

INSPEKSI BERBASIS RISIKO DAN PENENTUAN UMUR SISA LINING REAKTOR UDC 101 PT PUPUK KUJANG

Viktor Naubnome

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas
Singaperbangsa Karawang, Jl HS Ronggo Waluyo Teluk
Jambe Karawang Jawa Barat
viktornaubnome@ft.unsika.ac.id

Christian Wely Wullur

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Univesitas
Musamus Jl. Kamizaun Mopah Lama Merauke Telp.
0971-325976
e-mail: christianwelly@unmus.ac.id

Robi Purwoko

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas
Singaperbangsa Karawang, Jl HS Ronggo Waluyo Teluk
Jambe Karawang Jawa Barat
robypurwoko1993@gmail.com

Abstract—Peralatan yang digunakan pada industri petro kimia umumnya berukuran besar dan memiliki risiko peralatan yang sangat tinggi salah satunya yang paling penting ialah bejana bertekanan yang beroperasi dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Dampaknya, kegagalan pada bejana bertekanan tidak dapat dihindari. Faktor keselamatan manusia serta lingkungan menjadi pertimbangan sebagai acuan untuk standar keamanan dan keselamatan. Tujuan penelitian ini ialah untuk menganalisis *risk level*, laju korosi, *remaining life time*, serta merekomendasikan program inspeksi pada instrumen bejana bertekanan yang dalam hal ini reaktor amonia UDC 101 yang dimana pada reaktor ini akan dianalisis pada *linin* reaktornya. Inspeksi ini menggunakan metode *Risk-Based Inspection* dengan menggunakan *standart* API 581 dengan bantuan *software* hitung *Microsoft Excel*. Kesimpulan dan hasil dari penelitian ini adalah langkah-langkah untuk menentukan *Risk level* pada *lining* reaktor menggunakan metode *Risk-Based Inspection standart* API 581 dan kemudian merekomendasikan perencanaan inspeksi berdasarkan *Risk Level* dan *Remaining Life Time*

Kata Kunci; Reaktor ammonia UDC 101, laju korosi, risk based inspection, standar API 581

I. INTRODUCTION

Reaktor urea merupakan *Pressure vessel* yaitu sebuah peralatan yang memiliki temperatur dan tekanan yang tinggi yang berbeda dengan kondisi lingkungannya, *pressure vessel* menggunakan tekanan dan temperatur tinggi untuk menyesuaikan dengan fluida yang ditampung. Semua peralatan yang menggunakan tekanan tinggi harus dilakukan

inspeksi sesuai dengan *inspection code* masing-masing. Hal ini dilakukan agar terjadinya kelayakandan keyakinan pada alat yang digunakan [3].

Kebutuhan inspeksi diperlukan untuk memastikan bahwa peralatan dapat dengan layak untuk digunakan. Perencanaan inspeksi pada umumnya hanya didasari oleh perspektif, sehingga tidak menunjukkan kondisi sebenarnya dari sebuah peralatan dalam melakukan inspeksi. Seperti yang diketahui terdapat kondisi ekstrim inspeksi yang memang harus dihindari. Kondisi ekstrim yang tersebut adalah kurangnya inspeksi pada peralatan bertekanan yang menyebabkan rusakandan kegagalan [2]. Kegagalan peralatan terjadi akibat adanya mekanisme kerusakan yang bekerja. Mekanisme kerusakan yang mungkin terjadi pada perlatan dapat dikategorikan dalam bentuk subfaktor Modul Teknik. Kerusakan-kerusakan tersebut ada pada *risk based inspection* RBI API 581. Dalam mengetahui tingkat kerusakan yang terjadi pada peralatan biasanya dilakukan inspeksi metode *non destructive examination* (NDE) [2].

