

## ANALISIS KEGAGALAN *THERMAL DEAERATOR VESSEL* CAPACITY 15 M<sup>3</sup>

Moh. Miftachul Munir<sup>1)</sup>, Imam Khoirul R<sup>2)</sup>, dan Hendri Budi K<sup>3)</sup>

<sup>1</sup> Teknik Pengelasan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

<sup>2</sup> Teknik Pengelasan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

<sup>3</sup> Teknik Pengelasan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

E-mail: m.munir@ppns.ac.id

### Abstract

This metallurgical *Failure analysis* investigates recurrent *cracking* and *leakage* in a 15 m<sup>3</sup> *thermal deaerator vessel* made of SA/A240 304L *stainless steel*. Initial leaks were detected near the *manhole-shell* joint in February 2023, and repairs (including doubling *plates*) failed to resolve the issue. Comprehensive testing included liquid penetrant inspection (*crack* mapping), chemical analysis (material compliance with ASME 304L specifications), tensile testing (invalid due to pre-existing *cracks*), metallography, hardness testing (within acceptable limits), and SEM-EDX. Microstructural analysis revealed austenitic grain boundaries with chromium carbide (Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>) precipitation, indicating sensitization from welding. This led to *intergranular corrosion*, acting as initiation sites for *cracks*. SEM-EDX confirmed intergranular *crack* propagation and detected *chloride* (Cl) contaminants, likely from feedwater (5.284 ppm). The combined presence of residual/in-service tensile stresses, chromium carbide, and *chlorides* facilitated ***stress corrosion cracking* (SCC)**. *Cracks* propagated both intergranularly and transgranularly, exacerbated by *pitting corrosion*. The root cause was identified as ***chloride-induced stress corrosion cracking* (CI-SCC)**, accelerated by sensitization (chromium carbide formation) in weld-affected zones. Recommendations include improved water treatment to reduce *chlorides* and post-weld heat treatment to mitigate sensitization.

Keywords: *SCC*, *Chloride*, *sensitisation*, *intergranular corrosion*

### PENDAHULUAN

*Thermal deaerator* adalah sebuah peralatan penting dalam sistem pembangkit uap (*boiler*) yang dirancang untuk menghilangkan gas terlarut (terutama oksigen dan karbon dioksida) dari air umpan *boiler*. *Thermal deaerator* digunakan untuk menghilangkan gas terlarut berupa Oksigen (O<sub>2</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dalam air umpan *boiler* yang dapat menyebabkan korosi parah pada pipa, *boiler*, dan turbin. Selain itu *thermal deaerator* juga berfungsi sebagai pemanasan awal air untuk menaikkan suhu air mendekati titik didih (biasanya 104–110°C pada tekanan atmosfer), mengurangi beban termal *boiler*. Fungsi lain yang tak kalah penting adalah, sebagai tangki penyangga (*buffer*) untuk menyediakan air terdeaerasi siap pakai bagi *boiler*. Beberapa data terkait *thermal deaerator vessel capacity* 15m<sup>3</sup> dan proses operasinya ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.** berikut.

**Tabel 1.** Data teknis terkait *thermal deaerator vessel capacity 15m<sup>3</sup>*

| No | Item                            | Spesifikasi/Nilai    |
|----|---------------------------------|----------------------|
| 1  | <i>Manufacturer</i>             | PT. Meco Inoxprima   |
| 2  | <i>Masa Pakai</i>               | 10 tahun (2013-2023) |
| 3  | <i>Volume</i>                   | 15 m <sup>3</sup>    |
| 4  | <i>Design Pressure</i>          | 2 bar                |
| 5  | <i>Design Temperature</i>       | 105 °C               |
| 6  | <i>Operating pressure</i>       | 0.2-0.3 bar          |
| 7  | <i>Operating Temperature</i>    | 105 °C               |
| 8  | <i>Pressure Reduction Valve</i> | 0.7 bar              |
| 9  | <i>Hydrostatic testing</i>      | 2 bar                |
| 10 | <i>Leak on</i>                  | 0.82 bar             |

Material *shell thermal deaerator* terbuat dari SUS 304 dengan *Inside Diameter (ID)* 1988 mm, *manhole* memiliki dimensi diameter 20 inchi (508 mm) sesuai *manufacturing data book*. Hasil inspeksi yang telah dilakukan pada material sambungan las antara *Nozzle to shell* yang mengalami keretakan setelah dilakukan repair dengan proses las karena mengalami kebocoran (*leakage*). Kebocoran juga terjadi pada *manhole* dan plat *shell* yang berdekatan dengan *head*, data *leakage* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil inspeksi yang telah dilakukan terhadap *Thermal deaerator Vessel capacity 150 m<sup>3</sup>*

