

SIDANG TUGAS AKHIR (P3)

Surabaya, 7 Agustus 2014

ANALISIS KEKUATAN SISA DAN KEANDALAN PADA ELBOW PIPELINE AKIBAT INTERNAL CORROSION

Oleh: Dony Yusuf Perdana (4310.100.077)

Dosen Pembimbing:

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid Ph.D., M.RINA
Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2014



DAFTAR ISI

- I. PENDAHULUAN
- II. METODOLOGI PENELITIAN
- III. ANALISIS HASIL & PEMBAHASAN
- IV. KESIMPULAN & SARAN



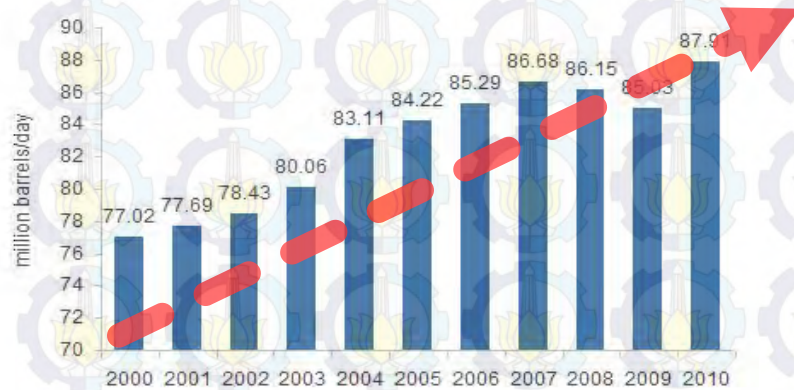
I. PENDAHULUAN

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2014



LATAR BELAKANG

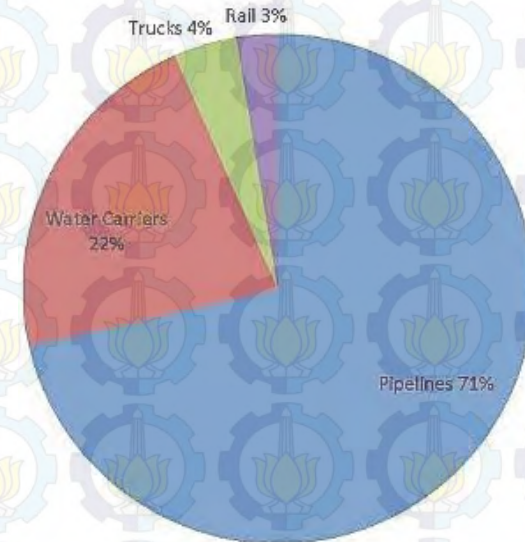
Global Oil Demand



(Sumber: eni calculations based on IEA data, 2010)

Menurut proyeksi Badan Energi Dunia (International Energy Agency-IEA), hingga tahun 2030 permintaan energi dunia meningkat sebesar 45% atau rata-rata mengalami peningkatan sebesar 1,6% per tahun. Sebagaimana besar atau sekitar 80% kebutuhan energi dunia tersebut dipasok dari bahan bakar fosil.

Total Petroleum Transportation by Mode

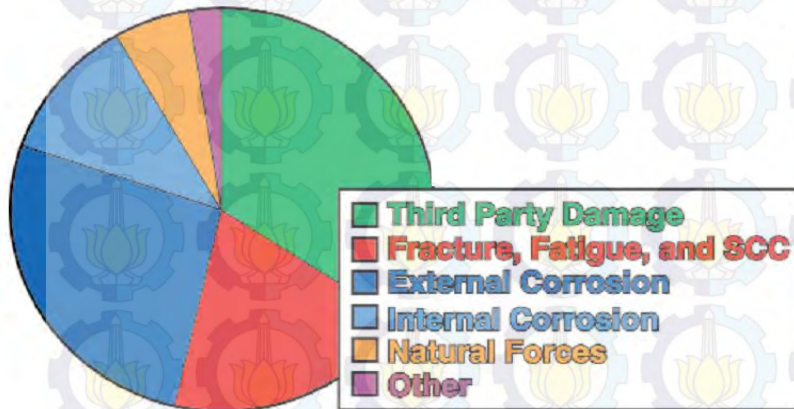


(Sumber: Percentage of Ton Miles Reported, AOPL Shift Report, 2008)

Dalam industri Migas, pipeline merupakan komponen utama yang digunakan sebagai sarana distribusi dan transmisi minyak dan gas baik di daratan (onshore) maupun di lepas pantai (offshore)

LATAR BELAKANG

Penyebab Kegagalan Pipeline



(Sumber: Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, 2010)

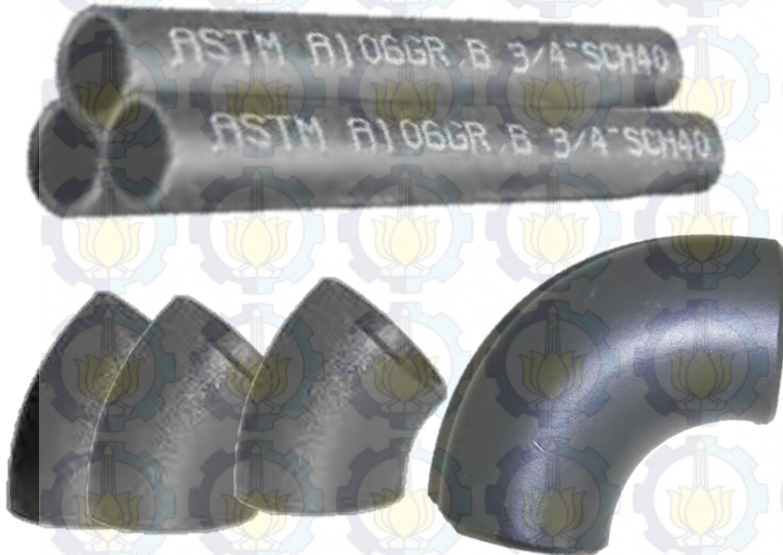


“Peningkatan jumlah umur operasi pipa secara signifikan telah meningkatkan jumlah kecelakaan. Penyebab utama kecelakaan pada pipa adalah akibat korosi internal dan eksternal.” (Teixeira dkk. 2008).

“Kandungan H₂S yang terdapat pada sumur JOB P-PEJ merupakan kandungan H₂S yang tertinggi di Indonesia.” (Hangga 2010).

“Setengah dari penyebab terjadinya korosi adalah karena adanya gas asam yaitu CO₂ dan H₂S.” (Kermay dan Harrop 1996).

