

Studi RBI (*Risk Based Inspection*) Floating Hose pada SPM (*Single Point Mooring*)

Dwi Angga Septianto, Daniel M. Rosyid, dan Wisnu Wardhana
Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: dmrosyid@oe.its.ac.id

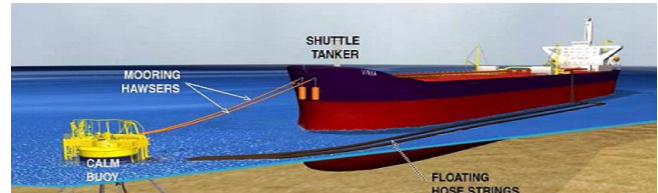
Abstrak— Korosi yang terjadi di rangkaian *floating hose* untuk *string* 1 dan 2 akan berpengaruh terhadap keandalan rangkaian *hose* yang dihubungkan dari manifold tanker menuju *single point mooring*. Salah satu jenis korosi yaitu korosi erosi yang mengakibatkan degradasi struktur yang cukup signifikan pada *string floating hose*. Degradasi struktur lebih lanjut akan mengakibatkan kegagalan struktur. Oleh karena itu, perlu adanya suatu inspeksi dengan berbasis keandalan. Metode RBI adalah salah satu metode pengelolaan inspeksi yang didasarkan pada tingkat resiko pengoperasian peralatan atau unit kerja industri. Metode *Risk Based Inspection* menggunakan kombinasi dua parameter yaitu kemungkinan kegagalan dan konsekuensi kegagalan. Tugas Akhir ini bertujuan untuk mencari peluang kegagalan, tingkat resiko, dan memprediksi inspeksi yang sesuai pada *floating hose* untuk *string* 1 dan 2. Peluang kegagalan diperoleh dengan menggunakan *Monte Carlo Simulation*. Dari hasil simulasi, maka diperoleh peluang kegagalan (*PoF*) *floating hose* untuk *string* 1 = 4,60% ; *floating hose* untuk *string* 2 = 0,56%. Dengan mengacu pada API RBI 581 maka diperoleh tingkat resiko pada *floating hose* untuk *string* 1 : resiko menengah (3C); *floating hose* untuk *string* 2 : menengah tinggi (4C). Berdasarkan tingkat resiko tersebut, maka metode inspeksi yang tepat adalah dengan *ultrasonic straight beam* dan *radiography* untuk frekuensi inspeksi 2 tahun sekali (menengah tinggi) dan 2,5 tahun sekali (menengah).

Kata Kunci— *Floating Hose, Monte Carlo, Risk Based Inspection, String.*

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan kilang di pulau Jawa memiliki konsekuensi tersendiri dalam pemenuhan kebutuhan akan bahan baku. Untuk penyaluran minyak menggunakan tanker terdapat pula suatu sistem penunjang fasilitas produksi minyak yaitu SPM (*Single Point Mooring*). SPM merupakan sarana tambat yang terpadu dengan sistem penyaluran minyak dimana kapal tanker harus bertambat dan melakukan bongkar/muat minyak melalui rangkaian *floating hose* dan jalur pipa bawah laut.

Kilang minyak Pertamina RU IV yang berada di Cilacap merupakan salah satu yang mempunyai beberapa fasilitas SPM tipe CALM. Studi kasus pada Tugas Akhir ini mengambil objek *floating hose* pada SPM. *Floating hose* merupakan *fluid transfer system* yang berfungsi menyalurkan minyak dari manifold tanker menuju SPM (*Single Point Mooring*). Seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 1. *Floating hose* pada Kapal Tanker dengan SPM (Indian Oil)

Pada tugas akhir ini akan membahas tentang studi resiko pada *floating hose* yang diawali dengan menghitung keandalan berdasarkan moda kegagalan *pressure based*. Keandalan didefinisikan sebagai peluang kegagalan rangkaian *floating hose* tidak mengalami *burst pressure*. Peluang kegagalan didefinisikan sebagai *operational pressure* pada rangkaian *floating hose* yang mengalami *erosion corrosion* melampaui *burst pressure*. Langkah berikutnya yaitu menghitung konsekuensi kegagalan pada rangkaian *floating hose* yang mengalami *erosion corrosion* dan akhirnya menentukan tingkat resiko dalam prioritas pemeriksaan yang sesuai untuk diterima setiap rangkaian *floating hose* yang mengalami *erosion corrosion*.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini meliputi data desain *floating hose* dan produk *floating hose* [1]. Komposisi rangkaian *floating hose* adalah sebagai berikut :

