c62'Uo gel'
let c62=Vgel/(k23**((1/7)))

#Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Gelombang Pada Pipa U c6:
name c63 'Ugel'
let c63=sqrt((0.778*(c62**2))*(k22**0.286))

#Hitung Kecepatan Effektif c8:
name c8 'Veff'
name c9 'Veff2'
let c8 = Uarus + Ugel
let c9 = c8 **2

#Harga Viskositas Fluida k25:
name k25 'Viskositas Fluida'
let k25=9.29E-7

#Perhitungan Bilangan Reynold c40:
name c40 'Re'
let c40=(k22*Veff)/k25

#Perhitungan Koefisien Drag c41:
name c41 'Cd'
let c41=(4E-12*(Re**2))-(4E-6*Re)+1.44

#Perhitungan Koefisien Lift c42:
name c42 'Cl'
let c42=(5E-12*(Re**2))-(4E-6*Re)+1.49

#Perhitungan Gaya Lift c31:
name c31 'Fl'
let c31=0.5*1025*Cl*k22*Veff2

#Perhitungan Efek Kekuatan c32:
name c32 'K'
let c32=(Ws-Fl)*0.6

#Perhitungan Gaya Drag c34:
name c34 'Fd'
let c34=0.5*1025*Cd*k22*Veff2

#Perhitungan Moda Kegagalan MK(Z) c10:
name c10 'MK(Z)'
let c10=K-Fd
enddo

#hitung Reliability c11:
name c11 'sukses=1;gagal=0'

```

```

do k2=1:k61
if c10(k2)>0
let c11(k2) = 1
else
let c11(k2) = 0
endif
enddo

Tally C11;
Counts;
Percents.

Endmacro

```

2. Koefisien gesekan tanah diasumsikan sebagai distribusi Uniform (0.5 0.7)

2.1. Untuk Zone I dengan kedalaman perairan 2.8 m

```

gmacro
mcs

#Deterministik :
do k13=1:1

#Jumlah Sampling
name k61 'Jumlah Sampling'
let k61=40000

#Massa Jenis air laut k40:
name k40 'massa jenis air laut'
let k40=1025

#Massa Jenis Beton k41:
name k41 'massa jenis Beton'
let k41=2247

#Tebal Lapisan Beton k18:
name k18 'Tebal Beton'
let k18=0.5
let k18=k18*0.0254

#Tebal Lapisan Anti Korosi k19:
name k19 'Tebal Anti Korosi'
let k19=0.00508

#Tebal Baja Pipa k20:
name k20 'Tebal Baja Pipa'
let k20=0.0127

#Diameter Luar Baja Pipa k21:

```

```

name k21 'Diameter Luar Baja Pipa'
let k21=16
let k21=k21*0.0254

#Perhitungan Outer diameter k22:
name k22 'Diameter Luar Total Pipa'
let k22=k21+(2*k18)+(2*k19)

#Massa Baja Pipa k42:
name k42 'massa baja pipa'
let k42=122.930754138

#Massa Lapisan Anti Korosi k43:
name k43 'massa Lapisan Anti Korosi'
let k43= 8.5326797088

#Massa Lapisan Beton k45:
name k45 'massa Lapisan Beton'
let k45=k41*0.25*3.14*((k22**2)-((k21+(2*k19))**2))

# Perhitungan Gaya Bouyancy k46:
name k46 'B'
let k46=k40*0.25*3.14*(k22**2)*9.81

#Perhitungan Berat Pipa k47:
name k47 'W'
let k47=(k42+k43+k45)*9.81

#Perhitungan Berat Pipa Bawah Laut k48:
name k48 'Ws'
let k48=W-B

#Kedalaman Perairan k23:
name k23 'Kedalaman Perairan'
let k23=2.8

#Nilai Y Untuk Pengukuran Arus k29:
name k29'Jarak Alat Pengukur ke Sea Bed'
let k29=k23

#Random Tinggi Gelombang C1:
name c1 'H'
rand k61 c1;
lognormal -0.2494 0.3321.
let c1 =H

#Random Periode Gelombang C2:
name c2 'T'
rand k61 c2;
lognormal 1.5652 0.1472.
let c2 = 4.03+T

#Random Panjang Gelombang C3:

```

```

name c3 'L'
rand k61 c3;
beta 0.297 1.75.
let c3 = 20+(22*L)

#Random kecepatan C4:
name c4 'Varus'
rand k61 c4;
lognormal -2.0007 0.3663.

# Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Arus 1 m dari Dasar c60:
name c60'Uo arus'
let c60=c4/(k29**((1/7)))
#Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Arus Pada Pipa U c59:
name c59 'Uarus'
let c59=sqrt((0.778*(c60**2)*(k22**0.286)))

#hitung dummy1 c5:
name c5 'c'
let c5 =L/T

#Faktor 1:
name c6 '1'
let c6=(-0.433*H)+H)/k23

#Faktor 2:
name c50 '2'
let c50=4*(0.3333-((k22/k23)**2)*(4.096*(H/9.81(T**2)))

#Perhitungan Kecepatan Partikel Air Akibat Gelombang c7:
name c7 'Vgel'
let c7 =c5*(c6-(c6**2)-c50)

#Perhitungan Kecepatan Partikel Air Akibat Gelombang c7:
name c7 'Vgel'
let c7 =c5*(c6-(c6**2)-c50)

# Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Gelombang 1 m dari Dasar c5:
name c62'Uo gel'
let c62=c7/(k23**((1/7)))

#Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Gelombang Pada Pipa U c6:
name c63 'Ugel'
let c63=((0.778*c62**2)*(k22**0.286))**0.5

#Hitung Kecepatan Effektif c8:
name c8 'Veff'
name c9 'Veff2'
let c8 = Uarus + Ugel
let c9 = c8 **2

#Koefisien Gesekan Tanah Dasar c61:
name c61 'koefieisen gesekan tanah'

```

```

rand k61 c61;
uniform 0.5 0.7.

#Harga Viskositas Fluida k25:
name k25 'Viskositas Fluida'
let k25=9.29E-7

#Perhitungan Bilangan Reynold c40:
name c40 'Re'
let c40=(k22*Veff)/k25

#Perhitungan Koefisien Drag c41:
name c41 'Cd'
let c41=(4E-12*(Re**2))-(4E-6*Re)+1.44

#Perhitungan Koefisien Lift c42:
name c42 'Cl'
let c42=(5E-12*(Re**2))-(4E-6*Re)+1.49

#Perhitungan Gaya Lift c31:
name c31 'Fl'
let c31=0.5*1025*Cl*k22*Veff2

#Perhitungan Efek Kekuatan c32:
name c32 'K'
let c32=(Ws-Fl)*c61

#Perhitungan Gaya Drag c34:
name c34 'Fd'
let c34=0.5*1025*Cd*k22*Veff2

#Perhitungan Moda Kegagalan MK(Z) c10:
name c10 'MK(Z)'
let c10=K-Fd
enddo

#hitung Reliability c11:
name c11 'sukses=1;gagal=0'
do k2=1:k61
if c10(k2)>0
let c11(k2) = 1
else
let c11(k2) = 0
endif
enddo

Tally C11;
Counts;
Percents.

Endmacro

```

2.2. Untuk Zone II, III dan IV dengan kedalaman perairan berturut-turut 8 m, 15 m dan 25 m

gmacro
mcs

#Deterministik :

do k13=1:1

#Jumlah Sampling

name k61 'Jumlah Sampling'
let k61=40000

#Massa Jenis air laut k40:

name k40 'massa jenis air laut'
let k40=1025

#Massa Jenis Beton k41:

name k41 'massa jenis Beton'
let k41=2247

#Tebal Lapisan Beton k18:

name k18 'Tebal Beton'
let k18=0.5
let k18=k18*0.0254

#Tebal Lapisan Anti Korosi k19:

name k19 'Tebal Anti Korosi'
let k19=0.00508

#Tebal Baja Pipa k20:

name k20 'Tebal Baja Pipa'
let k20=0.0127

#Diameter Luar Baja Pipa k21:

name k21 'Diameter Luar Baja Pipa'
let k21=16
let k21=k21*0.0254

#Perhitungan Outer diameter k22:

name k22 'Diameter Luar Total Pipa'
let k22=k21+(2*k18)+(2*k19)

#Massa Baja Pipa k42:

name k42 'massa baja pipa'
let k42=122.930754138

#Massa Lapisan Anti Korosi k43:

name k43 'massa Lapisan Anti Korosi'
let k43= 8.5326797088