LATAR BELAKANG



“Bentuk dari konstruksi Pipa dengan sudut bending tertentu (*elbow pipe*) yang berbeda dengan pipa lurus akan berpengaruh pada kecepatan laju korosinya. Karena perbedaan bentuk konstruksi suatu sistem juga sedikit banyak akan berpengaruh terhadap kecepatan korosinya.” (Supomo 2003)



DATA AWAL

Tabel 1 Data Utama *Elbow Pipe* JOB P-PEJ

Jalur Pipa Sukowati-CPA Mudi, Tuban	
Material	ASTM A106 Gr.B
Outside Diameter (D_{outside})	10.75 in
Wall Thickness (t)	0.593 in
Length of Pipe (L_{pipe})	377951.64 in
Design Temperature (T_{design})	203° F
Design Pressure (P_{design})	1480 psi
SMYS	35000 psi
Poisson's Ratio (ν)	0.303
Thermal Expansion Coeff (α)	7.9×10^{-6} in/in °F
Modulus Elasticity (E)	29.5×10^6 psi
Jumlah Elbow	8 Elbow 90° 16 Elbow 45°

(Sumber: JOB P-PEJ, 2007)



RUMUSAN MASALAH



1. Berapa besar **kekuatan dan indeks keandalan** segment elbow pipeline **sebelum** mengalami *internal corrosion*?
2. Berapa besar **kekuatan sisa (remaining strength) dan indeks keandalan** segment elbow pipeline **setelah** mengalami *internal corrosion*?

TUJUAN



1. Mengetahui **kekuatan dan indeks keandalan** *segment elbow pipeline* **sebelum** mengalami *internal corrosion*.
2. Mengetahui **kekuatan sisa (remaining strength)** dan **indeks keandalan** segmen elbow pipeline **setelah** mengalami *internal corrosion*.

MANFAAT

Dari hasil analisis diharapkan dapat diketahui kekuatan sisa dan keandalan *elbow pipeline* yang mengalami *internal corrosion* sehingga **risiko dan kecelakaan yang terjadi akibat *internal corrosion* dapat diminimalkan**. Hasil analisis keandalan ini bermanfaat bagi keamanan *pipeline* milik JOB P-PEJ Tuban selama beroperasi. Sehingga **dampak yang tidak diinginkan akibat dari *internal corrosion* yang terjadi pada segmen *elbow pipeline* dapat ditanggulangi**.