*Metallurgical Failure analysis* dilakukan untuk menganalisis dan mengetahui kemungkinan akar penyebab terjadinya keretakan. Analisis kegagalan dilakukan dengan pengamatan

struktur mikro menggunakan mikroskop optik, analisis morfologi patahan dan sebaran unsur pada lokasi tertentu menggunakan SEM EDX, identifikasi komposisi material menggunakan OES, pengujian kekerasan dan *macro* fractografi.

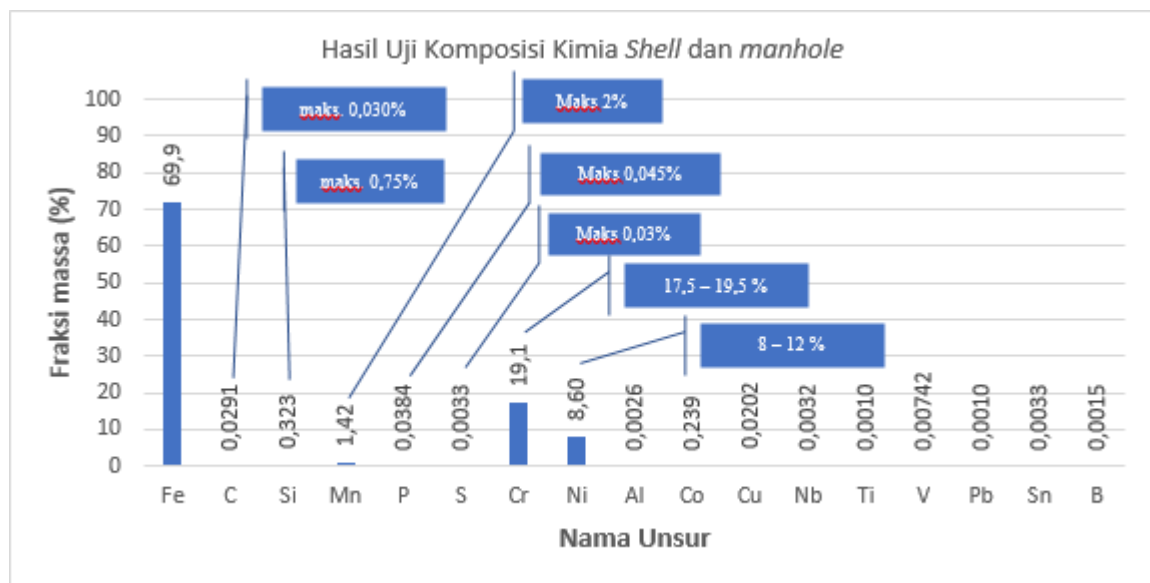
## METODE PENELITIAN

Analisis kegagalan metalografi merupakan investigasi sistematis untuk mengidentifikasi akar penyebab kerusakan material. Berdasarkan ASTM E2332-04, “*Standard Practice for Investigation and Analysis of Physical Component Failures*”, dokumen normatif yang biasa digunakan dalam melakukan prosedur *Failure analysis* komponen mekanikal. *Failure analysis* dilakukan sesuai dengan prosedur berikut:

1. *Collection of evidence and background data*, Pengumpulan bukti kegagalan yang terjadi dan pengumpulan data *operation thermal deaerator*. Hal ini dilakukan dalam rangka untuk mendapatkan bukti awal dalam mempermudah analisis.
2. *Tests and analysis of failed components*, pengujian ini dilakukan dalam rangka untuk menambah bukti teknis, beberapa pengujian yang dilakukan:
  - a. Pengujian visual dengan alat bantu penetrant test
  - b. Pengujian metalografi, secara mikro dan makro dengan alat bantu mikroskop optis.
  - c. Pengujian *spectroscopy*, untuk memastikan komposisi kimia material.
  - d. Pengujian kekerasan, Hardness vicker, untuk mendapatkan data kekerasan *thermal deaerator*
  - e. Pengujian *Scanning electron Microscope* (SEM)
3. *Analysis of Test Data*, analisa data dilakukan untuk menentukan *root cause analysis*, sehingga ditemukan sebab kegagalan yang terjadi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi kimia material didapatkan dengan pengujian *Optical Emission Spectroscopy* (OES). Pengujian komposisi kimia dilakukan pada plat *shell* dan *Manhole thermal deaerator vessel capacity 15 m<sup>3</sup>*. Setiap spesimen dilakukan pengujian sebanyak 3 kali dan dirata-rata untuk mendapatkan nilai komposisi kimianya. Hasil pengujian komposisi kimia untuk plat *shell* dan *manhole* dapat dilihat pada **Gambar 2**.



