

Analisis Kekuatan Sisa dan Keandalan Pada *Elbow Pipeline* akibat *Internal Corrosion*

Dony Yusuf Perdana⁽¹⁾, Daniel M. Rosyid⁽²⁾, Hasan Ikhvani⁽³⁾

¹Mahasiswa Teknik Kelautan, ^{2,3}Staf Pengajar Teknik Kelautan

Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

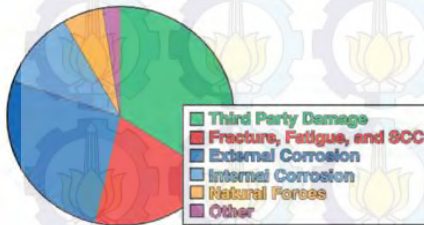
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

Abstrak

Peningkatan jumlah umur operasi pipa secara signifikan telah meningkatkan jumlah kecelakaan. Penyebab utama kecelakaan pada pipa adalah akibat internal dan eksternal korosi. Dengan adanya korosi internal mengakibatkan berkurangnya kekuatan dan keandalan pipa. Termasuk juga pada pipa dengan sudut bending tertentu. Bentuk dari konstruksi pipa dengan sudut bending tertentu (*elbow pipe*) yang berbeda dengan pipa lurus akan berpengaruh pada kecepatan laju korosinya. Pemodelan cacat korosi pada *elbow* 45° dan 90° dengan pendekatan cacat korosi *rectangular defect shape* dengan menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga. Berdasarkan hasil analisis tegangan *elbow pipe* pada *pressure internal* 1480 psi dan temperatur 203 °F. untuk *elbow* 45° sebelum terjadi cacat didapatkan tegangan sebesar 14057 psi dan setelah korosi untuk kedalaman cacat 0.058 in, yaitu 15950, serta untuk kedalaman cacat korosi 0.062 in, yaitu 16125. Untuk *elbow* 90° sebelum terjadi cacat didapatkan tegangan sebesar 11957, dan setelah korosi untuk kedalaman cacat 0.046 in, yaitu 15340, dan untuk kedalaman cacat korosi 0.065 in, yaitu 15840. Keandalan *elbow* pipa terhadap tegangan *equivalent* sebelum dan setelah mengalami korosi mengalami penurunan. Hal ini dapat dilihat dari indeks keandalannya. Indeks keandalan untuk *elbow* 45° pada tahun 2005 = 2.084, 2007 = 2.072, 2009 = 2.065 dan untuk *elbow* 90° pada tahun 2005 = 3.439, 2007 = 3.437, 2009 = 3.423.

Kata Kunci: *Elbow*, *Internal Corrosion*, Keandalan, Kekuatan Sisa, Simulasi Monte Carlo.

1. Pendahuluan



Gambar 1 Penyebab Kegagalan Pipeline [1]

Pipeline yang mengalami degradasi atau penipisan dinding pipa akibat *Internal Corrosion* akan mengalami penurunan kekuatan. Meskipun dalam tahap desain penipisan dinding pipa ini sudah dipertimbangkan dengan memberikan batas umur operasi, namun karena sulitnya mengontrol dan tidak seragamnya laju korosi pada setiap lokasi, maka kegagalan *pipeline* yang diakibatkan oleh korosi masih sering terjadi. Termasuk juga pada pipa dengan sudut bending tertentu. 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 [2]. Sehingga perlu dilakukan analisis kekuatan sisa dengan parameter utama adalah panjang, dan kedalaman cacat untuk dapat mengetahui seberapa handal *elbow pipe* yang mengalami korosi selama beroperasi. Oleh

karena itu, perhatian harus difokuskan untuk mengembangkan metode probabilistik untuk memprediksi peluang kegagalan dan kekuatan sisa (*remaining strength*) pipa akibat korosi [3].