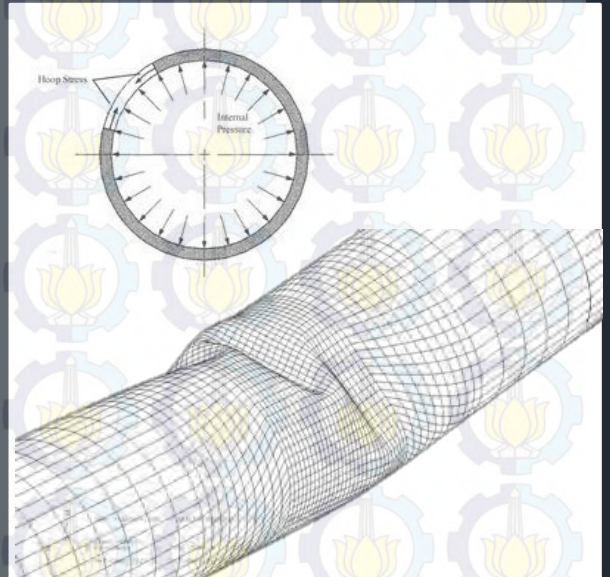
BATASAN MASALAH



ASTM A 106 Grade
B

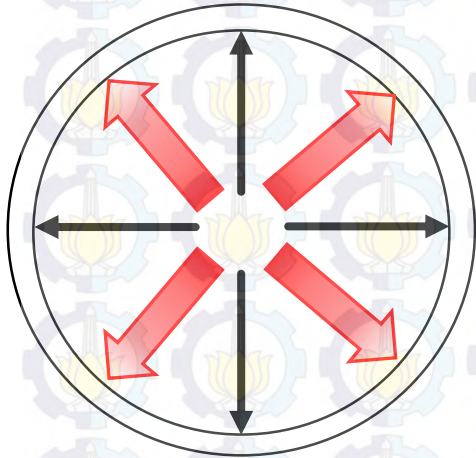


Korosi Terjadi di Dalam Pipa



Moda Kegagalan

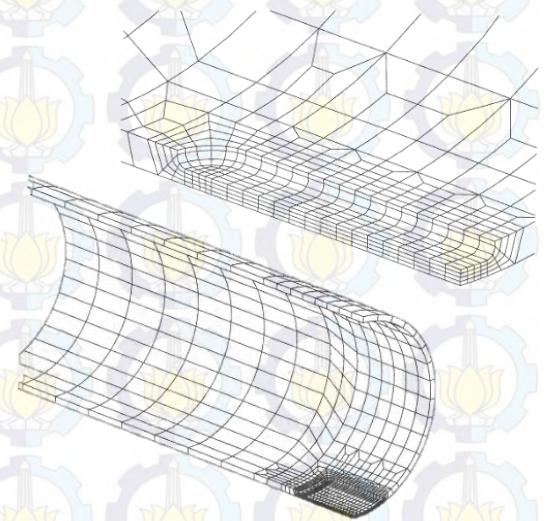
BATASAN MASALAH



Beban yang Bekerja Hanya Internal Pressure dan Internal temperature



Korosi Eksternal, Korosi pada Sambungan, dan Beban Tanah Tidak Diperhitungkan



Korosi dimodelkan dengan Rectangular Shape Corrosion

II. METODOLOGI PENELITIAN

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2014



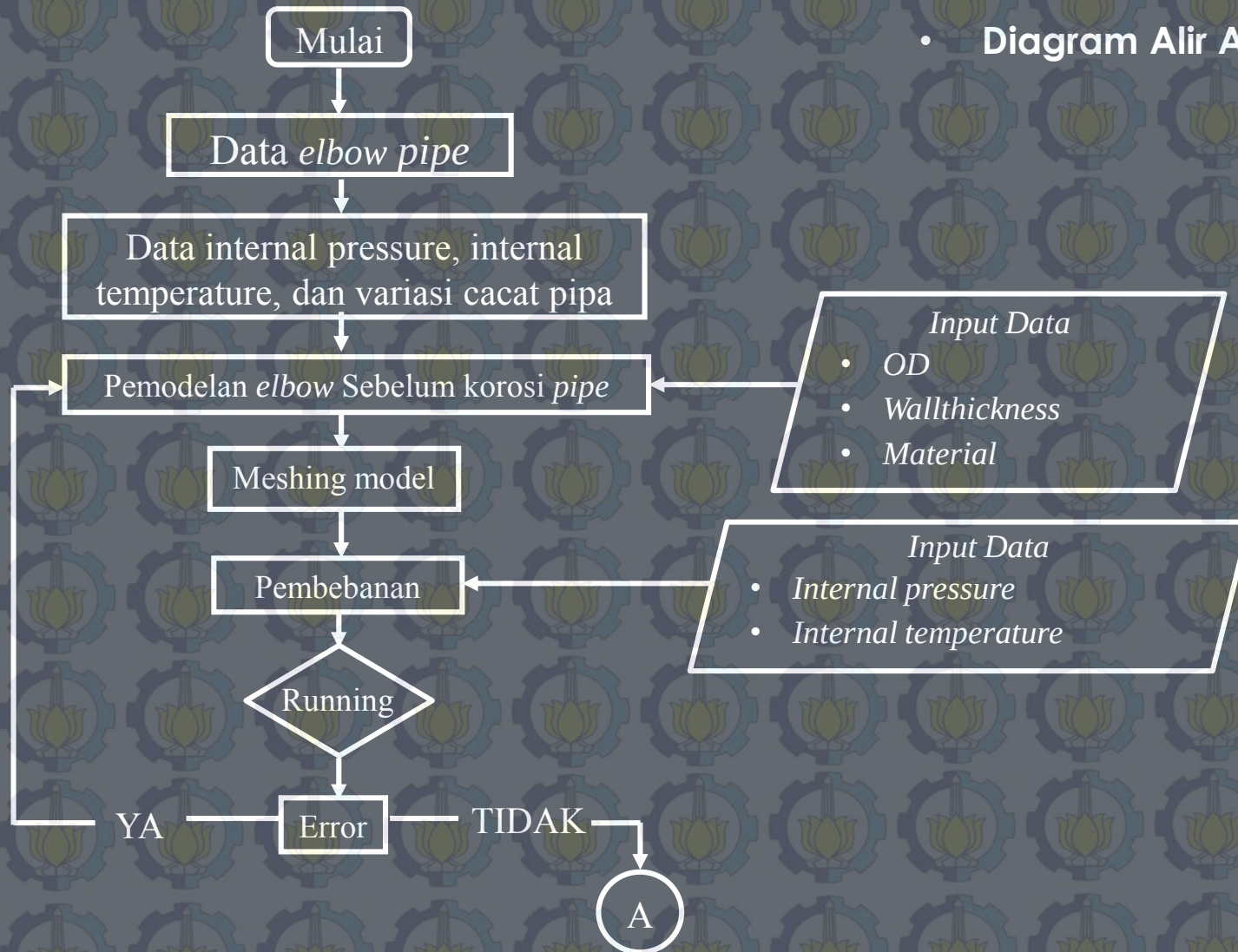
