

## SIMULASI EVALUASI KOROSI PADA STRUKTUR *FLARE STACK*

Budi Satiawan<sup>1</sup>, dan Tanjung Rahayu Raswitaningrum<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27, Jakarta, 10510

Email korespondensi: budi.satiawan@umj.ac.id

<sup>2</sup>Prodi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27, Jakarta, 10510

Email : tanjung.rahayu@umj.ac.id

### ABSTRAK

*Flare stack* merupakan salah satu fasilitas penting untuk menunjang operasional dari suatu proses pengolahan minyak dan gas yang berupa menara dimana semua gas yang telah dipisahkan dari minyak dan tidak termanfaatkan akan dialirkan ke *flare stack* untuk dibakar. Penelitian ini bertujuan untuk menindak lanjuti terkait hasil inspeksi dengan ditemukannya bagian dari *flare stack* yang telah mengalami korosi hingga terjadinya lubang di area *connection ring guy wire* pada elevasi sekitar 22m dari muka tanah. Karena adanya korosi tersebut maka akan mengakibatkan penurunan kekuatan dari kemampuan struktur dalam menerima beban luar yang terjadi. Untuk mengetahui besarnya penurunan kekuatan struktur akibat material stack yang korosi ini maka diperlukan studi untuk mengetahui sensitifitas struktur terhadap pengaruh kondisi korosi yang telah terjadi maupun terhadap laju korosi yang ada, dimana estimasi laju korosi adalah sebesar 0.176 mm/tahun. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh tegangan maksimum yang terjadi akibat beban luar kritis (beban angin) dengan kondisi berturut-turut mulai dari kondisi inisial (baru), kondisi saat pengukuran korosi, laju korosi mencapai 70%, laju korosi mencapai 75% sebesar 14,6Mpa, 114 Mpa, 151 Mpa dan 175 Mpa dengan rasio tegangan 0,007, 0,56, 0,74 dan 0,85. Estimasi sisa waktu tersisa untuk mencapai tingkat korosi 75% diperkirakan adalah 1,992 tahun.

**Kata kunci:** *Flare Stack*, korosi, tegangan maksimal, rasio tegangan

### ABSTRACT

*Flare stack* is one of the important facilities to support the operation of an oil and gas processing in the form of a tower where all gas that has been separated from the oil is not utilized and will be flowed to the flare stack to be burned. This research aims to follow up related to the inspection results, where found some parts of the flare stack that have been corroded to the occurrence of holes in the area of connection ring guy wire at an elevation 22m from the ground level. Because of the corrosion, it will result a decrease in the strength of the structure's ability to accept the external load. To determine the magnitude of the decrease in structural strength due to this corrosion stack material, a study is needed to determine the sensitivity of the structure to the influence of corrosion conditions that have occurred and the estimate corrosion rate, where the corrosion rate is 0.176 mm / year. Based on the simulation results, the maximum stress that occurs due to external critical loads (wind loads) with successive conditions starting from initial (new) conditions, conditions when measuring corrosion, Corrosion rate reaches 70%, corrosion rate reaches 75% by 14.6Mpa, 114 Mpa, 151 Mpa and 175 Mpa with stress ratio of 0.007, 0.56, 0.74 and 0.85. The estimated remaining time left to reach a corrosion level of 75% is estimated to be 1,992 years.

**Keywords:** *Flare Stack*, corrotion, maximum stress, stress ratio

### 1. PENDAHULUAN

Gas Bumi adalah hasil proses alami berupa hidrokarbon yang dalam kondisi tekanan

dan temperatur atmosfer berupa fasa gas yang diperoleh dari proses penambangan minyak dan gas bumi. Adakalanya gas yang dihasilkan oleh kegiatan eksplorasi dan

eksploitasi minyak dan/atau gas bumi atau pengolahan minyak dan/atau gas bumi yang pengolahannya tidak tersedia sehingga belum dimanfaatkan maka akan dibakar pada suar yang dikenal sebagai gas suar.