```

#Massa Lapisan Beton k45:
name k45 'massa Lapisan Beton'
let k45=k41*0.25*3.14*((k22**2)-((k21+(2*k19))**2))

# Perhitungan Gaya Bouyancy k46:
name k46 'B'
let k46=k40*0.25*3.14*(k22**2)*9.81

#Perhitungan Berat Pipa k47:
name k47 'W'
let k47=(k42+k43+k45)*9.81

#Perhitungan Berat Pipa Bawah Laut k48:
name k48 'Ws'
let k48=W-B

#Kedalaman Perairan k23:
name k23 'Kedalaman Perairan'
let k23=8*)

#Nilai Y Untuk Pengukuran Arus k29:
name k29'Jarak Alat Pengukur ke Sea Bed'
let k29=k23-4

#Random Tinggi Gelombang C1:
name c1 'H'
rand k61 c1;
lognormal -0.2494 0.3321.
let c1 =H

#Random Periode Gelombang C2:
name c2 'T'
rand k61 c2;
lognormal 1.5652 0.1472.
let c2 = T

#Random Panjang Gelombang C3: **)
name c3 'L'
rand k61 c3;
beta 0.19 1.23.
let c3 = 28+(38*L)

#Random kecepatan C4:
name c4 'Varus'
rand k61 c4;
lognormal -2.0007 0.3663.
let c4 = Varus

# Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Arus 1 m dari Dasar c60:
name c60'Uo arus'
let c60=c4/(k29**((1/7)))

```

```

#Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Arus Pada Pipa U c59:
name c59 'Uarus'
let c59=sqrt((0.778*(c60**2))*(k22**0.286))

#hitung dummy1 c5:
let c5 = (((3.14*H)**2)*3)/(4*T*L)
let c70 = (3.14*H)/T

#hitung dummy2 c6:
let c6 = 4*3.14*(k22)/L
let c16 = 2*3.14*k23/L
let c71 = 2*3.14*(k22)/L

#Hitung dummy3 c50:
let c50 = 0.5*(exp(c6)+exp(-c6))
let c51 = 0.5*(exp(c16)-exp(-c16))
let c52 = 0.5*(exp(c71)+exp(-c71))

#hitung kecepatan gelombang c7:
name c7 'Vgel'
let c7 = (c5 * (c50/(c51**4)))+(c70 *(c52/c51))

# Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Gelombang 1 m dari Dasar c5:
name c62'Uo gel'
let c62=Vgel/(k23**((1/7)))

#Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Gelombang Pada Pipa U c6:
name c63 'Ugel'
let c63=sqrt((0.778*(c62**2))*(k22**0.286))

#Hitung Kecepatan Effektif c8:
name c8 'Veff'
name c9 'Veff2'
let c8 = Uarus + Ugel
let c9 = c8 **2

#Koefisien Gesekan Tanah Dasar c61:
name c61 'koefieisen gesekan tanah'
rand k61 c61;
uniform 0.5 0.7.

#Harga Viskositas Fluida k25:
name k25 'Viskositas Fluida'
let k25=9.29E-7

#Perhitungan Bilangan Reynold c40:
name c40 'Re'
let c40=(k22*Veff)/k25

#Perhitungan Koefisien Drag c41:
name c41 'Cd'
let c41=(4E-12*(Re**2)-(4E-6*Re)+1.44

```

```

#Perhitungan Koefisien Lift c42:
name c42 'Cl'
let c42=(5E-12*(Re**2))-(4E-6*Re)+1.49

#Perhitungan Gaya Lift c31:
name c31 'Fl'
let c31=0.5*1025*Cl*k22*Veff2

#Perhitungan Efek Kekuatan c32:
name c32 'K'
let c32=(Ws-Fl)*c61

#Perhitungan Gaya Drag c34:
name c34 'Fd'
let c34=0.5*1025*Cd*k22*Veff2

#Perhitungan Moda Kegagalan MK(Z) c10:
name c10 'MK(Z)'
let c10=K-Fd
enddo

#hitung Reliability c11:
name c11 'sukses=1;gagal=0'
do k2=1:k61
if c10(k2)>0
let c11(k2) = 1
else
let c11(k2) = 0
endif
enddo

Tally C11;
Counts;
Percents.