Kekuatan sisa (*remaining strength*) pada pipa yang mengalami korosi akan mempengaruhi keandalan dari pipa. Hal ini berkaitan dengan *internal pressure* yang bekerja di dalam pipa. Semakin pipa mengalami korosi maka ketebalan pipa akan semakin berkurang, dengan berkurangnya kekuatan sisa (*remaining strength*) maka pipa tidak akan mampu menahan *internal pressure* yang bekerja didalam pipa sehingga pipa akan mengalami kegagalan [4].

Objek studi Tugas Akhir ini adalah pada *elbow pipeline* milik JOB Pertamina-Petrochina East Java (JOB P-PEJ). Kandungan Kandungan H₂S yang terdapat pada sumur JOB P-PEJ merupakan kandungan H₂S yang tertinggi di Indonesia. Setengah dari penyebab terjadinya korosi adalah karena adanya gas asam yaitu CO₂ dan H₂S [5] Sehingga *pipeline* milik JOB P-PEJ memiliki risiko korosi yang tinggi.

2. Metode Penelitian

A. Studi Literatur

Pada pengerjaan tugas akhir ini, literatur yang dipelajari adalah dari tugas akhir sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini serta dari jurnal, buku ajar, dan sumber lain seperti *code* dan *standart* sebagai literatur tambahan dalam tugas akhir ini.

B. Pengumpulan Data

Data—data yang digunakan didapatkan dari data dimensi *elbow pipe* pada jaringan pipa milik JOB P-PEJ jalur Sukowati-Mudi. Data hasil inspeksi pada *elbow pipe* berupa kedalaman *internal corrosion*, *internal temperature*, *internal pressure*, serta material utama pipa.

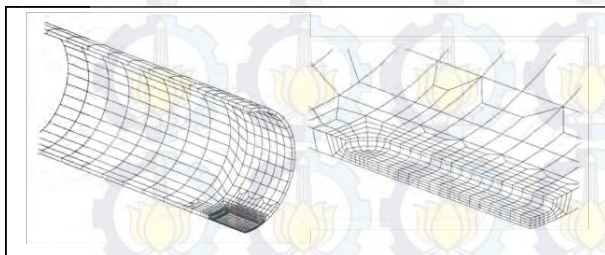
Tabel 1
Data *Elbow Pipe* Sukowati-Mudi [6]

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

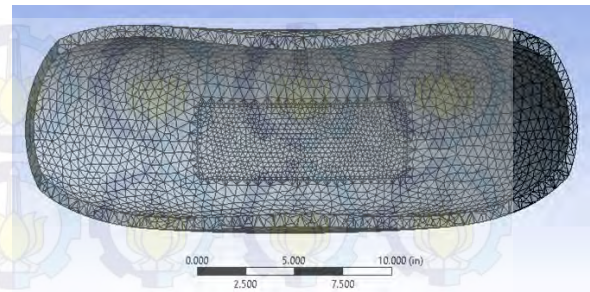
C. Perhitungan Korosi pada Elbow Pipe

Perhitungan dan pemodelan cacat korosi pada tugas akhir ini berdasarkan ASME B31G dan DNV Technical Report No. 96-3392 dengan pendekatan rectangular defect shape [7][8]. Perhitungan cacat korosi maksimum yang diijinkan pada *elbow* dapat dilakukan dengan mencari terlebih dahulu presentase kedalaman cacat korosi, kemudian mencari lebar cacat korosi, dan panjang cacat korosi berdasarkan data hasil inspeksi yang dilakukan JOB P-PEJ.



Gambar 2 Model Korosi *Rectangular Shape*

Letak dari cacat korosi pada dinding dalam *elbow* berdasarkan dari data inspeksi ketebalan *elbow* dan dari letak tegangan terbesar dari analisis tegangan dengan memodelkan aliran fluida pada *elbow*.