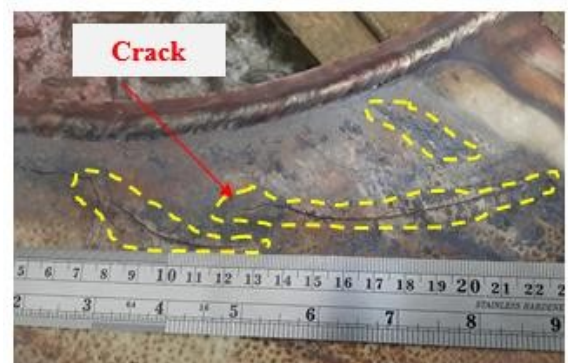
**Gambar 1.** Komposisi Kimia Rata-rata SA-240/SUS 304L dan menurut ASME IIA

Hasil pengujian *spectroscopy* menunjukkan nilai kandungan carbon sebesar 0,0291%, Chromium 19,1%, Nickel sebesar 8,6%, pada *plate shell*, sedangkan pada *plate manhole* besarnya kandungan carbon sebesar 0,0269%, Chromium 19,1%, Nickel sebesar 8,33%. Kandungan ini masih dalam batas yang disyaratkan oleh ASME IIA. Untuk unsur lain masih dalam batasan yang disyaratkan oleh code ASME IIA.

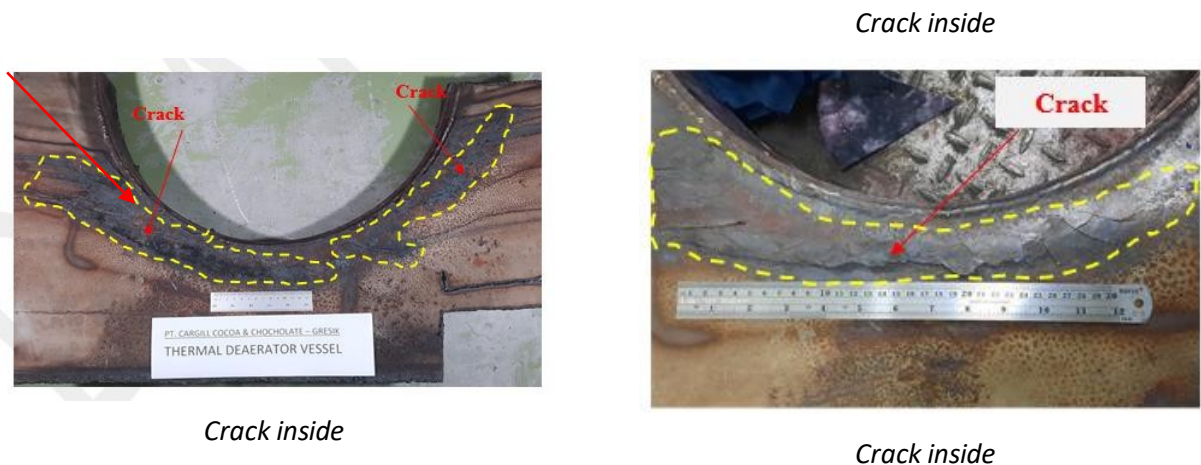
Pengamatan makro dilakukan untuk mendeskripsikan *crack* atau retakan yang sudah terjadi pada beberapa bagian yang terdapat pada *shell thermal deaerator vessel*, baik yang terdapat pada posisi *inside shell* atau pada bagian *outside shell*. Pengambilan gambar makro dilakukan pada posisi tertentu yang dipilih yang menunjukkan *crack* yang terlihat dengan mata telanjang, dan menunjukkan dimensi dari *crack* tersebut. Hasil pengamatan makro dari *crack* pada bagian *shell* dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