Endmacro

```

3. Koefisien gesekan tanah diasumsikan sebagai distribusi Triangular (0.5 0.6 0.7)

3.1. Untuk Zone I dengan kedalaman perairan 2.8 m

```

gmacro
mcs

#Deterministik :
do k13=1:1

#Jumlah Sampling
name k61 'Jumlah Sampling'
let k61=40000

```

```

#Massa Jenis air laut k40:
name k40 'massa jenis air laut'
let k40=1025

#Massa Jenis Beton k41:
name k41 'massa jenis Beton'
let k41=2247

#Tebal Lapisan Beton k18:
name k18 'Tebal Beton'
let k18=0.5
let k18=k18*0.0254

#Tebal Lapisan Anti Korosi k19:
name k19 'Tebal Anti Korosi'
let k19=0.00508

#Tebal Baja Pipa k20:
name k20 'Tebal Baja Pipa'
let k20=0.0127

#Diameter Luar Baja Pipa k21:
name k21 'Diameter Luar Baja Pipa'
let k21=16
let k21=k21*0.0254

#Perhitungan Outer diameter k22:
name k22 'Diameter Luar Total Pipa'
let k22=k21+(2*k18)+(2*k19)

#Massa Baja Pipa k42:
name k42 'massa baja pipa'
let k42=122.930754138

#Massa Lapisan Anti Korosi k43:
name k43 'massa Lapisan Anti Korosi'
let k43= 8.5326797088

#Massa Lapisan Beton k45:
name k45 'massa Lapisan Beton'
let k45=k41*0.25*3.14*((k22**2)-((k21+(2*k19))**2))

# Perhitungan Gaya Bouyancy k46:
name k46 'B'
let k46=k40*0.25*3.14*(k22**2)*9.81

#Perhitungan Berat Pipa k47:
name k47 'W'
let k47=(k42+k43+k45)*9.81

#Perhitungan Berat Pipa Bawah Laut k48:
name k48 'Ws'

```

```

let k48=W-B

#Kedalaman Perairan k23:
name k23 'Kedalaman Perairan'
let k23=2.8

#Nilai Y Untuk Pengukuran Arus k29:
name k29'Jarak Alat Pengukur ke Sea Bed'
let k29=k23

#Random Tinggi Gelombang C1:
name c1 'H'
rand k61 c1;
lognormal -0.2494 0.3321.
let c1 =H

#Random Periode Gelombang C2:
name c2 'T'
rand k61 c2;
lognormal 1.5652 0.1472.
let c2 = 4.03+T

#Random Panjang Gelombang C3:
name c3 'L'
rand k61 c3;
beta 0.297 1.75.
let c3 = 20+(22*L)

#Random kecepatan C4:
name c4 'Varus'
rand k61 c4;
lognormal -2.0007 0.3663.

# Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Arus 1 m dari Dasar c60:
name c60'Uo arus'
let c60=c4/(k29**2)
#Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Arus Pada Pipa U c59:
name c59 'Uarus'
let c59=sqrt((0.778*(c60**2))*(k22**0.286))

#hitung dummy1 c5:
name c5 'c'
let c5 =L/T

#Faktor 1:
name c6 'l'
let c6=(-0.433*H)+H/k23

#Faktor 2:
name c50 '2'
let c50=4*(0.3333-((k22/k23)**2)*(4.096*(H/9.81(T**2)))

#Perhitungan Kecepatan Partikel Air Akibat Gelombang c7:

```

```

name c7 'Vgel'
let c7 =c5*(c6-(c6**2)-c50)

# Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Gelombang 1 m dari Dasar c5:
name c62'Uo gel'
let c62=c7/(k23**((1/7)))

#Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Gelombang Pada Pipa U c6:
name c63 'Ugel'
let c63=((0.778*c62**2)*(k22**0.286))**0.5