Gambar 3 Model Cacat Korosi Internal pada *Elbow*

D. Analisis Kekuatan Sisa

Salah satu parameter yang sangat penting untuk mempelajari kekuatan suatu material adalah tegangan. Analisis kekuatan sisa pada tugas akhir ini dilakukan dengan memodelkan struktur *elbow* menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga untuk mendapatkan tegangan *von mises* yang terjadi pada setiap node *elbow* pipa dengan variasi cacat korosi, dengan beban *internal pressure* dan *internal temperature*. Pemodelan *elbow* pipa dimodelkan dengan dua sudut bending yang berbeda yaitu sudut 45o dan 90o dan dengan tebal pipa sebelum terkorosi dengan perangkat lunak *3D Modelling*. Setelah dilakukan pemodelan langkah selanjutnya adalah melakukan diskritisasi geometris yaitu dengan cara membagi struktur kedalam bagian-bagian kecil (*meshing*). Input data berupa pembebanan yang diberikan pada *elbow* pipa berupa *internal pressure*, *internal temperature*, kemudian didapatkan tegangan *von mises* maksimum. Setelah itu dilakukan pemodelan cacat korosi pada *elbow* sesuai dengan dimensi cacat *elbow* pada tahun 2007 dan 2009. Kemudian dilakukan *meshing* dan dilakukan pembebanan berupa *internal pressure* dan *internal temperature* dan didapatkan hasil output dari perangkat lunak metode elemen hingga adalah berupa tegangan *von mises* pada setiap node pipa yang terjadi pada pipa akibat cacat korosi

E. Analisis Keandalan

Keandalan sebuah komponen atau sistem adalah peluang komponen atau sistem tersebut untuk memenuhi tugas yang telah ditetapkan tanpa mengalami kegagalan selama kurun waktu tertentu apabila dioperasikan dengan benar dalam lingkungan tertentu [9]. Dalam konsep keandalan, suatu masalah akan didefinisikan dalam hubungan permintaan dan penyediaan, yang keduanya merupakan variabel-variabel acak. Peluang terjadinya kegagalan suatu rancangan, dimana penyediaan (ketahanan atau kekuatan sistem) tidak dapat memenuhi permintaan (beban yang bekerja pada sistem) [10].

Analisis keandalan tugas akhir ini menggunakan metode simulasi monte carlo dengan moda kegagalan terhadap *equivalent stress* dan variabel acak thickness (*t*), *internal pressure* (*P_{internal}*), dan *internal temperature* (*T_{internal}*). Moda Kegagalan terhadap terhadap *Equivalent Stress* diambil berdasarkan pada persamaan yang terdapat pada DNV OS F101 [11].

$$\sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_t^2 - \sigma_h \sigma_t + 3\tau_{th}^2} \leq \eta SMYS \quad (1)$$