Risk Based Inspection (RBI) menggunakan risiko untuk merencanakan dan menjalankan proses inspeksi dengan menilai konsekuensi dan kegagalan, menganalisa dan mengevaluasi setipa tingka reiko dan merekomendasikan tindakan untuk pencegahan serta pengembangan pada inspeksi berbasis risiko. Hasil penelitian ini berguna untuk menangani penanggulangan kerusakan khususnya dari segi material serta untuk menentukan sisa umur dari material dari perlatan yang dipakai [4].

Terdapat informasi umum dari alat yang dianalisis seperti yang ditunjukkan tabel 1..

Tabel 1. Informasi Umum Alat

Tag No.	ETA-V-003
Design Press/Temp	2432 psi / 410°F
Operating Press/Temp	2204 psi / 359°F
Diameter	110.2"
Length	593.54"
Year of Built	2006
Jenis Material	SS316L

II. METHOD

Inspeksi Berbasis Risiko (*Risk Based Inspection*) adalah suatu metode inspeksi yang menggunakan risiko (*risk*) sebagai dasar untuk merencanakan dan mengatur usaha-usaha untuk menjalankan suatu program inspeksi. Inspeksi ini ditujukan bagi peralatan-peralatan dalam satu proses produksi untuk diketahui seberapa besar tingkat risiko kegagalan dari peralatan-peralatan tersebut agar kemudian dapat diurutkan berdasar prioritas tingkat risikonya sehingga program inspeksi dapat diarahkan pada peralatan sesuai dengan apa yang dibutuhkan.

Definisi teknis RBI sendiri adalah hasil kali antara kemungkinan kegagalan (*Probability Of Failure*) dengan konsekuensi kegagalan (*Consequence Of Failure*), untuk lebih jelasnya Gambar 2.1 mewakili definisi dari RBI segala kemungkinan kegagalan yang dapat ditimbulkan oleh satu alat mewakili nilai dari kemungkinan kegagalan, sedangkan besarnya akibat atau dampak yang dapat ditimbulkan apabila peralatan mengalami kegagalan (*failure*) mewakili nilai dari kemungkinan konsekuensi [1].

Adapun tujuan dari Risk Based Inspection adalah sebagai berikut:

1. Melindungi peralatan dengan mengidentifikasi area yang memiliki tingkat risiko tinggi
2. Memperkirakan nilai risiko pada tiap peralatan
3. Adanya prioritas berdasarkan nilai risiko yang terukur
4. Merancang rencana inspeksi yang cocok untuk dilakukan
5. Secara sistematis mengatur risiko pada kegagalan alat

Inspeksi yang lebih efektif dapat mengurangi tingkat risiko dengan mengurangi frekuensi adanya kegagalan di masa yang akan datang, melalui tindakan korektif dan preventif yang dilakukan.

Terdapat tiga jenis metode RBI yaitu kualitatif, semi-kuantitatif, dan kuantitatif. Metode kualitatif merupakan metode yang menganalisis menggunakan pengkategorian umum untuk kemungkinan dan konsekuensi kegagalannya. Sedangkan metode kuantitatif adalah metode yang menganalisis berdasarkan penghitungan data kompleks. Metode semi-kuantitatif merupakan metode pertengahan antara kualitatif dan kuantitatif, dimana hasilnya lebih akurat dari

kualitatif namun penghitungannya tidak sekompleks kuantitatif [3].

Terdapat dua elemen yang dihitung dalam metode semi-kuantitatif yaitu kemungkinan kegagalan (*probability of failure*) dan konsekuensi kegagalan (*consequence of failure*). Penghitungan kedua elemen tersebut menggunakan *Appendix B-Workbook for Semi-Quantitative Risk-Based Inspection Analysis pada API 581 Publication* [3].

Kemungkinan kegagalan pada API RBI dihitung menggunakan persamaan:

$$P_f(t) = gff \cdot D_f(t) \cdot F_{MS} \quad (1)$$

Pada persamaan tersebut, kemungkinan kegagalan, $P_f(t)$, ditentukan sebagai produk dari frekuensi kegagalan umum, gff , faktor kerusakan, $D_f(t)$, dan faktor sistem manajemen, F_{MS} .