#Hitung Kecepatan Effektif c8:
name c8 'Veff'
name c9 'Veff2'
let c8 = Uarus + Ugel
let c9 = c8 **2

#Koefisien Gesekan Tanah Dasar c61:
name c61 'koefieisen gesekan tanah'
name c80 'Uniform'
name c61 'triangular'
rand k61 c80;
uniform 0.5 0.7.
let k3 = 0.6
do k4=1:k61
if c80(k4)<k3
let c61(k4) = sqrt(k3*c80(k4))
else
let c61(k4) = 1 -sqrt((1-k3)*(1-c80(k4)))
endif
enddo

#Harga Viskositas Fluida k25:
name k25 'Viskositas Fluida'
let k25=9.29E-7

#Perhitungan Bilangan Reynold c40:
name c40 'Re'
let c40=(k22*Veff)/k25

#Perhitungan Koefisien Drag c41:
name c41 'Cd'
let c41=(4E-12*(Re**2))-(4E-6*Re)+1.44

#Perhitungan Koefisien Lift c42:
name c42 'Cl'
let c42=(5E-12*(Re**2))-(4E-6*Re)+1.49

#Perhitungan Gaya Lift c31:
name c31 'F1'
let c31=0.5*1025*Cl*k22*Veff2

#Perhitungan Efek Kekuatan c32:

```



```

name c32 'K'
let c32=(Ws-Fl)*c61

#Perhitungan Gaya Drag c34:
name c34 'Fd'
let c34=0.5*1025*Cd*k22*Veff2

#Perhitungan Moda Kegagalan MK(Z) c10:
name c10 'MK(Z)'
let c10=K-Fd
enddo

#hitung Reliability c11:
name c11 'sukses=1;gagal=0'
do k2=1:k61
if c10(k2)>0
let c11(k2) = 1
else
let c11(k2) = 0
endif
enddo

Tally C11;
Counts;
Percents.

Endmacro

```

3.2. Untuk Zone II, III dan IV dengan kedalaman perairan berturut-turut 8 m, 15 m dan 25 m

```

gmacro
mcs

#Deterministik :
do k13=1:1

#Jumlah Sampling
name k61 'Jumlah Sampling'
let k61=40000

#Massa Jenis air laut k40:
name k40 'massa jenis air laut'
let k40=1025

#Massa Jenis Beton k41:
name k41 'massa jenis Beton'
let k41=2247

#Tebal Lapisan Beton k18:
name k18 'Tebal Beton'
let k18=0.5

```

```

let k18=k18*0.0254

#Tebal Lapisan Anti Korosi k19:
name k19 'Tebal Anti Korosi'
let k19=0.00508

#Tebal Baja Pipa k20:
name k20 'Tebal Baja Pipa'
let k20=0.0127

#Diameter Luar Baja Pipa k21:
name k21 'Diameter Luar Baja Pipa'
let k21=16
let k21=k21*0.0254

#Perhitungan Outer diameter k22:
name k22 'Diameter Luar Total Pipa'
let k22=k21+(2*k18)+(2*k19)

#Massa Baja Pipa k42:
name k42 'massa baja pipa'
let k42=122.930754138

#Massa Lapisan Anti Korosi k43:
name k43 'massa Lapisan Anti Korosi'
let k43= 8.5326797088

#Massa Lapisan Beton k45:
name k45 'massa Lapisan Beton'
let k45=k41*0.25*3.14*((k22**2)-((k21+(2*k19))**2))

# Perhitungan Gaya Bouyancy k46:
name k46 'B'
let k46=k40*0.25*3.14*(k22**2)*9.81

#Perhitungan Berat Pipa k47:
name k47 'W'
let k47=(k42+k43+k45)*9.81

#Perhitungan Berat Pipa Bawah Laut k48:
name k48 'Ws'
let k48=W-B

#Kedalaman Perairan k23:
name k23 'Kedalaman Perairan'
let k23=8 *)

#Nilai Y Untuk Pengukuran Arus k29:
name k29'Jarak Alat Pengukur ke Sea Bed'
let k29=k23-4