Suar adalah instalasi yang berfungsi untuk membakar Gas Suar. Di lapangan banyak ditemui fasilitas suar ini dalam bentuk cerobong vertikal yang sering dikenal dengan *Flare Stack*. Secara umum bentuk flare stack dapat terlihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. *Flare Stack*

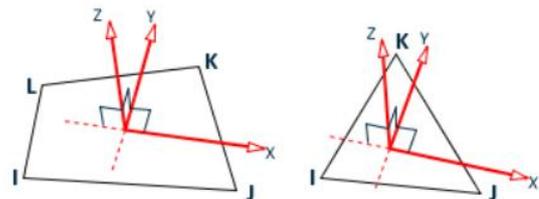
Pada sektor industri hulu migas, *Flare stack* berupa menara atau cerobong akhir dari suatu proses pengolahan minyak pada dimana semua gas telah dipisahkan dari minyak yang tidak dimanfaatkan akan dialirkan ke fasilitas ini untuk dibakar yang dapat disebabkan akibat tidak ekonomisnya gas tersebut untuk diolah atau tidak adanya proses pengolahan gas pada fasilitas yang ada ataupun untuk melindungi fasilitas proses yang ada dari tekanan berlebih yang tidak diharapkan.

## 2. LANDASAN TEORI

### Komputasi berbasis elemen hingga

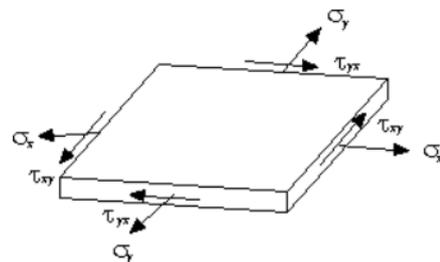
Pemodelan struktur dalam penelitian ini akan menggunakan metode numeris yaitu metode elemen hingga. Struktur utama *flare stack* berupa struktur pipa akan

diidealisasikan menggunakan elemen pelat. Aplikasi komputasi yang akan digunakan dalam penelitian ini menggunakan aplikasi komersial berbasis metode elemen hingga yaitu STAADPro. Elemen pelat yang digunakan dapat berupa elemen segitiga (3-noded) atau elemen segi empat (4-noded). Berdasarkan koordinat lokal, elemen pelat dapat ditampilkan sebagaimana gambar 2.



Gambar 2. Elemen Pelat

Tegangan normal dan tegangan geser sesuai sumbu koordinat lokal sebagaimana terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Tegangan Normal & Tegangan Geser Pelat

Formulasi umum yang digunakan untuk menghitung distribusi tegangan normal dengan tegangan geser sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan-1.

$$\begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_{xy} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x & y & 0 & 0 & 0 & x^2 & 2xy & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1x & y & 0 & y^2 & 0 & 2xy \\ 0 & -y & 0 & 0 & -x & 1 & -2xy & -y^2 & -x^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \dots \\ \alpha_{10} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Dengan  $\alpha$  adalah konstanta polinomial tegangan.

### Perhitungan beban angin

Untuk memodelkan beban angin yang bekerja disepanjang ketinggian flare stack akan dihitung menggunakan acuan dari ASCE-7-10, *Minimum Design Load and Associated Criteria for Buildings and Other Structure*. Formulasi yang digunakan untuk menghitung beban angina sebagaimana persamaan 2 berikut.