Hasil utama dari sebuah metode RBI adalah matriks risiko yang menempatkan alat pada tingkat risiko tertentu seperti yang ditunjukkan gambar 1 [1].

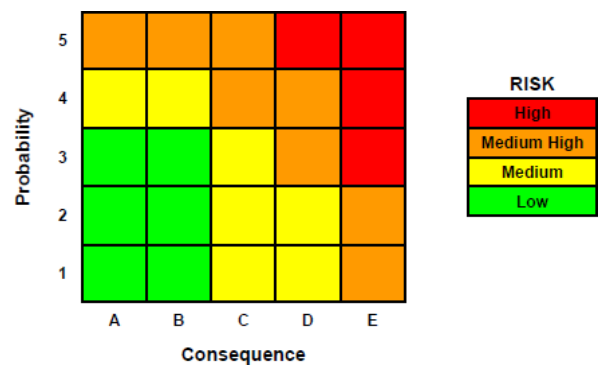


Fig 1. Matriks Risiko

Seperti yang terlihat risiko merupakan kombinasi dari kemungkinan kegagalan dan konsekuensi kegagalan.

$$Risks = CoF \times PoF \quad (2)$$

Dari tingkat risiko tersebut dapat dibuat penjadwalan untuk alat yang dianalisis. Penjadwalan inspeksi melihat tingkat risiko dan juga mekanisme kerusakan yang terjadi pada alat. Jadwal dari inspeksi sebuah alat menurut risikonya ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$NID = I_{ef}CR_L \quad (3)$$

Pada persamaan tersebut jadwal inspeksi selanjutnya, NID , ditentukan sebagai produk dari keefektifan inspeksi, I_{ef} , confidence rating, C , dan umur pakai sisa, R_L . Nilai keefektifan inspeksi yaitu 0 – 1, nilai tersebut berdasarkan kategori keefektifan inspeksi yang ada. Sedangkan nilai dari

confidence rating diambil berdasarkan tingkat risikonya yaitu kurang dari 0.5 untuk tingkat risiko tinggi dan lebih dari 0.5 untuk tingkat risiko rendah [1].

III. RESULT AND DISSCUSION

A. Konsekuensi Kegagalan

Konsekuensi kegagalan dapat dianalisa pertama-tama dengan menentukan inventori fluida dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Sifat campuran} = \sum X_i \text{ sifat}_i \quad (4)$$

Dimana :

X_i = Fraksi mol fluida penyusun

Sifat_i = Sifat fluida, dapat berupa temperatur didih keadaan normal (*normal boiling point, NBP*), dapat juga berupa berat molekul (MW)

Dengan demikian dicarilah data inventori fluida yang didapat dari perusahaan yaitu:

Tabel 2. Inventori Fluida

NBP x MOL%	4.0113618
MW x MOL%	1.8562389

Dengan menggunakan tabel fluida representatif dari API 581 maka jenis fluidanya yaitu C13-C16 dan densitas fluidanya sebesar 45.823 lb/ft³. Kemudian ditentukanlah fluida yang terlepas dengan persamaan berikut:

$$\text{Fluida yang lepas} = \frac{(\text{flow rate} \times \text{density} \times 3 \times 61023,74)}{60} \quad (5)$$

Jadi hasil perhitungan untuk fluida yang terlepas adalah 25251851.29 lb/sec.

Kemudian menentukan laju pelepasan sesuai ukuran lubang kebocoran yaitu 0.25inch, 1inch, 4inch, dan pecah yang dimana ukuran maksimalnya 16inch.