dengan,

$SMYS$ = *specified minimum yield stress*, psi

σ_h = *hoop stress*, psi

σ_l = *longitudinal stress*, psi

τ_{lh} = *tangential shear stress*

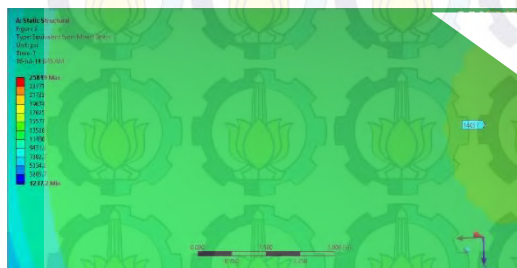
η = koefisien Faktor Keselamatan

Masing-masing variabel acak memiliki distribusi dan parameter distribusi yang berbeda sesuai dengan data hasil inspeksi yang dilakukan oleh JOB P-PEJ. Kemudian untuk menentukan *random variable* menggunakan data distribusi dan parameter distribusi dari t , $P_{internal}$, dan $T_{internal}$ dengan menggunakan perangkat lunak pengolahan data statistik. Setelah dilakukan uji performa sistem tersebut gagal atau tidak, setelah *random variable* data didapatkan. Sistem tersebut dikatakan gagal apabila beban (*equivalent stress*) melampaui kapasitas ($\eta SMYS$). Uji performa / simulasi dilakukan sebanyak 20000 kali sehingga didapatkan peluang kegagalan dan keandalannya. Setelah diketahui distribusi beban (*equivalent stress*) dari simulasi monte carlo dan kapasitas ($\eta SMYS$) dengan mengasumsikan kapasitas terdistribusi normal dengan simpangan baku 10% sebagai karakteristik kapasitas, dapat dilakukan perhitungan indeks keandalan dari setiap *elbow* per tahunnya.

3. Hasil Dan Pembahasan

A. Analisis Tegangan pada *Elbow 45°* dan *90°* Sebelum Terkorosi.

Tegangan 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.

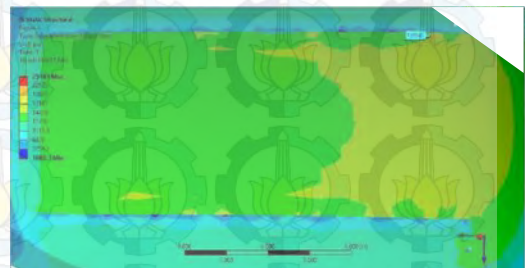


Gambar 4 Tegangan yang Terjadi Sebelum Korosi pada *Elbow 45°*

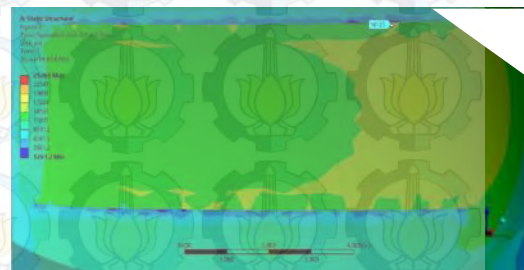


Gambar 5 Tegangan yang Terjadi Sebelum korosi pada *Elbow 90°*

B. Analisis Tegangan pada *Elbow 45°* setelah Terkorosi



Gambar 6 Tegangan yang Terjadi Setelah korosi pada *Elbow 45°* dengan kedalaman 0.058 in

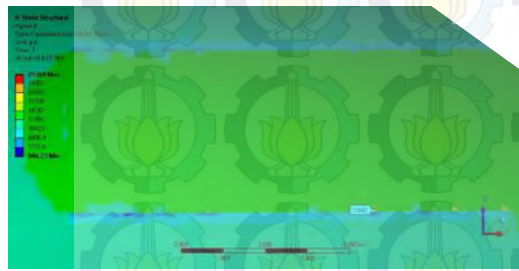


Gambar 7 Tegangan *Von mises* yang terjadi Setelah korosi pada *Elbow 45°* dengan kedalaman 0.062 in

Berdasarkan perhitungan ASME B31G dengan kedalaman korosi 0.058 in maka panjang dimensi cacat maksimum sebesar 11 in dengan lebar 4 in. Dari dimensi cacat tersebut didapatkan tegangan sebesar 15950 psi

Sedangkan untuk kedalaman korosi 0.062 in, maka panjang cacat maksimum sebesar 11 in dengan lebar 4 in. Dari dimensi cacat tersebut maka didapatkan tegangan sebesar 16125 psi. Dengan adanya korosi, tegangan yang terjadi pada *elbow* mengalami kenaikan. Adanya kenaikan tegangan disebabkan oleh kedalaman cacat korosi

C. Analisis Tegangan pada Elbow 90° setelah Terkorosi



Gambar 8 Tegangan *Von mises* yang terjadi Setelah korosi pada *Elbow* 90° dengan kedalaman 0.046 in



Gambar 9 Tegangan *Von mises* yang terjadi Setelah korosi pada *Elbow* 90° dengan kedalaman 0.065 in

Berdasarkan perhitungan ASME B31G dengan kedalaman korosi 0.046 in maka panjang dimensi cacat maksimum sebesar 11 in dengan lebar 4 in. Dari dimensi cacat tersebut didapatkan tegangan sebesar 15340 psi.