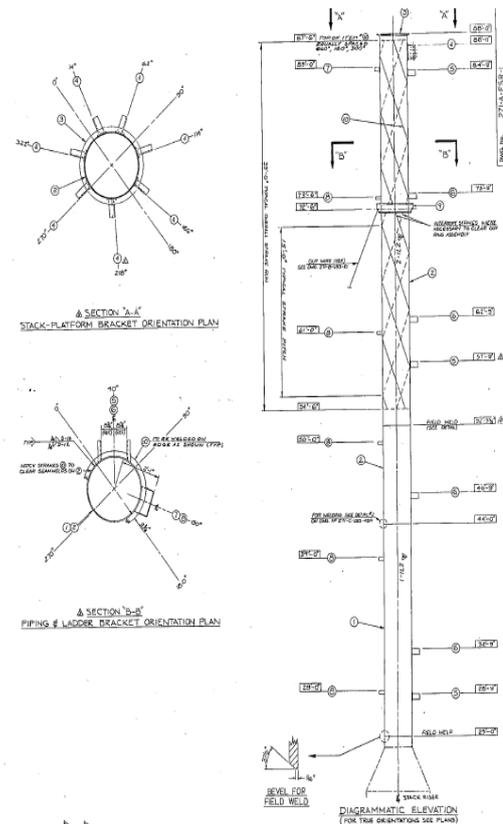
$$q_z = 0.613 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \quad (2)$$

dengan  $q_z$  = tekanan angin ditinjau pada ketinggian  $z$ ,  $k_z$  = Koefisien *velocity pressure exposure*,  $k_{zt}$  = faktor topografi,  $k_d$  = faktor *wind directionality*,  $V$  = Kecepatan angin dasar.

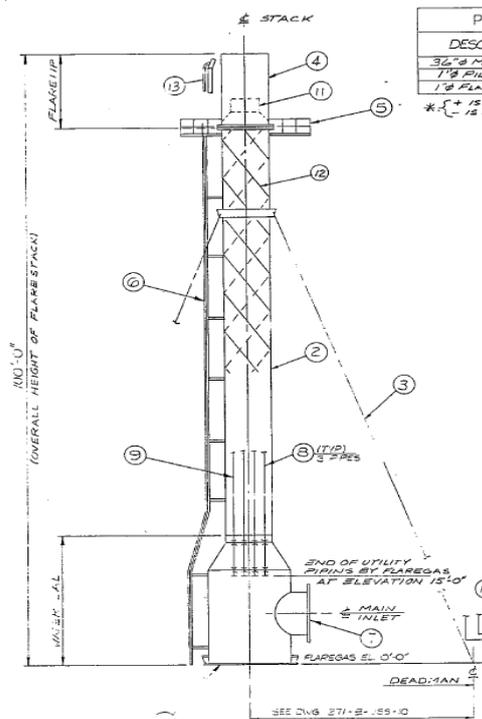
### Desain eksisting flare stack

Ketinggian total *Flare stack* adalah 30.5 m. Struktur ini ditopang oleh 3 buah *guy wire* yang dipasang pada ketinggian 22 m dari muka tanah di ketiga arah stack. Material utama riser terbuat dari pipa baja diameter 36" sch. Std. dengan material A-283 Gr.C.

Pada gambar 4 dan gambar 5 terlihat gambar teknis vendor untuk struktur *flare stack*.



Gambar 5. Gambar Detail Stack



Gambar 4. Gambar Arrangement Flare Stack

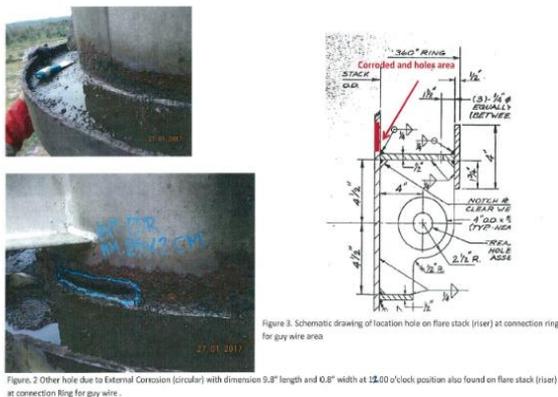
### Data inspeksi flare stack

Dari inspeksi ditemukan adanya bagian dari riser stack yang telah mengalami korosi hingga ada beberapa sisi yang telah berlubang pada elevasi sekitar 22 m dari muka tanah di sekitar area *connection ring guy wire* seperti yang terlihat pada gambar 6 dan gambar 7.