Tabel 2. Durasi Kebocoran Berdasarkan Sistem Deteksi Dan Isolasi

Ukuran Lubang	1/4	1	4	16
Durasi Kebocoran	40 menit	30 menit	20 menit	0 menit

Untuk menentukan laju pelepasan pada setiap lubang dilakuaknlah perhitungan sesuai jenis fluida yang digunakan antara cair atau gas. reactor

$$Q_L = C A_d \sqrt{2\rho - \rho \frac{g_c}{144}} \quad (6)$$

Q_L = laju keluarnya fluida cair (lb/s)

C_d = Koefisien keluaran (0,6 - 0,64)

A = Luas penampang lubang kebocoran (in²)

ρ = Berat jenis fluida (lb/ft³)

g_c = Faktor konversi untuk mengubah lb_f ke lb_m (32,2 lb_m – ft/lb_f – s²)

Tabel 3. Nilai Laju Kebocoran

Ukuran Lubang	1/4	1	4	12
Laju Pelepasan	0.2606	41.705	667.286	10.676.590

Dari data nilai laju kebocoran tersebut ditentukanlah jenis-jenis dari laju kebocoran tiap-tiap lubang menjadi dua jenis yaitu terus-menerus jika nilai pelepasan kurang dari 10000 lb dan seketika jika lebih dari 10000 lb dengan menggunakan persamaan:

$$W = Q_L \times 3 \times 60 \quad (7)$$

Maka didapatkan nilai jenis laju kebocoran pada tabel 4 untuk tiap-tiap lubang 0.25inch, 1inch, 4inch, dan 12inch atau pecah.

Tabel 5. Tipe Kebocoran

Ukuran Lubang	1/4	1	4	12
Durasi Kebocoran 3 Menit	46.702	750.697	12011.164	192178.62
Jenis Kebocoran	Continuous	Continuous	Instant	Instant

Konsekuensi dinyatakan sebagai luas daerah yang terkena dampak suatu kerusakan peralatan seperti kebocoran dan ledakan. Konsekuensi keterbakaran (*flammable consequence*) meliputi konsekuensi kerusakan peralatan (*damage consequence*) dan konsekuensi kematian (*fatality consequence*). Perhitungan berdasarkan jenis kebocoran dan menggunakan persamaan seperti pada tabel 6 dibawah ini:

Tabel 6. Persamaan Konsekuensi Kerusakan dan Kematian

Jenis Pelepasan	Terus - Menerus	Sesaat
Konsekuensi Kerusakan	$A = 182. X^{0.89}$	$A = 4,35. X^{0.78}$
Konsekuensi Kematian	$A = 516. X^{0.89}$	$A = 12,7. X^{0.78}$

Persamaan pada tabel diatas masih dikurangi dengan nilai penyesuaian konsekuensi keterbakaran sesuai pada buku API 581. Maka hasil dari persamaan konsekuensinya seperti pada tabel 7 dibawah ini:

Tabel 7. Hasil Konsekuensi Kerusakan Dan Kematian

Ukuran Lubang	1/4	1	4	16
Konsekuensi Kerusakan	42.831	505.275	91.957	799.466
Konsekuensi Kematian	121,434	1432,487	268,473	2334,075

Dari hasil di atas dikalikan kembali dengan nilai faktor modifikasi pada nilai risiko orang dan lingkungan yang tertera pada buku API 58i, untuk mendapatkan nilai konsekuensi keterbakaran yang hasilnya pada tabel 8 dibawah ini:

Tabel 8. Nilai Konsekuensi Keterbakaran

Ukuran Lubang	1/4	1	4	16
Konsekuensi Keterbakaran	60.717	716.243	134.236	1167.037

Untuk menentukan nilai akhir dari konsekuensi kerusakan nilai konsekuensi keterbakaran harus dikalikan dengan fraksi frekuensi kebocoran sesuai buku API 581,

Tabel 9. Fraksi Frekuensi Kebocoran

Ukuran Lubang	Fraksi Frekuensi Kebocoran
1/4	0.256410256
1	0.641025641
4	0.064102564
16	0.038461538

Setelah itu konsekuensi keterbakaran dikalikan dengan fraksi frekuensi kebocoran untuk tiap-tiap lubang dan kemudian hasilnya dijumlahkan untuk mengetahui total konsekuensi keterbakaran yang kemudian nilainya menjadi acuan konsekuensi kegagalan. Maka setelah dihitung nilai total konsekuensi kebakarannya adalah:

Total Nilai Konsekuensi Keterbakaran = 528.189499404252 ft².