#Random Tinggi Gelombang C1:
name c1 'H'

```

```

rand k61 c1;
lognormal -0.2494 0.3321.
let c1 =0.46+ H

#Random Periode Gelombang C2:
name c2 'T'
rand k61 c2;
lognormal 1.5652 0.1472.
let c2 = T

#Random Panjang Gelombang C3: **)
name c3 'L'
rand k61 c3;
beta 0.19 1.23.
let c3 = 28+(38*L)

#Random kecepatan C4:
name c4 'Varus'
rand k61 c4;
lognormal -2.0007 0.3663..
let c4 = Varus

# Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Arus 1 m dari Dasar c60:
AX name c60'Uo arus'
let c60=c4/(k29**((1/7)))

#Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Arus Pada Pipa U c59:
name c59 'Uarus'
let c59=sqrt((0.778*(c60**2))*(k22**0.286))

#hitung dummy1 c5:
let c5 = (((3.14*H)**2)*3)/(4*T*L)
let c70 =(3.14*H)/T

#hitung dummy2 c6:
let c6 =4*3.14*(k22)/L
let c16 = 2*3.14*k23/L
let c71 =2*3.14*(k22)/L

#Hitung dummy3 c50:
let c50 = 0.5*(exp(c6)+exp(-c6))
let c51 = 0.5*(exp(c16)-exp(-c16))
let c52 = 0.5*(exp(c71)+exp(-c71))

#hitung kecepatan gelombang c7:
name c7 'Vgel'
let c7 = (c5 * (c50/(c51**4)))+(c70 *(c52/c51))

# Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Gelombang 1 m dari Dasar c5:
name c62'Uo gel'
let c62=Vgel/(k23**((1/7)))

```

```

#Perhitungan Kecepatan Partikel Air Karena Gelombang Pada Pipa U c6:
name c63 'Ugel'
let c63=sqrt((0.778*(c62**2))*(k22**0.286))

#Hitung Kecepatan Effektif c8:
name c8 'Veff'
name c9 'Veff2'
let c8 = Uarus + Ugel
let c9 = c8 **2

#Koefisien Gesekan Tanah Dasar c61:
name c61 'koefieisen gesekan tanah'
name c80 'Uniform'
name c61 'triangular'
rand k61 c80;
uniform 0.5 0.7.
let k3 = 0.6
do k4=1:k61
if c80(k4)<k3
let c61(k4) = sqrt(k3*c80(k4))
else
let c61(k4) = 1 -sqrt((1-k3)*(1-c80(k4)))
endif
enddo

#Harga Viskositas Fluida k25:
name k25 'Viskositas Fluida'
let k25=9.29E-7

#Perhitungan Bilangan Reynold c40:
name c40 'Re'
let c40=(k22*Veff)/k25

#Perhitungan Koefisien Drag c41:
name c41 'Cd'
let c41=(4E-12*(Re**2))-(4E-6*Re)+1.44

#Perhitungan Koefisien Lift c42:
name c42 'Cl'
let c42=(5E-12*(Re**2))-(4E-6*Re)+1.49

#Perhitungan Gaya Lift c31:
name c31 'Fl'
let c31=0.5*1025*Cl*k22*Veff2

#Perhitungan Efek Kekuatan c32:
name c32 'K'
let c32=(Ws-Fl)*c61

#Perhitungan Gaya Drag c34:
name c34 'Fd'
let c34=0.5*1025*Cd*k22*Veff2

```

```
#Perhitungan Moda Kegagalan MK(Z) c10:  
name c10 'MK(Z)'  
let c10=K-Fd  
enddo  
  
#hitung Reliability c11:  
name c11 'sukses=1;gagal=0'  
do k2=1:k61  
if c10(k2)>0  
let c11(k2) = 1  
else  
let c11(k2) = 0  
endif  
enddo  
  
Tally C11;  
Counts;  
Percents.  
  
Endmacro
```

Catatan :

- ^{*}) Untuk Zone III dan IV “Kedalaman Perairan (k23)” diganti dengan kedalaman untuk masing-masing zone berturut-turut 15 m dan 25 m.
- ^{**}) Untuk Zone III dan IV “Random Panjang Gelombang (C3)” diganti dengan distribusi panjang gelombang untuk masing-masing zone.