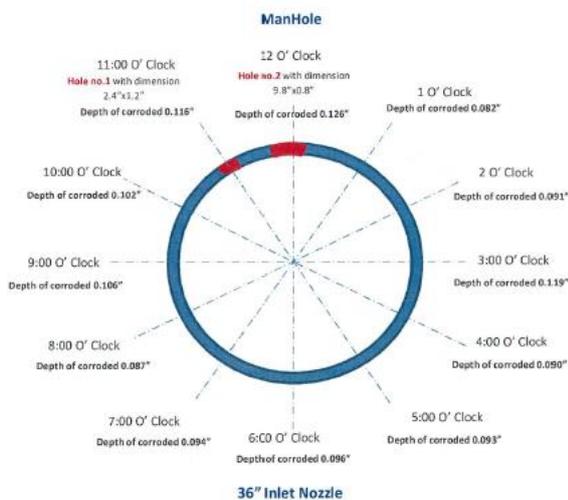
Figure. 1 Hole due to External Corrosion (circular) with dimension 2.4" length and 1.2" width at 18.00 o'clock position on flare stack (riser) of connection Ring area of F-2900A. The nominal thickness of flare stack (riser) is 36" OD x 0.250" thick.

Gambar 6. Kondisi Lubang No. 1



Gambar 7. Kondisi Lubang No. 2

Lubang No. 1 terdapat pada arah jam 11.00 dengan ukuran 2.4"x1.2" sedangkan lubang no.2 terdapat pada arah jam 12.00 dengan ukuran 9,8"x0,8".



Gambar 8. Lokasi lubang pada stack

Distribusi pengurangan ketebalan material baja pada dinding riser stack di area connection ring untuk guy wire dapat dilihat sesuai tabel berikut.

Tabel 1. Data Pengukuran Korosi

Position	Depth of Corroded (inch)	Height (inch)
12.00 O' Clock	0.126	3.150
01.00 O' Clock	0.082	2.756
02.00 O' Clock	0.091	2.756
03.00 O' Clock	0.119	3.543
04.00 O' Clock	0.090	2.953
05.00 O' Clock	0.093	2.756
06.00 O' Clock	0.096	2.559
07.00 O' Clock	0.094	3.425
08.00 O' Clock	0.087	3.346
09.00 O' Clock	0.106	2.756
10.00 O' Clock	0.102	3.937
11.00 O' Clock	0.116	3.740

*Flare Stack (Riser) using 35" Pipe with nominal thickness is 0.25"*

Dari tim inspeksi diperoleh informasi laju korosi sebesar 0.176 mm/tahun.

### 3. IDENTIFIKASI MASALAH

Berdasarkan temuan korosi yang terjadi pada sisi bagian riser stack disekitar connection ring guy wire maka akan mengakibatkan penurunan kekuatan dari fasilitas ini terhadap kemampuan struktur dalam menerima beban luar yang terjadi. Untuk mengetahui efek besarnya penurunan kekuatan akibat korosi ini maka diperlukan penelitian untuk mengetahui sensitifitas struktur baik terhadap kondisi korosi yang telah terjadi maupun terhadap laju korosi yang ada.

#### 4. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh korosi yang terjadi pada dinding *riser stack* terhadap kemampuan struktur dalam menerima beban luar yang bekerja.

#### 5. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Pengumpulan dan menginterpretasikan laporan inspeksi *Flare Stack*
- b. Kajian pustaka terkait cara kerja dari *Flare Stack*.
- c. Analisa numeris untuk mengetahui sensitifitas struktur terhadap penurunan kekuatan yang terjadi akibat korosi.

#### 6. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Penelitian terkait penurunan kekuatan *flare stack* akibat terjadinya laju korosi dibagian *stack* maka dilakukan simulasi menggunakan aplikasi komersial berbasis elemen hingga. Struktur *riser stack* dimodelkan menggunakan elemen pelat yang mulai dari lokasi penempatan *guy wire* hingga elevasi puncak dari *flare stack (flare tip)* dengan menggunakan kondisi batas berupa tumpuan jepit pada sisi bawa model. Kondisi lubang pada *flare stack* dimodelkan dengan menghilangkan elemen pelat sebesar dimensi lubang dari hasil pengukuran inspeksi.