*Crack outside*

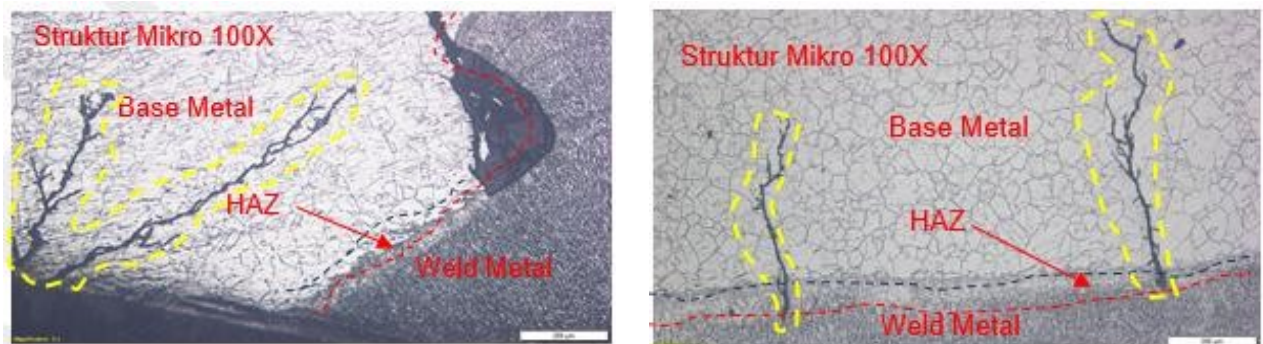






**Gambar 3.** Foto Makro pada bagian *inside* dan *outside shell thermal deaerator vessel*

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui fasa yang ada pada *base metal shell* dan *manhole*, dan daerah *weld metal*. Dari gambar struktur mikro tersebut dapat diduga fasa pada posisi *shell base metal* maupun pada *weld metal*. Bisa dilihat juga bentuk struktur solidifikasi di *weld metal*. Struktur mikro material *shell thermal deaerator* dapat dilihat pada Gambar 4 berikut:



**Gambar 4.** Foto Mikro pada bagian *shell* dan *manhole thermal deaerator vessel*

Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa struktur mikro dari material *Shell thermal deaerator vessel* dan *manhole* tersebut berupa fasa ustenit dengan bentuk *equiaxed grain*, dan terlihat *twinning grain boundary* yang menjadi ciri khas dari struktur mikro *austenitic stainless steel*. Untuk memprediksi struktur mikro yang terjadi di daerah *weld metal*, digunakan diagram Kakhovskii, dengan menghitung nilai *Chrom equivalent* dan *Nickel equivalent* berdasarkan formula sebagai berikut:

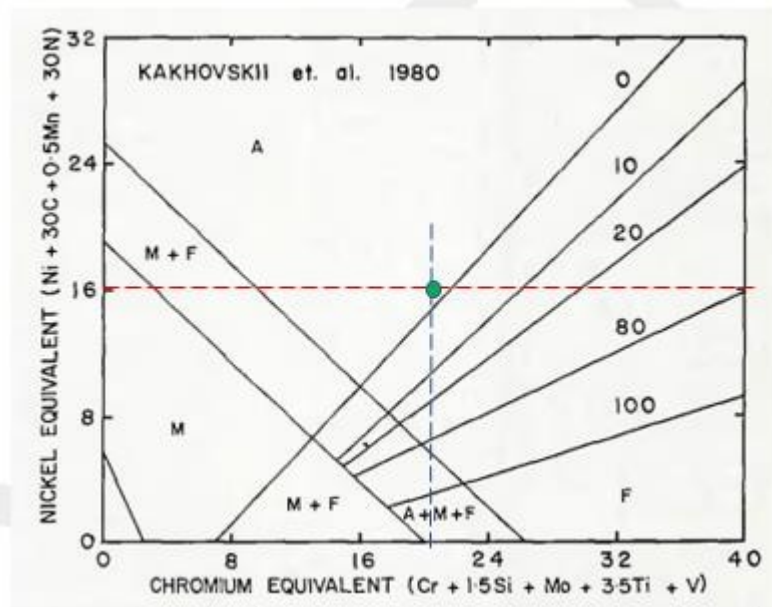
$$\text{Cr equivalent, welds} = w_{\text{Cr}} + 1.5w_{\text{Si}} + w_{\text{Mo}} + w_{\text{V}} + 3.5w_{\text{Ti}}$$

$$\text{Ni equivalent, welds} = w_{\text{Ni}} + 0.5w_{\text{Mn}} + 30w_{\text{C}} + 30w_{\text{N}}$$

Berdasarkan formula tersebut maka didapatkan :