- *First Hose "off buoy"* (*Rein Forced 1 joint / string*), $D = 24"$, $L = 40$ feet
- Standar *Floating hose (Main Line 17 joint / string)*, $D = 24"$, $L = 40$ feet
- *Tapered Hose (1 joint / string)*, $D_1 = 24" - D_2 = 16"$, $L = 40$ feet
- *Tail Hose (3 joint / Line 1)*, $D = 16"$, $L = 30$ feet
- *Tail Hose (4 joint / Line 2)*, $D = 16"$, $L = 30$ feet
- *Tanker Rail Hose (1 joint / string)*, $D = 16"$, $L = 35$ feet
- Jumlah 2 *string* (*Line 1 & Line 2*)
- Panjang masing-masing *string* adalah 885 feet (*Line 1*) dan 915 feet (*Line 2*).
- Ketebalan *Hose* (t) = 0,425 in dan *corrosion allowance* = 0,128 in

Adapun data produksi yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Data Produksi

Deskripsi	Produk A
Gravity (ft/s ²)	33.3
S.G. 60/60	0.855
Total Sulphur (%W)	1.82
Pour point / Temperature (deg.F)	36
Viscosity	
* 70 deg. F cST	7.88
* 100 deg. F cST	4.06
Density (kg/m ³)	815.6

*Net Available Pressure at Tanker Rail = 1.2 bar

B. Permodelan numerik metode CFD dengan software ANSYS

Melakukan pemodelan numerik dengan menggunakan bantuan software ANSYS ICEM CFD untuk mendapatkan wall shear/tegangan geser (π_w) dari 2 string pada floating hose.

C. Variasi rangkaian floating hose dan variasi kecepatan fluida

Analisa dilakukan dengan dua rangkaian yaitu string satu dan string dua dengan variasi kecepatan fluida.

D. Perhitungan laju korosi

Perhitungan laju korosi menggunakan persamaan dari Solihin [2], persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Cr = 0.0213\pi_w^{1.2911} \quad (1)$$

dengan Cr adalah Corrosion rate, 0,0213 adalah slope percepatan laju korosi, 1.2911 adalah faktor konstanta dari hasil percobaan, serta (π_w) adalah wall shear.

E. Melakukan Perhitungan Keandalan

Perhitungan keandalan dilakukan dengan menggunakan Monte Carlo Simulation dengan persamaan moda kegagalan (MK) adalah sebagai berikut :

$$g(X) = \frac{2St}{D} - Po \quad (2)$$

dengan t adalah wall thickness of pipe (inch), D adalah outside diameter of pipe (inch), S adalah allowable stress value (ksi)= 0,72 x E x SMYS, E adalah weld joint factor = 1 (API 5L grade B).

dimana, $t = f(Cr)$, maka: $f(Cr) = Cr \times T$

dengan T adalah lama waktu (year). Jadi hubungan antara Corrosion rate (Cr) dengan moda kegagalan tersebut menjadi:

$$g(X) = \frac{2Sf(Cr)}{D} - Po \quad (3)$$

dimana sistem dikatakan gagal jika $g(x) < 0$, dinyatakan berhasil jika $g(x) > 0$ dan bila $g(x) = 0$, maka sistem dinyatakan failure surface.

F. Menghitung Konsekuensi Kegagalan dari Rangkaian Floating Hose Untuk String 1 dan 2

Dari hasil Monte Carlo Simulation dengan simulasi mencapai 10000 data, maka dapat diketahui presentase peluang kegagalan dari rangkaian floating hose. Analisa konsekuensi kegagalan akibat terlepasnya fluida representatif pada metode semikuantitatif RBI terdiri dari atas dua bagian, yaitu: konsekuensi akibat terlepasnya fluida representatif yang mudah terbakar dan konsekuensi akibat fluida representatif yang beracun. Pada kasus analisa tingkat resiko pada peralatan yang diamati, fluida representatif yang dipakai hanya mempunyai sifat mudah terbakar.