Untuk simulasi model awal, dilakukan analisa dengan mengkondisikan tebal material masih seperti kondisi baru, belum adanya pengurangan ketebalan akibat korosi. Beban angin disimulasikan bekerja bergantian di ke-4 arah mata angin dari model. Hasil simulasi diperoleh tegangan maksimal pada dinding *stack* sebesar 14.6 Mpa, sehingga apabila diketahui mutu leleh baja dari material A-283 Grade C adalah 205 Mpa maka diperoleh rasio tegangan sebesar 0.007. Dari besarnya tegangan maksimal

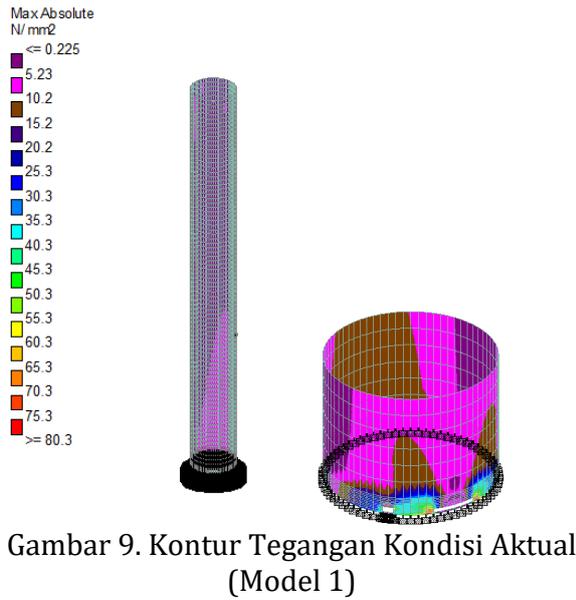
yang terjadi dapat disimpulkan tegangan yang terjadi masih sangat kecil, jauh dibawah tegangan leleh material.

Tabel 2. Hasil Analisa Tegangan Saat Kondisi Inisial

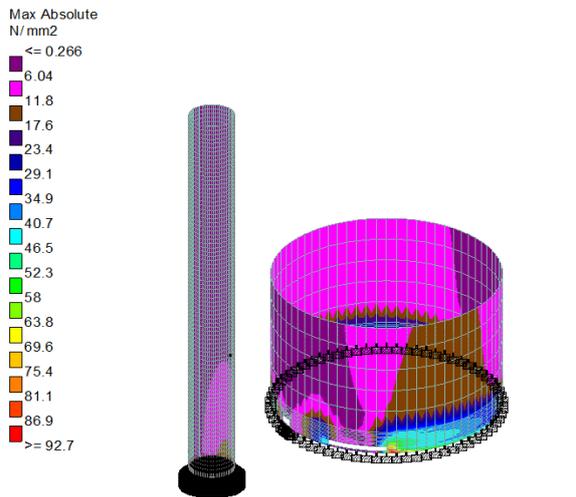
No	Wind Direction	Initial Condition	
		Max Stress MPa	Stress Ratio
1	0° Direction (Wz)	14.6	0.07
2	90° Direction (Wx-)	14.6	0.07
3	180° Direction (Wz-)	14.6	0.07
4	270° Direction (Wx)	14.6	0.07

Variasi model berikutnya dibuat untuk mewakili kondisi aktual di lapangan dengan kondisi adanya 2 lubang (lubang 1 dan lubang 2) serta pengurangan ketebalan disekililing area dekat *connection ring guy wire*. Simulasi dilakukan dengan membuat 2 model utama untuk memperoleh kondisi kritis dari orientasi lubang terhadap ke empat arah beban angin.