- **Diagram Alir Umum**

Secara umum sistematika pengerjaan tugas akhir ini adalah

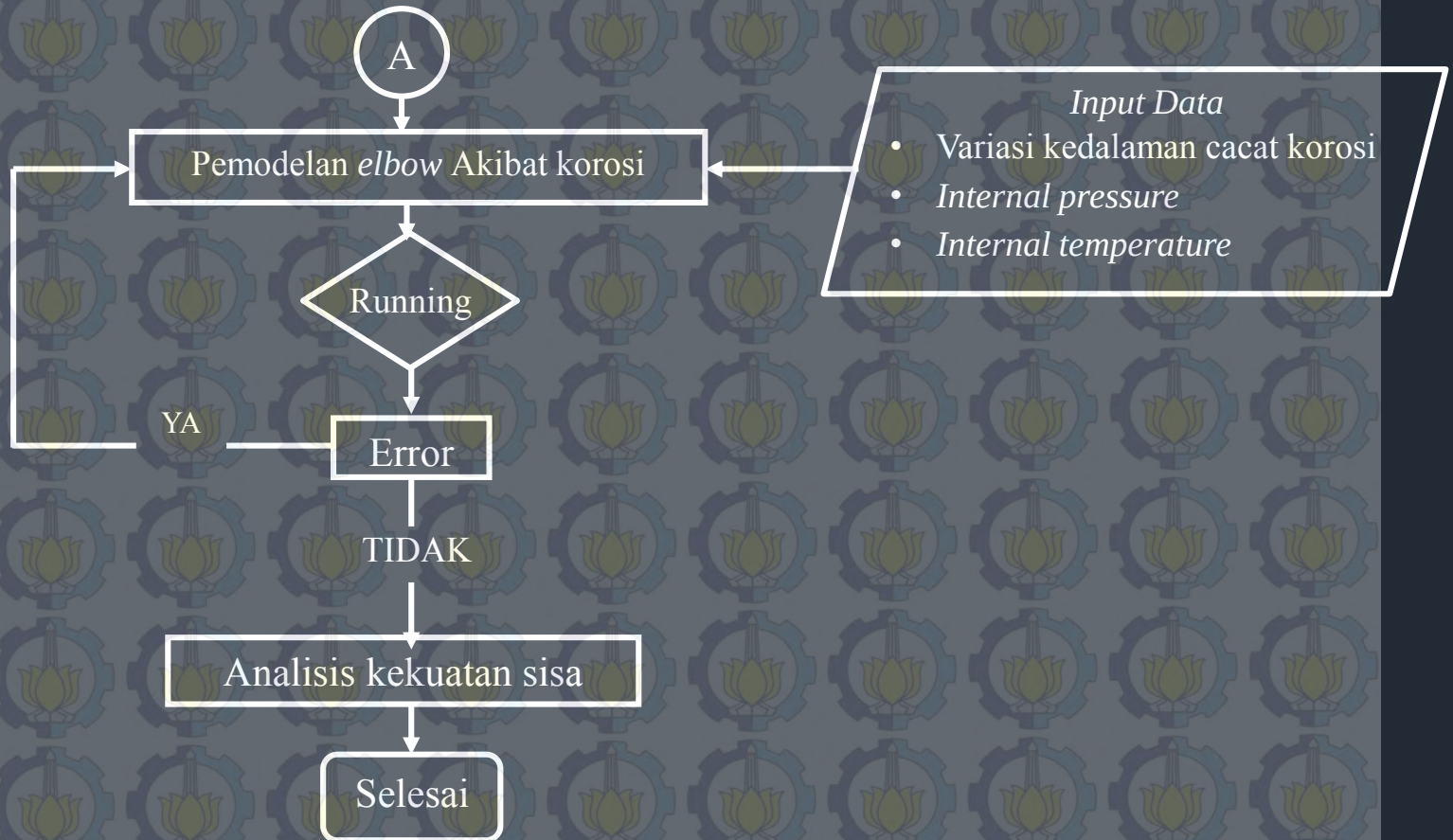


Gambar 3.1 Alur Pengerjaan Secara Umum

• Diagram Alir Analisis Kekuatan Sisa



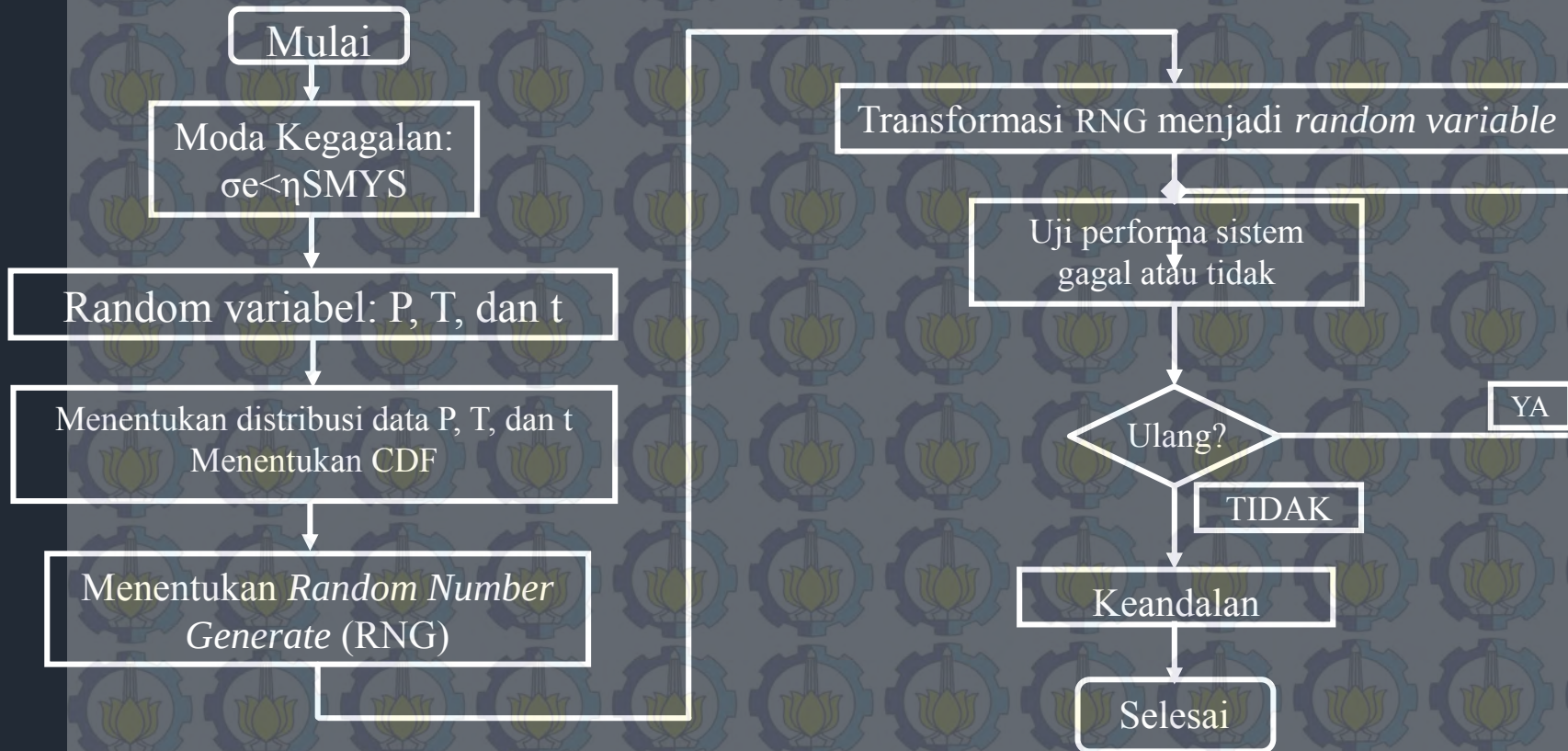
• Diagram Alir Analisis Kekuatan Sisa (lanjutan..)



Gambar 3.2 Alur Pengerjaan Analisis Kekuatan Sisa

- **Diagram Alir Analisis Keandalan**

Diagram Alir Perhitungan Keandalan terhadap *Equivalent Stress*



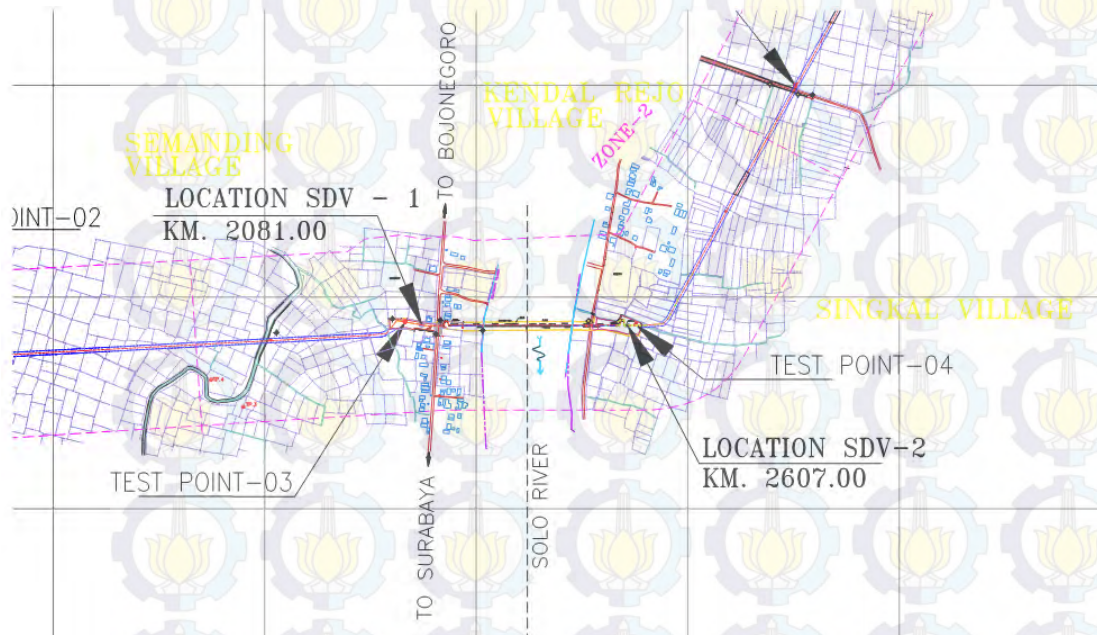
Gambar 3.3 Alur Pengerjaan Perhitungan Keandalan Terhadap *Local Buckling*