Sedangkan untuk kedalaman korosi 0.065 in, maka panjang cacat maksimum sebesar 11 in dengan lebar 4 in. Dari dimensi cacat tersebut maka didapatkan tegangan sebesar 15840 psi

Dengan adanya cacat korosi internal *elbow*, tegangan yang terjadi pada *elbow* mengalami kenaikan.

D. Analisis Keandalan terhadap Equivalent Stress.

Analisis keandalan *elbow* sebelum dan setelah mengalami korosi perlu dilakukan untuk mengetahui apakah *elbow* tersebut masih layak beroperasi atau tidak. Penilaian keandalan suatu struktur dapat dilakukan berdasarkan indeks keandalan struktur tersebut. Analisis keandalan dalam tugas akhir ini menggunakan simulasi monte carlo. Simulasi akan dilakukan sebanyak 20000 kali.

Variabel acak dalam moda kegagalan terhadap *equivalent stress* dapat di lihat pada tabel 2 dan 3

Tabel 2

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

Data Distribusi Variabel Acak <i>Elbow</i> 45°			
Variabel	Distribusi	Rata-rata	Simpangan baku
t 2005 (in)	Normal	0.593	0.030
t 2007 (in)	3-Parameter Lognormal	0.615	0.031
t 2009 (in)	3-Parameter Lognormal	0.607	0.03
$P_{internal}$ (psi)	3-Parameter Weibull	713.483	20.685
$T_{internal}$ (°F)	3-Parameter Weibull	167.055	12.006

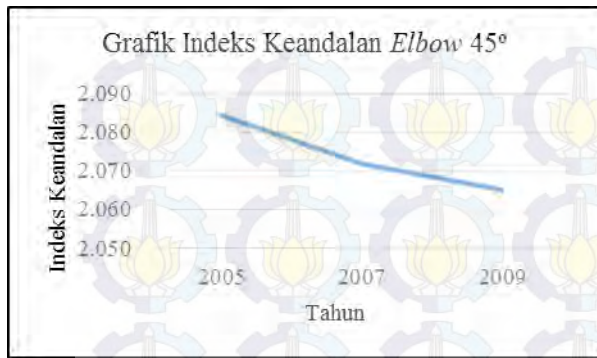
Tabel 3

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

Data Distribusi Variabel Acak <i>Elbow</i> 90°			
Variabel	Distribusi	Rata-rata	Simpangan baku
t 2005 (in)	Normal	0.593	0.030
t 2007 (in)	3-Parameter Weibull	0.618	0.044
t 2009 (in)	3-Parameter Loglogistic	0.583	0.018
$P_{internal}$ (psi)	Weibull	696.633	20.53
$T_{internal}$ (°F)	3-Parameter Weibull	153.273	6.126

Berdasarkan hasil simulasi monte carlo dengan 20000 iterasi untuk *elbow* 45° didapatkan keandalan pipa terhadap *equivalent stress* sebelum terkorosi tahun 2005 dan setelah terkorosi pada tahun 2007 dan 2009 adalah sebagai berikut:

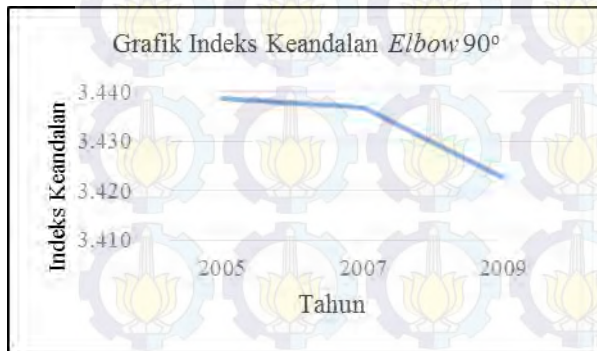
- Keandalan tahun 2005: 0.9880 dengan indeks keandalan (β) 2.084
- Keandalan tahun 2007: 0.9866 dengan indeks keandalan (β) 2.072
- Keandalan tahun 2009: 0.9854 dengan indeks keandalan (β) 2.065