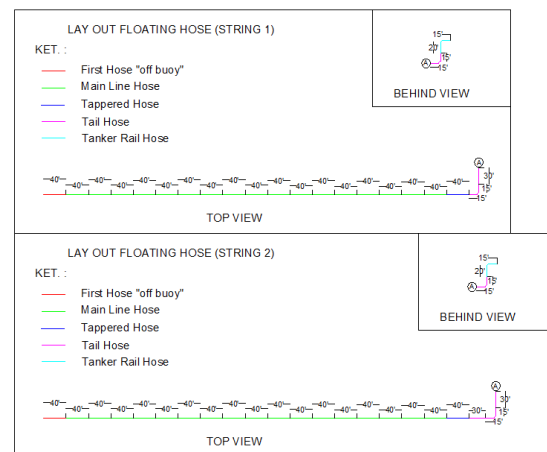
G. Penentuan Tingkat Resiko dan Inspeksi

Program pemeriksaan atau inspeksi pada rangkaian floating hose string 1 dan string 2 diarahkan pada item atau peralatan dengan level resiko yang tinggi sesuai dengan API RBI 581. Level resiko tertinggi dapat dilihat pada matriks resiko.

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Data Utama

Data dimensi utama rangkaian floating hose string 1 dan string 2 yang ditinjau pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada gambar 2 serta keterangan tekanan operasional pada tabel 2 berikut ini :



Gambar. 2. Lay out Floating Hose.

Tabel 2. Data Tekanan Operasional

Kondisi	Operational Pressure (psi)
A	36.3
B	181.3
C	217.6
D	72.5
E	145.0

(Sumber: Pertamina RU IV,2010)

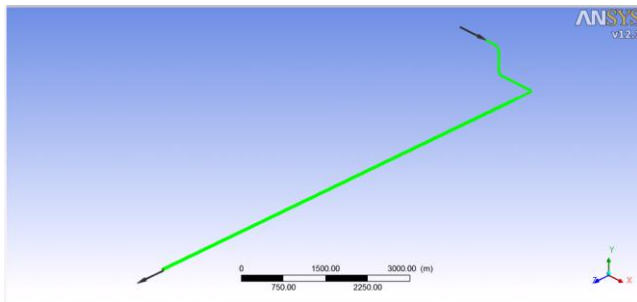
B. Pemodelan Numerik metode CFD dengan ICEM CFD ANSYS

Melakukan pemodelan numerik dengan menggunakan bantuan software ICEM CFD ANSYS dengan acuan pada referensi teori Ansys [3] untuk mendapatkan tegangan geser (π_w). Langkah pertama adalah membuat geometri rangkaian

floating hose string 1 dan *string* 2. Kemudian memberikan bagian (*part*) agar lebih mudah dalam menganalisa serta *meshing* struktur *floating hose* tersebut agar lebih rapat dan *smooth*, sehingga dapat dianalisis secara sempurna.

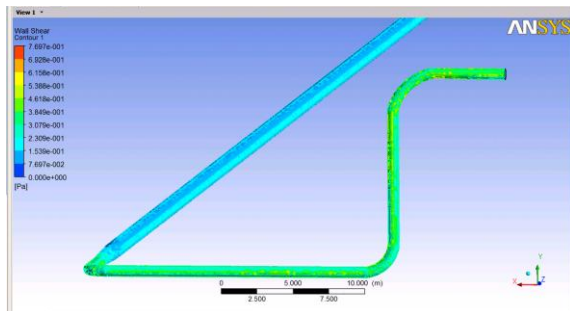
Untuk memperoleh model *meshing* struktur *floating hose* tersebut lebih rapat dan *smooth* maka cara yang dilakukan dengan memvariasikan *maximum size* pada *Part Mesh Setup* pada *software* ICEM CFD Ansys kemudian me-running pada CFX-Post Ansys.