Dari kondisi aktual di lapangan diperoleh tegangan maksimum pada sisi area dinding *stack* yang mengalami korosi sebesar 114 Mpa dengan rasio tegangan 0,56 (model 1) dan tegangan maksimum sebesar 96,1 Mpa dengan rasio tegangan 0,47 (model 2).



Gambar 9. Kontur Tegangan Kondisi Aktual (Model 1)



Gambar 10. Kontur Tegangan Kondisi Aktual (Model 2)

Tabel 3. Hasil Analisa Tegangan Saat Pengukuran Korosi

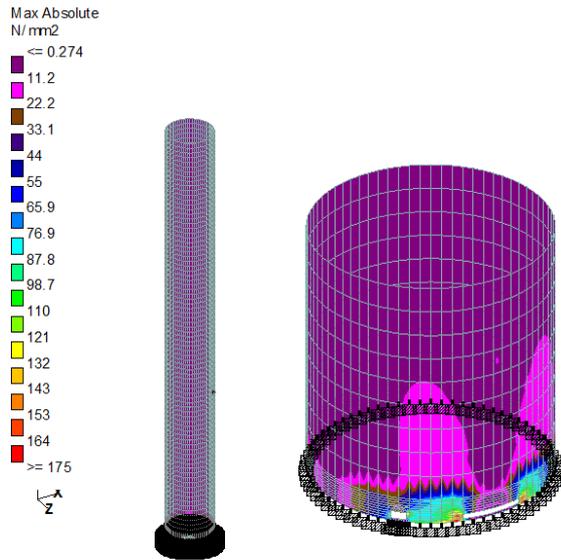
No	Wind Direction	Model 1		Model 2	
		Max Stress MPa	Stress Ratio	Max Stress MPa	Stress Ratio
1	0° Direction (Wz)	80.3	0.39	76.2	0.37
2	90° Direction (Wx)	51.2	0.25	78.7	0.38

3	180° Direction (Wz)	114	0.56	92.7	0.45
4	270° Direction (Wx)	57.2	0.28	96.1	0.47

Dengan skenario korosi terus bertambah sesuai besarnya laju korosi yang ada maka dilakukan simulasi dengan pengurangan tebal dinding hingga mencapai 70% dan 75% di area yang mengalami korosi dengan dikenai beban angin pada keempat arah sepanjang *riser stack*. Dari hasil simulasi diperoleh tegangan maksimal pada kondisi terkorosi 70% sebesar 151 Mpa dengan rasio tegangan 0,74, sedangkan pada kondisi korosi mencapai 75% diperoleh tegangan maksimal sebesar 175 Mpa dengan rasio tegangan 0,85.

Tabel 4. Hasil Analisa Tegangan Saat Kondisi Terkorosi 70% dan 75%

No	Wind Direction	CORR 70%		CORR 75%	
		Max Stress MPa	Stress Ratio	Max Stress MPa	Stress Ratio
1	0° Direction (Wz)	108	0.53	127	0.62
2	90° Direction (Wx)	72.6	0.35	88	0.43
3	180° Direction (Wz)	151	0.74	175	0.85
4	270° Direction (Wx)	80.6	0.39	97.3	0.47



Gambar 11. Kontur Tegangan Kondisi Terkorosi 75%

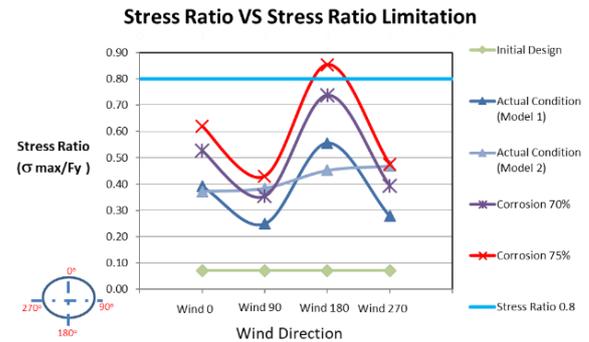
Dengan diketahuinya besaran laju korosi dan kehilangan tebal material akibat laju korosi maka dapat dihitung estimasi waktu sisa yang ada untuk mencapai suatu tingkat keparahan suatu korosi. Dengan kondisi korosi 70% diperkirakan akan terjadi sekitar 1,392 tahun kedepan sedangkan kondisi korosi 75 % diperkirakan akan terjadi sekitar 1.992 tahun kedepan.