Konsekuensi keterbakaran, kemudian dibandingkan dan yang terluas menjadi konsekuensi peralatan yang dianalisis. Kategori konsekuensi ditunjukkan pada Tabel 10 yang digunakan untuk menentukan faktor kategori konsekuensi.

Tabel 10. Kategori Konsekuensi

Kategori Konsekuensi	Jarak (ft ²)
A	< 10 ft ²
B	10 - 100 ft ²
C	100 - 1000 ft ²
D	1000 - 10000 ft ²
E	> 10000 ft ²

Dengan demikian maka hasil untuk konsekuensi kegagalan ada pada nilai C.

B. Analisis Kemungkinan

Dalam menganalisis sebuah peralatan yang berukuran besar maka peralatan tersebut dibagi menjadi beberapa bagian, hal ini dilakukan karena dalam proses pemurnian kondisi fluida dalam peralatan berbeda pada setiap bagiannya. Untuk menganalisa kegagalan kemungkinan sesuai buku API 581 digunakanlah *Technical Module Subfactor* atau (TMSF). Modul yang digunakan ada tiga bagian yaitu subfaktor modul teknik penipisan, subfaktor modul teknik retak akibat korosi dan tegangan, dan subfaktor modul teknik pelapis. Modul-modul ini digunakan karena material yang digunakan ialah

SS316L dan sudah mendapatkan *Annealing* atau perlakuan panas.

Dalam analisis subfaktor modul teknik penipisan harus ditentukan konstanta reduksi ketebalan, dan harga konstanta reduksi tersebut ditentukan melalui persamaan:

$$\text{Konstanta reduksi ketebalan} = \frac{a \cdot r}{t} \tag{8}$$

dimana :

a = Lamanya peralatan beroperasi (tahun)

r = Laju korosi aktual (inchi/tahun)

t = Tebal pipa awal (inchi)

Dan harga konstanta reduksinya sebesar:

$$ar/t = (9 \times 0,006562) / 0.26417 = 0.22356$$

Subfaktor untuk nilai harga konstanta reduksi ketebalan 0.22356 dengan banyaknya inspeksi satu kali dan efektifitas *fairly* sehingga menurut buku API 581 bernilai 242. Selain itu juga ditentukan faktor penyesuaian terhadap laju korosi yang dimana faktor ini bernilai moderate sehingga menurut buku API 581 bernilai 0.7 dan faktor *Over Design* yang dimana dapat diperoleh dengan persamaan:

$$MAWP / OP = \text{over design} \tag{9}$$

$$2460.64 / 2204.61 = 1.116$$

Berdasarkan buku API 581 maka untuk perbandingan tekanan desain terhadap tekanan operasi 3.92 maka harga faktor desain berlebih adalah 1.

Dengan demikian nilai Subfaktor Modul Teknik Penipisan = 242 x 1 x 0,7 = 191.

Untuk modul teknik retak akibat korosi dan tegangan diperlukan dua persyaratan yang harus dipenuhi yaitu apakah lingkungan peralatan mengandung zat-zat seperti H₂S, HF, air asam, khlorida, Gas Beracun, dan apakah material peralatan jenis karbon, baja paduan rendah atau baja tahan karat austenitik.

Untuk peralatan yang dianalisis hanya memenuhi pada pertanyaan nomer satu dikarenakan peralatan yang diteliti memiliki zat yang *caustic* (merusak kulit) yaitu NH₃ (amonia), namun berdasarkan buku API 581 jika material dari peralatan sudah mengalami proses *stress relief* atau *heat treatment* maka material tersebut tidak rentan terhadap zat *caustic* tersebut dan tidak perlu dilakukan perhitungan yang berarti pertanyaan nomer satu bernilai 1.