Langkah kedua adalah memberikan *boundary condition* pada ANSYS CFX-Pre. Data produk dan variasi kecepatan fluida dalam *floating hose* digunakan sebagai *input* pada *inlet*, *outlet*, dan *wall* model pada *software* ICEM CFD ANSYS, seperti yang terlihat pada gambar 3 berikut ini:



Gambar 3. Model Inlet dan Outlet pada Floating hose (String 1)

Setelah melakukan *running* pada ANSYS CFX – Pre, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisa pada ANSYS CFX - Post untuk mendapatkan *output* berupa tegangan geser (π_w) seperti pada gambar 4 di bawah ini:



Gambar 4. Tegangan Geser pada Floating hose (String 1) dengan kecepatan fluida 21.425 m/s

C. Variasi Rangkaian Floating hose dan Kecepatan Fluida

Variasi rangkaian *floating hose* dan kecepatan fluida tersaji dalam tabel di bawah ini:

Tabel 3. Perhitungan Laju Korosi dengan menggunakan Tegangan Geser (π_w)

Kondisi	V (m/s)	π_w (Pa)	Cr (ipy)
String 1	21.425	0.770	0.015
	17.140	0.616	0.011
	12.855	0.462	0.008
	8.570	0.308	0.005
	4.285	0.154	0.002
String 2	21.425	0.860	0.018
	17.140	0.688	0.013
	12.855	0.516	0.009
	8.570	0.344	0.005
	4.285	0.172	0.002

Data ketebalan korosi yang terjadi pada daerah *floating hose* adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Data Ketebalan Korosi

Kondisi	Tebal korosi (inch) setelah 7 tahun
String 1	0.106
	0.080
	0.055
	0.033
	0.013
String 2	0.123
	0.092
	0.063
	0.038
	0.015

D. Penentuan Variabel Acak dan Parameter Statistik Variabel acak

Dari moda kegagalan diatas dapat ditentukan variabel acak. Variabel acak tersebut adalah tekanan operasional (P_o) dan ketebalan dinding *floating hose* setelah terkorosi (t) selama 7 tahun. Pencarian parameter statistik dilakukan dengan bantuan *software* Minitab 16. Dengan *software* Minitab 16, kita dapat mengetahui distribusi dari tiap-tiap variabel acak.

E. Simulasi Monte Carlo

Simulasi *Monte Carlo* dengan masing-masing variabel acak di-generate menjadi 10000 *Random Number Generate* (RNG) yang berbeda satu sama lain. Kemudian hasilnya dimasukkan ke dalam persamaan moda kegagalan untuk disimulasikan. Dari hasil simulasi kemudian dihitung peluang suksesnya dengan menghitung jumlah sukses dari simulasi sejumlah 10000 data. Hasilnya dicatat peluang sukses untuk tiap-tiap 1000 simulasi agar diketahui kapan simulasi sudah mencapai peluang kesuksesan yang stabil. Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk tabel untuk memudahkan pencatatan seperti yang terlihat dalam Tabel 5 di bawah ini:

Tabel 5. Hasil Monte Carlo Simulation

Jumlah Simulasi	String 1			String 2		
	Keandalan	Pof	Jumlah Gagal	Keandalan	Pof	Jumlah Gagal
1000	94.40%	5.60%	56	99.70%	0.30%	3
2000	95.45%	4.55%	91	99.05%	0.95%	19
3000	95.80%	4.20%	126	99.23%	0.77%	23
4000	95.20%	4.80%	192	99.08%	0.92%	37
5000	94.94%	5.06%	253	99.40%	0.60%	30
6000	95.38%	4.62%	277	99.32%	0.68%	41
7000	95.40%	4.60%	322	99.46%	0.54%	38
8000	95.45%	4.55%	364	99.41%	0.59%	47
9000	95.44%	4.56%	426	99.40%	0.60%	54
10000	95.40%	4.60%	460	99.44%	0.56%	66

Dapat diambil kesimpulan bahwa simulasi mencapai

kestabilan peluang kegagalan pada saat simulasi mencapai 10000 data. Pada perhitungan peluang keandalan dengan Simulasi *Monte Carlo*, terjadi perbedaan peluang keandalan antara rangkaian *floating hose string* 1 dan 2. Hal ini disebabkan karena ukuran dan dimensi dari rangkaian *floating hose* serta variasi kecepatan yang digunakan dalam pemodelan. Dari Tabel 7 pada 10000 simulasi dapat dilihat selisih peluang keandalan antara rangkaian *floating hose string* 1 dan *string* 2 adalah 4.04 %.