III. ANALISIS HASIL & PEMBAHASAN

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2014



ANALISIS DATA



Jalur Pipa Sukowati-Cpa Mudi, Tuban	
Material	ASTM A106 Gr.B
Outside Diameter ($D_{outside}$)	10.75 in
Wall Thickness (t)	0.593 in
Length of Pipe (L_{pipe})	377951.64 in
Design Temperature (T_{design})	203° F
Design Pressure (P_{design})	1480 psi
SMYS	35000 psi
Poisson's Ratio (ν)	0.303
Thermal Expansion Coeff (α)	7.9×10^{-6} in/in °F
Modulus Elasticity (E)	29.5×10^6 psi
Jumlah Elbow	8 Elbow 90° 16 Elbow 45°

Elbow yang dianalisis adalah elbow dengan tingkat korosi yang tertinggi berdasarkan data dari hasil inspeksi. Lokasi elbow terletak di **SDV - 1 KM 2081.00 Desa Semanding**, Bojonegoro untuk **elbow 45°** dan **SDV - 2 KM 2607.00 Desa Kendal Rejo**, Tuban untuk **elbow 90°**.

ANALISIS KEKUATAN SISA

Hasil Perhitungan Dimensi Cacat Korosi

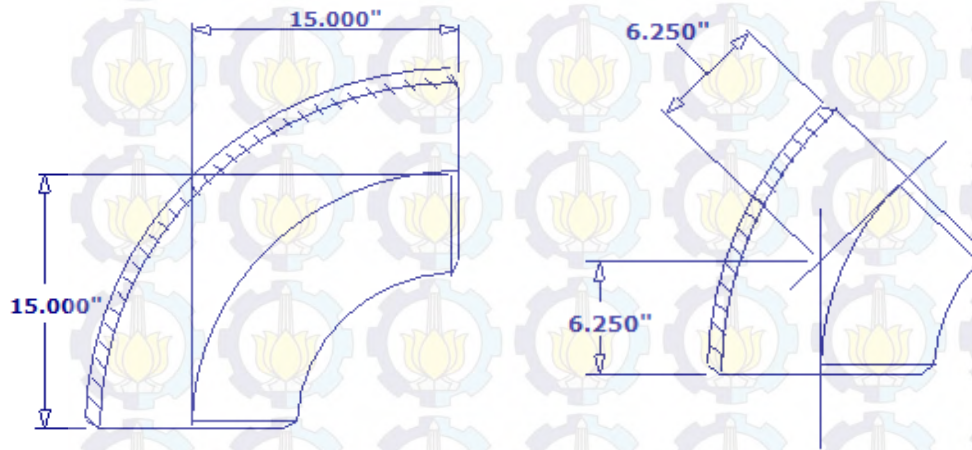
Dari data kedalaman cacat korosi (d) yang diperoleh dari data inspeksi, dapat diketahui panjang (L_{CD}) dan lebar (B) cacat korosi berdasarkan ASME B31G *Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipeline*.

Tabel 4.2 Dimensi Cacat Korosi pada *Elbow 45°* Berdasarkan ASME B31G

<i>Elbow 45°</i>							
Tahun	D, in	d, in	t, in	d/t	% pit depth	B, in	L, in
2005	10.157	0	0.593	0	0	0	0
2007	10.157	0.058	0.593	0.098	9.781	4	11.0
2009	10.157	0.062	0.593	0.105	10.455	4	11.0

Tabel 4.3 Dimensi Cacat Korosi pada *Elbow 90°* Berdasarkan ASME B31G

<i>Elbow 90°</i>							
Tahun	D, in	d, in	t, in	d/t	% pit depth	B, in	L, in
2005	10.157	0	0.593	0	0	0	0
2007	10.157	0.046	0.593	0.078	7.757	4	11.0
2009	10.157	0.065	0.593	0.110	10.961	4	11.0



Material	ASTM A106 Gr.B
Outside Diameter (D_{outside})	10.75 in
Wall Thickness (t)	0.593 in

INTERNAL PRESSURE = 1480 psi
INTERNAL TEMPERATURE = 203° F

Analisis Tegangan pada Elbow 45o dan 90o

SEBELUM

Terjadinya Korosi Internal

elbow 45°



elbow 90°



Tegangan von mises paling besar yang terjadi pada dinding dalam **elbow 45°** sebelum mengalami korosi adalah **14057 psi**. Sedangkan untuk **elbow 90°** sebelum mengalami korosi adalah **11957 psi**. Tegangan-tegangan yang terjadi masih dibawah *maximum allowable stress* (0.9 SMYS) pipa.