Sasaran modul ini adalah peralatan yang diberi pelapis pada bagian dalamnya (internal lining) untuk melindungi material peralatan dari kegagalan akibat pengaruh lingkungan bagian dalam peralatan. Untuk lining sendiri ialah berfugsi sebagai pelapis dari *shell* reaktor. Maka untuk perhitungannya dilihat dari lamanya pelapis beroperasi dan juga jenis pelapisnya, maka digunakalah tabel kegagalan pelapis pada

buku API 581. Lining reaktor UDC 101 memiliki pelapis plat campuran dan telah beroperasi selama 10 tahun maka nilai subfaktor teknik pelapisnya adalah 9.

Kemungkinan dinyatakan dengan hasil penjumlahan subfaktor-subfaktor yang telah dijelaskan. Kategori kemungkinan kemudian ditentukan berdasarkan tabel.

Tabel 11. Kategori Konsekuensi

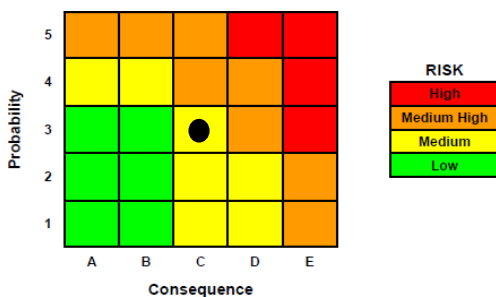
Kategori	Nilai TMSF
1	<1
2	1-10
3	10-100
4	100-1000
5	>1000

- Subfaktor Modul Teknik Penipisan = 191
- Subfaktor Modul Teknik Retak akibat Korosi dan Tegangan = 1
- Subfaktor Modul Teknik Pelapis = 9
- Jumlah total dari nilai TMSF = 179

Dan berdasarkan tabel 3.41 maka Kategori kemungkinannya berada pada nilai 3.

Hasil perhitungan didapat dari perhitungan hingga didapat hasil nilai akhir risiko dari lining reaktor UDC 101. Hasil perhitungan risiko berdasarkan pendekatan RBI semikuantitatif memberikan tingkatan risiko yang berbeda-beda pada pipa yang diamati. Tingkat risiko diperoleh melalui perkalian kemungkinan terhadap konsekuensi kemudian di plot pada matriks 5 x 5 seperti pada Grafik 1. Maka lining reaktor UDC 101 memiliki nilai risiko sebesar 3,C.

Grafik 1. Risiko Untuk Lining UDC 101



C. Perhitungan Laju Korosi Dan Umur Pada Lining Reaktor UDC 101

Penentuan laju korosi diperlukan untuk menentukan seberapa banyak ketebalan lining yang berkurang setiap tahunnya. Lining reaktor UDC 101 akan kembali dijadikan model dalam penentuan umur lining.

Perhitungan :

$$CR = (t_{act} - t_n) / \text{usia pakai} \tag{10}$$

dimana :

- CR = Corrosion rate (inchi / year)
- t_{act} = Ketebalan saat pertama kali pipa dipasang (inchi)
- t_n = Ketebalan saat ini (inchi)

Maka nilai laju korosi dari lining reaktor UDC 101 adalah 0,0065 in/year.

Perhitungan pada lining dapat dilakukan dengan menggunakan nilai rata-rata keseluruhan material lining dan menggunakan nilai setiap segment pada lining.

Hasil perhitungan umur material menggunakan nilai rata-rata ketebalan keseluruhan material.

Perhitungan : Menggunakan rumus :

$$(t_{act} - t_{req})/CR \tag{11}$$

dimana :

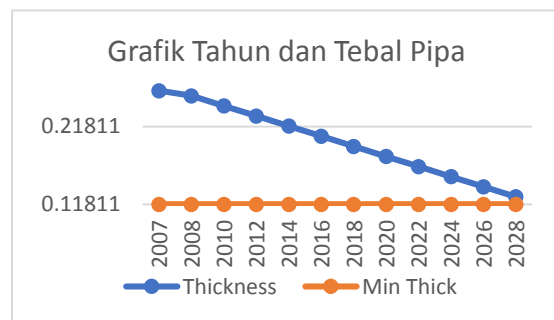
- t_{req} = batasan minimum lining
- t_{act} = ketebalan awal lining
- CR = *corro*tion rate

Maka :

- t_{req} = 0.11811 inch
- t_{act} = 0.26417
- CR = 0.0065

Dari perhitungan didapat sisa umur lining reaktor adalah 22 tahun.