Dilihat dari segi fungsi, posisi rangkaian *floating hose* untuk *string* 1 dan 2, lebih mempertimbangkan faktor montase (pemasangan), jadi ukuran dari *string* 1 lebih pendek dari pada ukuran *string* 2, dimana letak pada lekukan *joint tail hose* pada *string* 1 sepanjang 90 feet sedangkan untuk *string* 2 sepanjang 120 feet. Ini terlihat bahwa pada *joint tail hose string* 2 lebih memiliki *space* (ruang) yang cukup untuk dilewati aliran didalamnya serta volume *string* 2 yang lebih besar jika dialiri dengan debit fluida yang sama pada kedua *string* tersebut.

F. Analisa Konsekuensi dengan Metode Semi-Kuantitatif RBI

Dalam melakukan analisa konsekuensi dengan menggunakan semi-kuantitatif RBI, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menentukan terlebih dahulu jenis fluida representatifnya. Fluida Representatif dari referensi, menghasilkan fluida representatif untuk dianalisis, yaitu jenis C17-C25 (*Gas oil, typical crude*). Sifat-sifat dari fluida representatif yang dipakai menurut Tabel 7.2 API RBI 581 [4] adalah sebagai berikut: Berat molekul (gram/mol) : 280; Berat Jenis (lb/ft³) : 48.383; Tingkat keadaan : *Liquid*; Temperatur autoignition (°F) : 396; Kapasitas panas ideal pada tekanan konstan (Btu/lbmol °F) : -22.4

G. Analisa Laju Pelepasan Fluida

Karena fluida yang mengalir adalah cair (*liquid*), maka persamaan yang dipakai adalah persamaan 7.1 pada API RBI 581 [4]. Persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

$$Q_L = C_d A_L \sqrt{2\rho - \rho_c \frac{g_c}{144}} \quad (4)$$

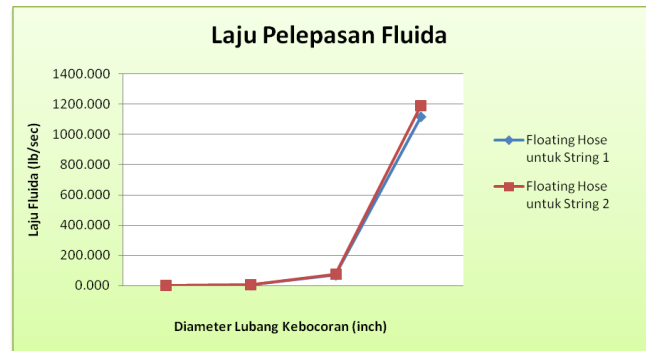
dengan Q_L adalah laju keluarnya fluida cair (lb/s), C_d adalah koefisien keluaran (0,60 – 0,64), A adalah luas penampang lubang kebocoran (in²), ρ adalah berat jenis fluida (lb/ft³), g_c adalah faktor konversi untuk merubah lbf ke lbfm (32,2 lbfm-ft/lbf- s²).

Laju pelepasan untuk ukuran lubang kebocoran 1/4, 1, 4 dan pecah dengan fluida cair adalah sebagai berikut :

Tabel 6. Perhitungan Laju Pelepasan Fluida

Floating hose	Laju Pelepasan fluida (lb/s)			
	Ukuran Lubang Kebocoran (inch)			
	1/4	1	4	16
String 1	0.273	4.367	69.864	1117.831
String 2	0.291	4.658	74.522	1192.353

Berikut adalah grafik laju pelepasan fluida yang terjadi :



Gambar 5. Grafik Laju Pelepasan Fluida untuk *Floating hose* pada *String* 1 dan 2

Gambar 5 menunjukkan grafik hubungan antara ukuran diameter lubang dan laju pelepasan fluida untuk masing-masing *string* pada rangkaian *floating hose*. Pada grafik tersebut terlihat bahwa semakin besar diameter lubang kebocoran, maka akan semakin besar pula laju pelepasan fluida yang terjadi untuk masing-masing *string* pada rangkaian *floating hose*. Hal ini disebabkan oleh variabel luas penampang lubang kebocoran (A) berbanding lurus dengan laju pelepasan fluida (Q_L).