Tabel 5. Estimasi Sisa Waktu Untuk Dengan Kondisi Terkorosi 70% dan 75%

N	Reduction %	Corrosion Rate (mm/y)	Corrosion Rate (m/y)	Corrosion Rate (m/y)	Remaining Thickness (m)	Estimated Time (years)	Estimated Time (hours)
1	70	0.0694	0.176	0.529	1.905	1.392	16704
2	75	0.0694	0.176	0.529	1.588	1.992	23804

Jika seluruh analisa diatas disummarykan dimulai dari kondisi initial (baru), korosi saat ini, penambahan korosi hingga 70% dan

penambahan korosi hingga 75%, dapat diperoleh grafik dalam gambar 12.



Gambar 12. Grafik Tegangan Terhadap Variasi Tingkat Keparahan Korosi

Dari grafik diatas dengan membatasi rasio tegangan maksimum yang terjadi pada area terkorosi dengan beban luar yang bekerja berupa beban angin desain sebesar 0,8 maka diharapkan perbaikan harus sudah dilakukan sebelum korosi terjadi tidak mencapai 75% dengan estimasi waktu sisa sekitar 1,992 tahun. Dari kondisi ini dapat menjadi basis bagi pemilik fasilitas tersebut untuk segera memperbaiki flare stack sebelum terjadi kegagalan struktur yang dapat mengakibatkan kerugian yang tidak diharapkan.

## 7. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan berkurangnya ketebalan material pelat pada area sekitar connection ring guy wire sangat berpengaruh pada kemampuan struktur stack dalam menerima beban luar yang bekerja berupa beban angin.

Akibat beban angin desain yang bekerja (80 mph), untuk flare stack kondisi inisial (baru) tegangan maksimal pada dinding stack sebesar 14.6 Mpa, dan rasio tegangan yang terjadi sebesar 0.007. Dari kondisi saat ini sesuai pengukuran korosi aktual diperoleh tegangan maksimum pada sisi area dinding stack yang mengalami korosi sebesar 114 Mpa dengan rasio tegangan 0,56.

Sedangkan tegangan maksimal yang terjadi pada saat area korosi mengalami mencapai

70% sebesar 151 Mpa dengan rasio tegangan 0,74, sedangkan pada kondisi korosi mencapai 75% diperoleh tegangan maksimal sebesar 175 Mpa dengan rasio tegangan 0,85.

Dengan membatasi rasio tegangan maksimum yang terjadi pada struktur *stack* akibat beban angin desain sebesar 0,8 maka diharapkan perbaikan harus sudah dilakukan sebelum korosi terjadi tidak mencapai 75% dengan estimasi waktu sisa umur pakai kurang dari 1,992 tahun.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Allowable Stress Design and Plastic Design, Specification For Steel Buildings, June 1, 1989.
- [2] ASCE 7-10, Minimum Design Load and Associated Criteria for Buildings and Other Structure.
- [3] Laporan inspeksi, team Operation & Integrity Department, VICO Indonesia.
- [4] Manual, STAADPro .
- [5] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No.17 tahun 2021 tentang Pelaksanaan Pengelolaan Gas Suar pada Kegiatan Usaha Minyak dan Gas Bumi.
- [6] Sulardi, Inspeksi Teknik Instalasi Flare Stack Industri Migas dan Selanjutnya, Petrogas Volume 3, Nomor 2, Agustus 2021.
- [7] Sulardi Resetting Verticality Flare Stack dengan Pengaturan Tegangan Guy Wire, Info Teknik Vol.22 No.1 Juli 2021.