Grafik 2. Ketebalan Lining UDC 101



D. Perencanaan Inspeksi

Dalam mencari jadwal inspeksi bagian dengan tingkat risiko *medium* Dipilihnya *corrosion rates* sebagai acuan dikarenakan yang paling berpengaruh terhadap umur pakai sisa. Dari data yang ada maka nilai *corrosion rates* paling tinggi adalah 0.55 mm/year. Dengan nilai tebal minimum *production separator* 0.11811 inch dan sisa umur lining reaktor adalah 22 tahun maka jadwal inspeksinya adalah sebagai berikut:

$$NID = IefCR_L$$

$$= (0,6) (0,75) (22)$$

$$NID = 9,9 \approx 10 \text{ years}$$

Hasil di atas menunjukkan untuk bagian dengan tingkat risiko *medium risk* jadwal inspeksi selanjutnya adalah 10 tahun.

E. Metode Inspeksi

Untuk menentukan metode inspeksi yang tepat adalah dengan melihat mekanisme kerusakan yang terjadi. Pada analisis kali ini, alat mengalami kerusakan berupa *thinning* yaitu penipisan ketebalan dinding alat akibat adanya korosi.

Beberapa metode yang dapat digunakan yaitu *visual examination, ultrasonic straight beam, eddy current, flux leakage, radiography* dan *dimensional measurement*. Metode-metode tersebut merupakan metode yang paling efektif digunakan untuk jenis kerusakan *thinning*. Selain itu, metode di atas merupakan jenis NDE (*Non-Destructive Examination*) yaitu inspeksi yang dapat dilakukan tanpa mengganggu proses produksi.

Dari metode di atas diambil *visual examination* dan *ultrasonic straight beam* sebagai metode inspeksi yang tepat digunakan pada *lining* reaktor UDC 101. Kedua metode tersebut dipilih karena dirasa paling efisien dan cepat untuk mendapatkan hasil.

IV. CONCLUSION

- Lining reaktor UDC 101 setelah dianalisis melalui konsekuensi kegagalan dan kemungkinan kegagalan

maka *lining* memiliki nilai risiko medium atau lebih tepatnya jika pada grafik yaitu 3,C, serta memiliki sisa umur atau *remaining life time* selama 22

- tahun. Metode inspeksi yang tepat untuk dilakukan pada *lining* reaktor UDC 101 adalah NDE (*Non Destructive Examination*) yang meliputi *visual examination* dan *Ultrasonic Straight Beam*..”

REFERENCES

- [1] API 581. *Risk Based Inspection Based Resource Document 1st Edition*, American Petroleum Institute, 2000.
- [2] Alrizal Diyanto. *Innspeksi Berbasis Risiko dan Penentuan Umur Sisa Jalur Pipa Kurau dan Seperator V-201 Emp Malacca Strait*, Laporan Tugas Akhir Teknik Metalurgi ITB 2009.
- [3] Moamar Al Qhatafi, Sulistijono., 2015, *Studi Aplikasi Metode Risk Based Inspection (RBI) Semi-Kuantitatif API 581 pada Production Separator*, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).
- [4] Gunawan Dwi.H, Himawan Kristian.K, Seon Jin.K., 2016, *Penilaian Risiko Dan Perencanaan Inspeksi Pipa Transmisi Gas Alam Cepu-Semarang Menggunakan Metode Risk Based Inspection Semi-Kuantitatif Api 581*, Universitas Diponegoro.