H. Durasi Kebocoran

Persamaan yang digunakan untuk menentukan durasi kebocoran menurut API RBI 581 adalah sebagai berikut:

$$\text{Durasi Kebocoran} = \frac{\text{Inventory Value}}{\text{Laju Pelepasan Fluida} \times 60} \quad (5)$$

dimana,

Inventory value = Nilai tengah dari range inventori, (5000)
Hasil perhitungan durasi kebocoran dari alat tersaji pada tabel 7 berikut ini:

Tabel 7. Estimasi Durasi Kebocoran

Floating hose	Durasi Kebocoran (menit)			
	Ukuran Lubang Kebocoran (inch)			
	1/4	1	4	16
String 1	305.353	19.085	1.193	0.075
String 2	286.269	17.892	1.118	0.070

I. Penentuan Jenis Pelepasan Fluida

Untuk menentukan kebocoran yang terjadi adalah dengan menghitung laju aliran massa yang keluar dalam waktu 3 menit. Jika dalam waktu 3 menit massa fluida representatif yang keluar lebih besar dari pada 10000 lb, maka aliran tersebut termasuk ke dalam jenis kebocoran seketika (*instantaneous*) sebaliknya tergolong terus menerus (*continuous*). Hasil perhitungan dari penentuan jenis pelepasan fluida tersaji pada tabel 8 berikut ini:

Tabel 8. Jenis Pelepasan Fluida pada *Floating hose String* 1

Ukuran Lubang Kebocoran (inch)	Laju Pelepasan Fluida x 3 menit (lb)	Jenis Pelepasan Fluida
1/4	49.123	Terus Menerus
1	785.975	Terus Menerus
4	12575.603	Seketika
16	201209.647	Seketika

J. Luas Daerah Akibat Kebocoran

Metode RBI menggunakan ukuran luas daerah untuk menentukan koensekuensi terlepasnya fluida representatif. Luas daerah akibat kebocoran fluida representatif terdiri dari atas dua jenis, yaitu luas daerah kerusakan dan luas daerah berbahaya.

K. Reduksi Luas Daerah Akibat Kebocoran

Pengaturan dan reduksi laju kebocoran dapat ditentukan oleh kombinasi dan kondisi sistem deteksi dan sistem isolasi yang dipakai pada peralatan yang diamati. Berdasarkan Tabel 7.7 pada API RBI 581 [4] sistem deteksi dan isolasi yang digunakan adalah tipe A. Sistem pendeteksiannya adalah dengan memasang alat yang digunakan untuk mendeteksi perubahan yang terjadi pada kondisi operasi. Sedangkan untuk sistem pengisolasiannya dengan cara mematikan (*shutdown*) sistem yang sedang beroperasi secara langsung. Besarnya persentase yang ditentukan pada API RBI 581 yaitu luas daerah akibat kebocoran yang telah ditentukan di atas dapat direduksi sebesar 25% untuk diameter kebocoran $\frac{1}{4}$; 1; 4, dan pecah.

L. Menghitung Frekuensi Kerusakan Generik

Frekuensi kerusakan generik dipengaruhi oleh jenis peralatan yang diamati dan ukuran lubang kebocoran yang terjadi. Nilai frekuensi kerusakan generik diambil dari sejarah pemakaian peralatan yang dianalisa. Untuk hal ini, menurut Tabel 8.1 pada API RBI 581 [4].

M. Konsekuensi Kegagalan

Konsekuensi kegagalan dihitung berdasarkan luas daerah kerusakan atau bahaya kebakaran yang menjadi dampak suatu kebocoran. Nilai konsekuensi keterbakaran didapatkan dari luas daerah akibat kebocoran yang terdiri dari luas daerah kerusakan dan luas daerah berbahaya. Dari kedua jenis luas akibat kebocoran tersebut dipilih nilainya yang paling besar. Nilai konsekuensi keterbakaran kemudian dikalikan dengan fraksi kerusakan generik dan didapatkan luas daerah konsekuensi kegagalan. Hasil perhitungan luas daerah konsekuensi kegagalan didapatkan untuk string 1 sebesar 6189.419 ft² dan string 2 sebesar 6559.989 ft². Maka, Menurut Tabel B-3 pada API RBI 581 [4], untuk total luas daerah 1000 ft² - 10000 ft² termasuk dalam kategori konsekuensi D.