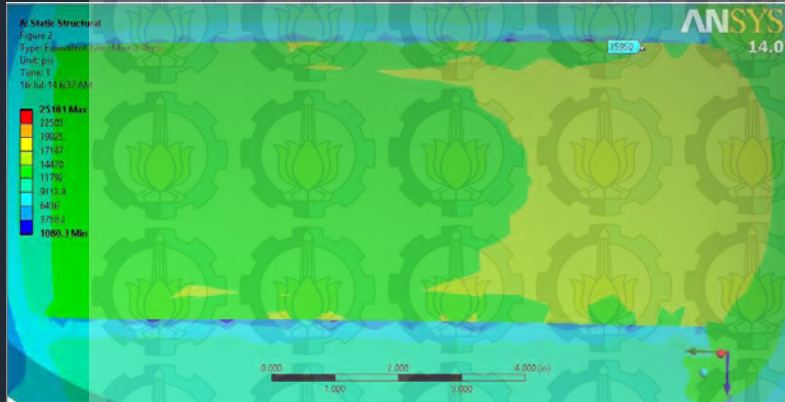
Analisis Tegangan pada Elbow 45o

SETELAH

45°

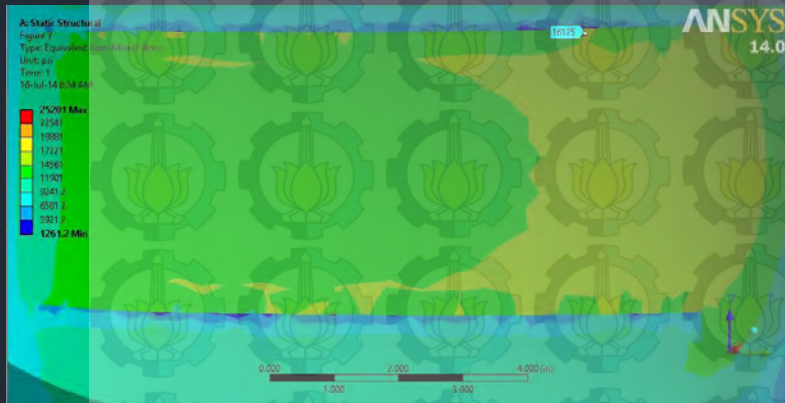
Terjadinya Korosi Internal

2007



$d = 0.058$ in

2009



$d = 0.062$ in

Tegangan von *mises* paling besar yang terjadi pada dinding dalam **elbow 45°** setelah mengalami korosi pada tahun 2007 dengan adalah **15950 psi**. Sedangkan pada tahun 2009 sebesar **16125 psi**. Tegangan-tegangan yang terjadi masih dibawah *maximum allowable stress* (0.9 SMYS) pipa.

Analisis Tegangan pada Elbow 90o

SETELAH

90°

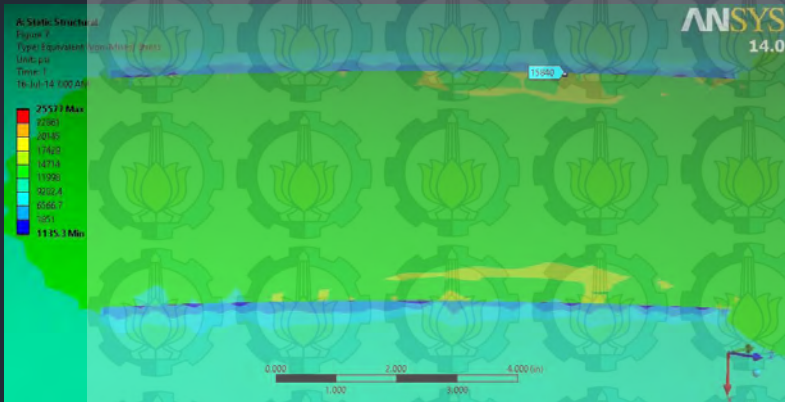
Terjadinya Korosi Internal

2007



d = 0.046 in

2009



d = 0.065 in

Tegangan von *mises* paling besar yang terjadi pada dinding dalam **elbow 90°** setelah mengalami korosi pada tahun 2007 dengan adalah **15340 psi**. Sedangkan pada tahun 2009 sebesar **15840 psi**. Tegangan-tegangan yang terjadi masih dibawah maximum allowable stress pipa ($0.9 \text{ SMYS} = 31500 \text{ psi}$).

Analisis keandalan dalam tugas akhir ini menggunakan simulasi *monte carlo* dengan Moda Kegagalan ***Equivalent Stress***. Variabel acak yang digunakan dalam adalah *internal pressure* (P_{internal}) dan *internal temperature* (T_{internal}), dan ketebalan pipa yang terkorosi (t)

Tabel 4.4 Distribusi Variabel Acak P_{internal} , T_{internal} , dan t pada *Elbow 45°*

Data Distribusi Variabel Acak Elbow 45°			
Variabel	Distribusi	Mean	Simpangan baku
Data Ketebalan 2005 (in)	Normal	0.593	0.030
Data Ketebalan 2007 (in)	3-Parameter Lognormal	0.615	0.031
Data Ketebalan 2009 (in)	3-Parameter Lognormal	0.607	0.03
Internal Pressure (psi)	3-Parameter Weibull	713.483	20.685
Internal Temperature (°F)	3-Parameter Weibull	167.055	12.006

Tabel 4.5 Distribusi Variabel Acak P_{internal} , T_{internal} , dan t pada *Elbow 90°*

Data Distribusi Variabel Acak Elbow 90°			
Variabel	Distribusi	Mean	Simpangan baku
Data Ketebalan 2005 (in)	Normal	0.593	0.030
Data Ketebalan 2007 (in)	3-Parameter Weibull	0.618	0.044
Data Ketebalan 2009 (in)	3-Parameter Loglogistic	0.583	0.018
Internal Pressure (psi)	Weibull	696.633	20.53
Internal Temperature (°F)	3-Parameter Weibull	153.273	6.126

Simulasi Monte Carlo MODA KEGAGALAN

Equivalent Stress

$$\sqrt{\left(\frac{PD}{2t}\right)^2 + \left(v \frac{PD}{2t} - (E\alpha(\Delta T))\right)^2} - \left(\frac{PD}{2t} \left(v \frac{PD}{2t} - (E\alpha(\Delta T))\right)\right) + 3\tau_{lh}^2 \leq \eta S_{MYS}$$

TUNTUTAN / BEBAN (Y)

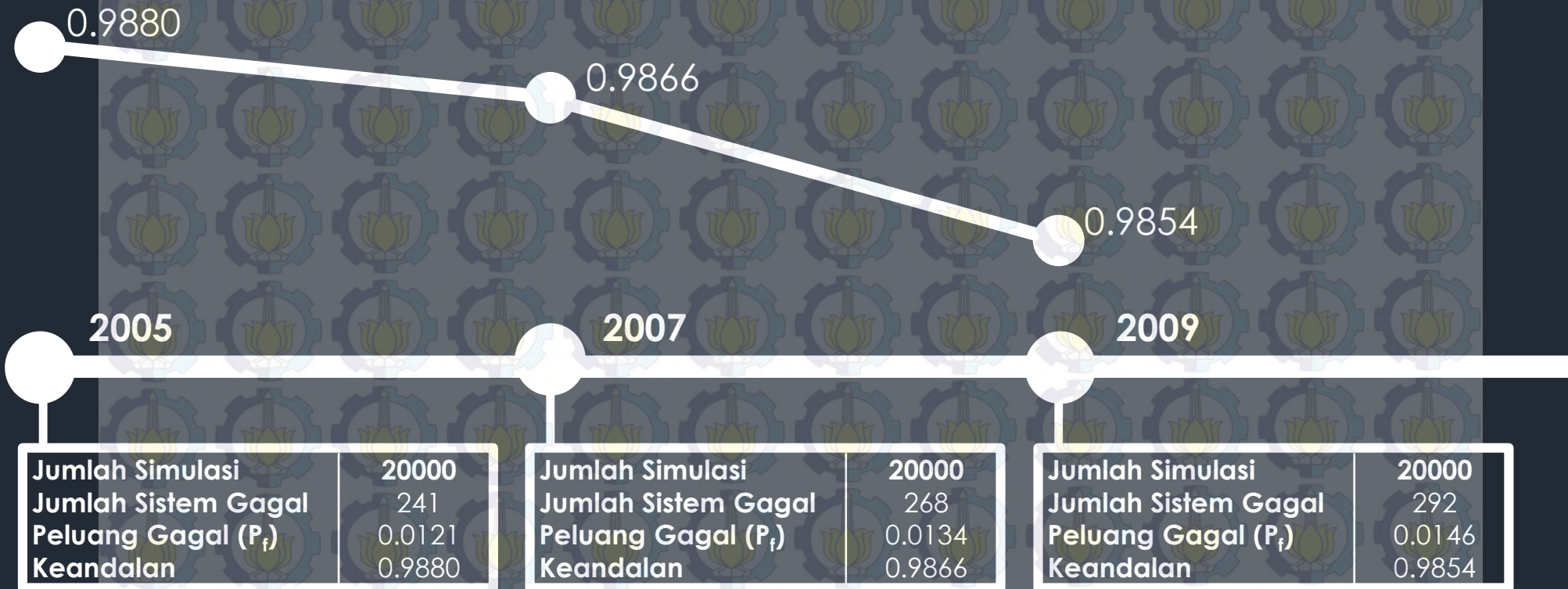
KAPASITAS (Y)