Gambar 10 Grafik Indeks Keandalan *Elbow* 45°

Persamaan Sedangkan untuk *elbow* 90° didapatkan keandalan pipa terhadap *equivalent stress* sebelum terkorosi tahun 2005 dan setelah terkorosi pada tahun 2007 dan 2009 adalah sebagai berikut:

1. Keandalan tahun 2005: 0.9998 dengan indeks keandalan (β) 3.439
2. Keandalan tahun 2007: 0.9998 dengan indeks keandalan (β) 3.437
3. Keandalan tahun 2009: 0.9997 dengan indeks keandalan (β) 3.423



Gambar 11 Grafik Indeks Keandalan *Elbow* 90°

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir ini berdasarkan tujuan dari tugas akhir ini adalah:

- 1) 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 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) Setelah mengalami korosi pada tahun 2007 dan 2009 mengakibatkan meningkatnya tegangan terbesar pada dinding *elbow* 45° sebesar 15950 psi pada tahun 2007 dan 16125 psi pada tahun 2009. Hal tersebut juga terjadi pada *elbow* 90° sebesar 15340 psi pada tahun 2007 dan 15840 psi pada tahun 2009. 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. Keandalan *elbow* 45° pada tahun 2007 adalah 0.9866 dengan indeks keandalan 2.072 untuk 2009 keandalannya adalah 0.9854 dengan indeks keandalan 2.065. Sedangkan untuk *elbow* 90° pada tahun 2007 adalah 0.9998 dengan indeks keandalan 3.437 untuk 2009 keandalannya adalah 0.9997 dengan indeks keandalan 3.423. Hal ini membuktikan bahwa keandalan kedua *elbow* cenderung menurun per tahunnya akibat adanya korosi internal.

5. Saran

Beberapa saran dari tugas akhir ini adalah:

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.

6. Daftar Pustaka

- [1] R. E. Ricker, "Analysis of Pipeline Steel Corrosion Data from NBS (NIST) Studies Conducted Between 1922-1940 and Relevance to Pipeline Management," *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, Volume 115 Issue 5:373-392 (2010).
- [2] H. Supomo, *Diktat Kuliah : Korosi*, Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, ITS, Surabaya (1995).
- [3] H. Liu, *Pipeline Engineering*, Lewis Publisher, New York (2003).
- [4] R. S. Hangga, "Analisis Kekuatan Sisa Pipeline Akibat Internal Corrosion Berbasis Keandalan," *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Kelautan, ITS (2010).
- [5] M.B. Kermany dan D. Harrop, "The Impact of Corrosion on Oil and Gas Industry," *SPE Production & Facilities* 11:186-190, SPE-29784-PA (1996).
- [6] JOB P-PEJ, *JOB Pertamina-Petrochina East Java: Sukowati-Mudi Pipeline Project*, Tuban (2004)
- [7] American Society of Mechanical Engineers, *ASME B31.G, Manual for Determining the Remaining strength of Corroded Pipelines*, New York (1991).
- [8] Det Norske Veritas, *DNV Technical Report No. 96-3392: Joint Industry Project, Reliability of Corroded Pipes Finite Element Analyses*, Norway (1997).
- [9] D. M. Rosyid, *Pengantar Rekayasa Keandalan*, Airlangga University Press, Surabaya (2007).
- [10] H. S. Ang dan W. H. Tang, *Probability Concepts In Engineering Planning And Design*, John Wiley, New York (1985)
- [11] Det Norske Veritas, *DNV OS F101: Submarine Pipeline Systems*, Norway (1997).