N. Likelihood Analysis

Nilai *Likelihood* diperoleh dari TMSF. Semua peralatan yang dianalisis serta kondisi operasi peralatan apapun harus melewati TMSF ini. Untuk mencari nilai TMSF dari peralatan yang diamati harus diketahui harga konstanta reduksi ketebalan material konstruksi, yaitu :

$$(a.r)/t \quad (6)$$

dengan,

a = Waktu pemakaian peralatan yang diamati (tahun)

r = Laju korosi (ipy)

t = Tebal aktual peralatan (inch)

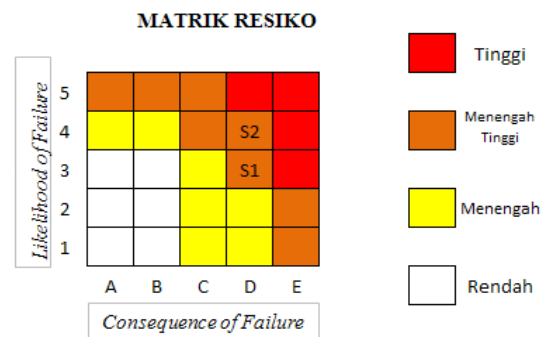
O. Tingkat Resiko Semi Kuantitatif

Tingkat resiko untuk metode semi kuantitatif RBI juga merupakan kombinasi dari kategori kemungkinan kegagalan dan kategori konsekuensi kegagalan. Tingkat resiko yang didapatkan dari kombinasi kategori kemungkinan dan

Tabel 9. Hasil Analisa Resiko Metode Semi Kuantitatif RBI

<i>Floating hose</i>	Total Luas Daerah (ft ²)	Tipe Kegagalan	Tipe Konsekuensi
String 1	6189.419	3	D
String 2	6559.989	4	D

Setelah menentukan tipe kegagalan dari tipe konsekuensinya, maka langkah selanjutnya adalah membuat rangkaian resiko tersebut dalam bentuk matrik seperti pada gambar 6 di bawah ini :

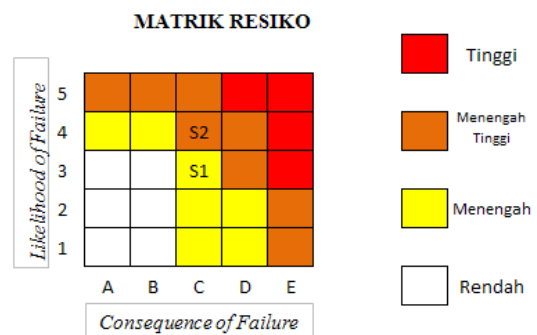


Gambar 6. Distribusi Tingkat Resiko String Pada Rangkaian Floating Hose

Dari gambar 6 di atas, maka dapat kita ketahui bahwa semua string pada rangkaian floating hose mempunyai consequence of failure yang sama, yaitu pada kategori D, sedangkan untuk likelihood of failure berada pada kategori 3 dan 4.

P. Penentuan Sistem Mitigasi

Penentuan karakteristik pelepasan berdasar pada deteksi, isolasi, dan mitigasi ditampilkan berdasarkan dalam bentuk tabel 12 (tertera pada tabel 7.16 API RBI 581) [4], maka yang digunakan adalah sistem mitigasi dengan menggunakan *Inventory Blowdown* dengan menggabungkan sistem isolasi B atau yang lebih tinggi sehingga dapat menekan laju pelepasan fluida 25%. Dengan mengulangi langkah perhitungan konsekuensi dengan menekan laju pelepasan fluida 25%, maka didapatkan tingkat resiko untuk failure mode tersebut pada gambar 7 berikut ini:



Gambar 7. Distribusi Tingkat Resiko Setelah Dimitigasi

Dari gambar 7 di atas, maka dapat kita lakukan bahwa semua *string* pada rangkaian *floating hose* setelah dimitigasi mempunyai *consequence of failure* yang sama, yaitu pada kategori C, sedangkan untuk *likelihood of failure* berada pada kategori 3 dan 4.