ANALISIS KEANDALAN UNTUK *ELBOW* 45°

KEANDALAN *ELBOW* 45°

45°



Hasil Simulasi Monte Carlo

ANALISIS KEANDALAN UNTUK ELBOW 90°

KEANDALAN ELBOW 90°

90°

0.9998

0.9998

0.9997

2005

2007

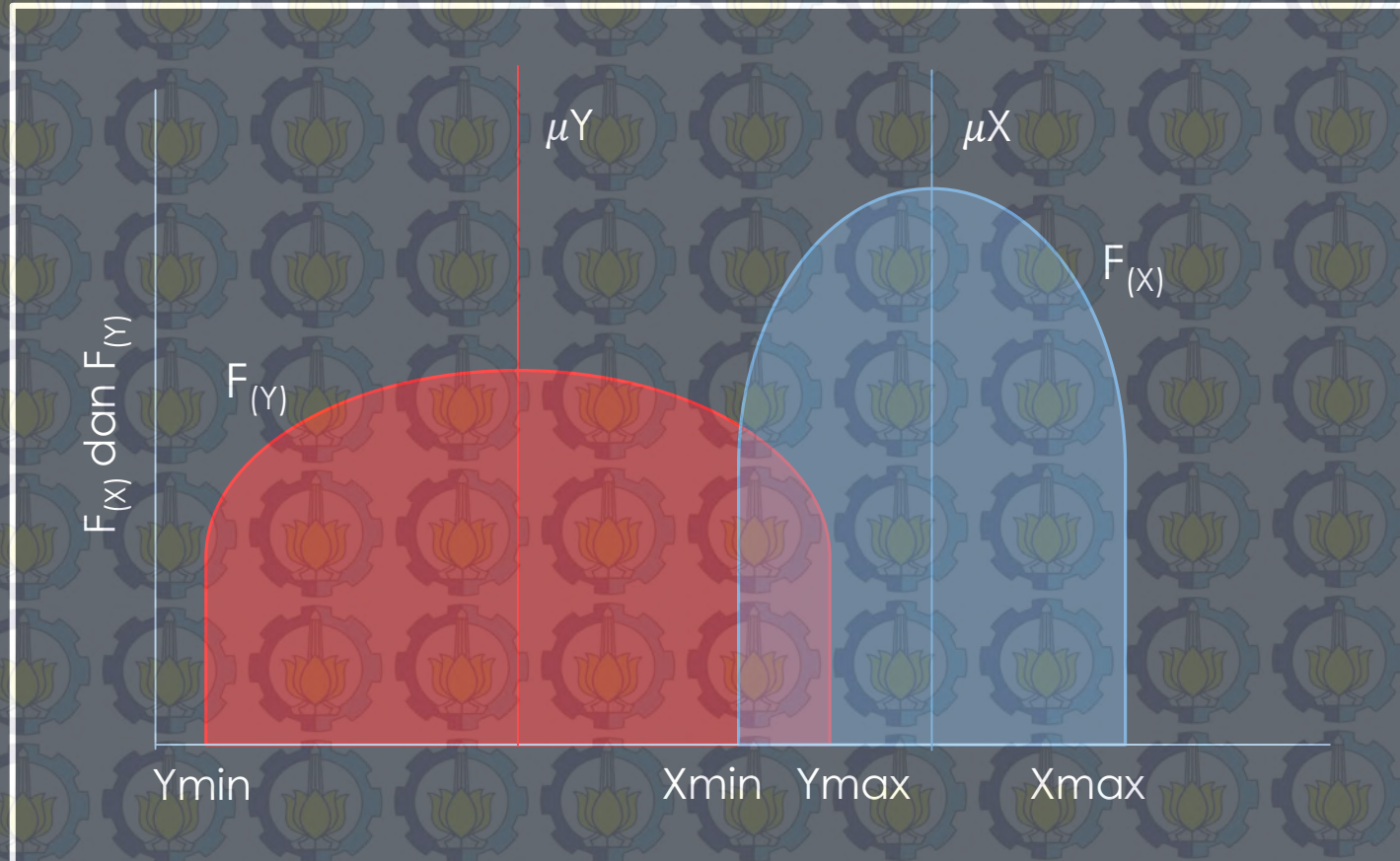
2009

Jumlah Simulasi	20000
Jumlah Sistem Gagal	4
Peluang Gagal (P_f)	0.0002
Keandalan	0.9998

Jumlah Simulasi	20000
Jumlah Sistem Gagal	4
Peluang Gagal (P_f)	0.0002
Keandalan	0.9998

Jumlah Simulasi	20000
Jumlah Sistem Gagal	7
Peluang Gagal (P_f)	0.0004
Keandalan	0.9997