Q. Perencanaan Inspeksi

Inspeksi dapat diarahkan kepada *item* atau peralatan dengan level resiko yang tinggi. Metode inspeksi yang paling tepat untuk tingkat resiko ini adalah eksternal *Non Desructive Test (NDT)*, dimana Hasil uji Kekritisan seperti tabel 10 berikut ini:

Tabel 10. Hasil Uji Tingkat Kekritisan Untuk Tiap Kegagalan

Peluang Kegagalan	Konsekuensi Kegagalan	Metode Inspeksi	Frekuensi Inspeksi	Luas Area Inspeksi
Tinggi	Tinggi	U.T	12 Bulan	Penuh
Tinggi	Menengah	U.T	12 Bulan	Parsial
Tinggi	Rendah	U.T	12 Bulan	Kecil
Menengah	Tinggi	U.T	24 Bulan	Penuh
Menengah	Menengah	U.T	30 Bulan	Parsial
Menengah	Rendah	U.T	30 Bulan	Kecil
Rendah	Tinggi	U.T	30 Bulan	Penuh
Rendah	Menengah	U.T	36 Bulan	Parsial
Rendah	Rendah	U.T	48 Bulan	Kecil

Frekuensi pemeriksaan pada tiap *string floating hose* berdasarkan tabel 10 di atas adalah sebagai berikut :

- *Floating hose* untuk *String 1* = 30 bulan (2,5 tahun sekali)
- *Floating hose* untuk *String 2* = 24 bulan (2 tahun sekali)

Apabila kombinasi kedua metode pengujian dan frekuensi inspeksi tersebut diaplikasikan maka dapat memberikan hasil yang akan lebih memuaskan.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari proses analisa yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Peluang kegagalan (*PoF*) dengan simulasi *Monte Carlo* pada rangkaian *floating hose* untuk *string 1* sebesar 4.60%, sedangkan untuk *string 2* sebesar 0.56%.
2. Berdasarkan hasil perhitungan analisis *consequence of failure* dan *likelihood of failure* untuk penentuan tingkat resiko menggunakan metode semi-kuantitatif RBI pada *floating hose string 1* dan *2* yang dianalisa maka tingkat resiko untuk semua *string* pada rangkaian *floating hose* mempunyai *consequence of failure* yang sama, yaitu pada kategori D, sedangkan *likelihood of failure* berada pada kategori 3 untuk *string 1* dan *string 2* berada pada kategori 4. Kemudian setelah dilakukan mitigasi berdasarkan API RBI 581 maka didapatkan untuk semua *string* pada rangkaian *floating hose* mempunyai *consequence of failure* yang sama, yaitu pada kategori C, sedangkan untuk *likelihood of failure* berada pada kategori 3 (*string 1*) dan 4 (*string 2*).
3. Teknik inspeksi yang efektif dengan resiko menengah ke atas adalah dengan *Ultrasonic Straight Beam* dan

Radiography. Frekuensi inspeksi pada *floating hose* untuk *string 1* setiap 30 bulan (2.5 tahun sekali), sedangkan untuk *string 2* setiap 24 bulan (2 tahun sekali).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Allah SWT atas kemudahan dan kelancaran selama mengerjakan jurnal ilmiah ini. Terima kasih juga untuk dosen wali yang telah memberikan nasehat Ir. H. Hasan Ikhwan, M.Sc. dan untuk semua bapak dosen beserta karyawan Jurusan Teknik Kelautan FTK - ITS atas ilmu dan bimbingannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pertamina. *Cilacap Calm Buoy Operating & Maintenance Manual SO. 1232* (2002).
- [2] Solihin, M. Y. "Analisis Laju Korosi Dalam Kaitan Terhadap Tingkat Kekritisan Sistem Pemipaan pada Area Proses Produksi Minyak dan Gas". *Disertasi*. FMIPA.UI (2003).
- [3] ANSYS Release 12.0. *ANSYS Theory Reference*. Documentation for ANSYS.
- [4] American Petroleum Institute (API 581). *Risk-Based Inspection-Base Resource Document*, API publishing Service, Washington, D.C (2000).