Hasil Simulasi Monte Carlo



INDEKS KEANDALAN

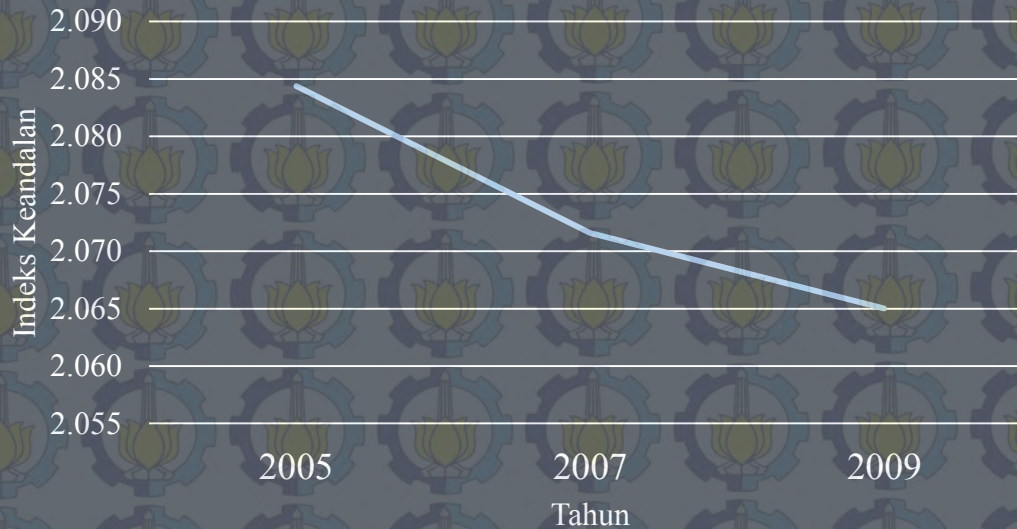
Ilustrasi Interferensi Fungsi Kerapatan Peluang **Beban (Y)** dan **Kapasitas (X)**

ANALISIS KEANDALAN UNTUK *ELBOW* 45°

INDEKS KEANDALAN *ELBOW* 45°

45°

Grafik Indeks Keandalan *Elbow* 45°



Parameter Distribusi Beban dan Kapasitas *Elbow* 45°

	<i>Equivalent Stress</i> (Y), psi			η SMYS (X), psi
	2005	2007	2009	
<i>Mean</i> , μ	22817	22858	22876	31500
<i>Standart Deviasi</i> , σ	2726	2735	2742	3150

Elbow 45°

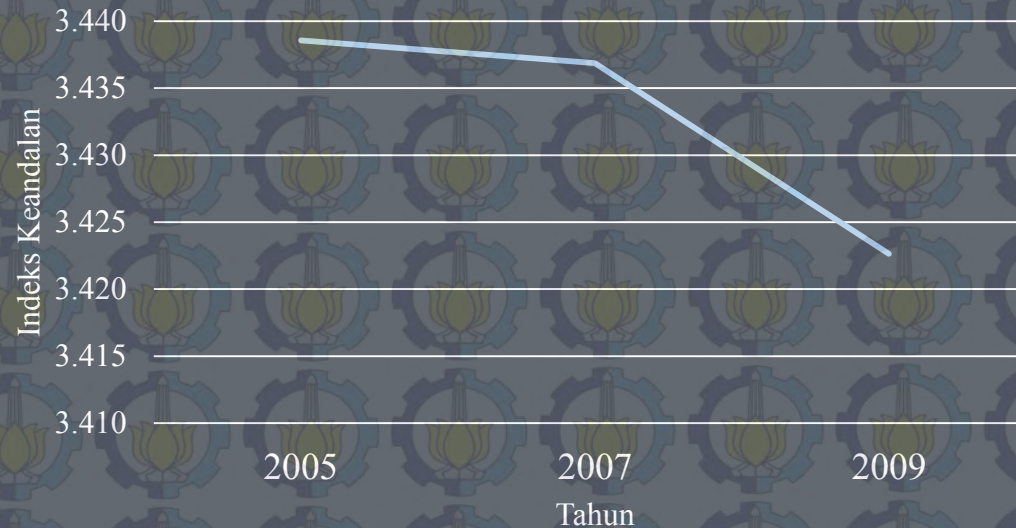
	Tahun		
	2005	2007	2009
σ_s	8683	8642	8624
μ_s	4165.762	4171.657	4176.250
β	2.084	2.072	2.065

ANALISIS KEANDALAN UNTUK ELBOW 90°

INDEKS KEANDALAN ELBOW 90°

90°

Grafik Indeks Keandalan Elbow 90o



Parameter Distribusi Beban dan Kapasitas Elbow 90°

	Equivalent Stress (Y), psi			η SMYS (X), psi
	2005	2007	2009	
Mean, μ	19665	19675	19724	31500
Standart Deviasi, σ	1387	1384	1384	3150

Elbow 90°

	Tahun		
	2005	2007	2009
σ_s	11835	11825	11776
μ_s	3441.841	3440.633	3440.633
β	3.439	3.437	3.423

IV. KESIMPULAN & SARAN

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2014



1

KESIMPULAN

sebelum terjadi korosi (2005)

Sebelum elbow mengalami korosi, tegangan terbesar yang terjadi pada dinding elbow 45° adalah 14057 psi dan untuk elbow 90° adalah 11957 psi. Dengan besar tegangan tersebut **elbow pipa tidak mengalami yielding**. Keandalan elbow 45° terhadap *equivalent stress* sebelum terjadi korosi adalah (0.9880) dengan indeks keandalan (2.084) dan untuk elbow 90° keandalannya adalah (0.9998) dengan indeks keandalan (3.439).



2

KESIMPULAN

setelah terjadi korosi (2007 dan 2009)

Setelah mengalami korosi pada tahun 2007 dan 2009 mengakibatkan meningkatnya tegangan terbesar pada dinding elbow 45° dan 90°. Hal ini membuktikan bahwa korosi mempengaruhi kekuatan kedua elbow tersebut namun tegangan terbesar kedua elbow yang terkorosi internal masih dibawah *maximum allowable stress*. Elbow masih relatif aman. Terjadi penurunan keandalan dari kedua elbow pipe dari tahun per tahun. Hal ini membuktikan bahwa keandalan kedua elbow cenderung menurun per tahunnya akibat adanya korosi internal.

SARAN

1. Melakukan analisis lebih lanjut mengenai pengaruh korosi eksternal.
2. Melakukan analisis lebih lanjut mengenai pengaruh dari aliran fluida internal
3. Melakukan pemodelan korosi dengan model cacat korosi lain.
4. Melakukan pemodelan pada konfigurasi pipa lain
5. Pengaruh beban tanah dan beban-beban eksternal lain lebih diperhitungkan.
6. Melakukan analisis lebih lanjut mengenai perhitungan umur kelelahan dari analisis keandalan.



TERIMA KASIH

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2014