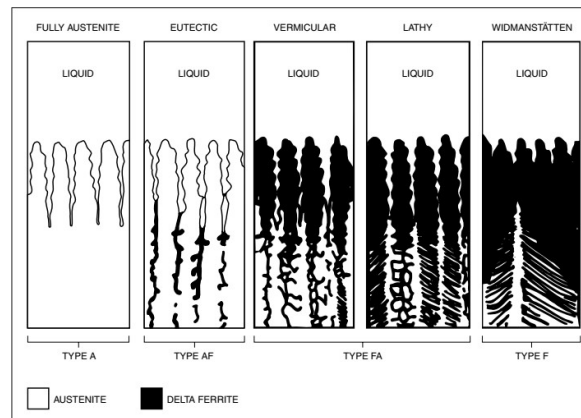
$$\begin{aligned}\text{Cr equivalent} &= 19.1 + (1.5 \times 0.323) + 0 + (3.5 \times 0.001) + 0.0742 \\ &= 19.6\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Ni equivalent} &= 8.6 + (30 \times 0.0291) + (0.5 \times 1.42) + (30 \times 0.194) \\ &= 16.003\%\end{aligned}$$



Gambar 5 diagram kakhovskii weld metal

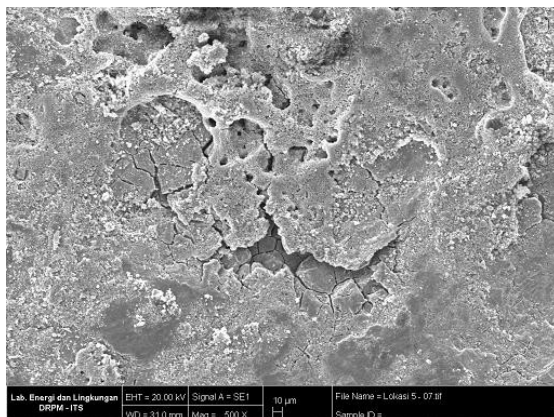
Untuk mengetahui pembentukan akhir solidifikasi yang ada pada daerah *weld metal* dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan *Cr equivalen* dan *Ni equivalen* pada diagram kakhovskii, seperti terlihat pada Gambar 5. Dari diagram ini akan diketahui tipe solidifikasi dan *ferrite number* dari *weld metal* yang dihasilkan, jika dilakukan perhitungan Cr eq akan didapatkan nilai 19,6% dan Ni eq didapatkan nilai 16,003. Jika ditarik garis vertikal dari sumbu X (Cr eq) dan garis horizontal dari sumbu Y (Ni eq) maka akan didapatkan perpotongan pada daerah fasa yang terbentuk adalah tipe A dengan *perbandingan* Cr eq/Ni eq rasio yang didapatkan 1,225, jika rasio Cr eq./Ni eq. < 1.25 maka fasa yang terbentuk adalah *Austenite* (Folkhard, 1988). Bentuk morfologi struktur *weld metal* dapat dilihat pada Gambar 6.



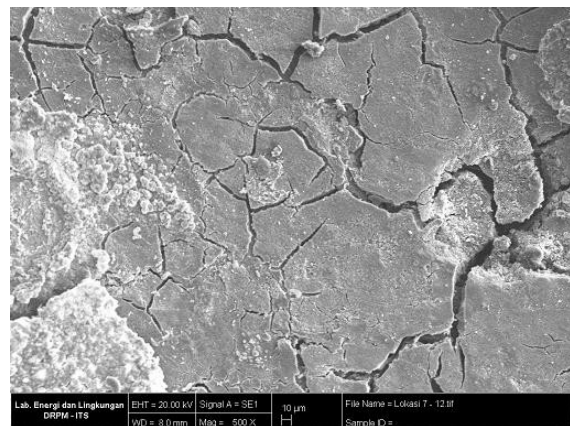
Gambar 6. Morfologi struktur mikro *weld metal* (solidifikasi)

Dari pengujian kekerasan didapatkan rata-rata nilai kekerasan tertinggi ada pada daerah *Manhole* yakni  $HVN = 190,30 \text{ kgf/mm}^2$ , sedangkan untuk kekerasan rata-rata *shell* nilai *ardness* lebih rendah, yang paling rendah terdapat pada lokasi 3 yakni sebesar  $HVN = 184,94 \text{ kgf/mm}^2$ . Persyaratan *mechanical properties* SA/A240 SUS 304L berdasarkan ASME IIA, besarnya nilai kekerasan yang disyaratkan sebesar maximum 201 HBW, atau setara dengan 211 HV, artinya material *shell* dan *manhole thermal deaerator vessel* masih memenuhi persyaratan.

Hasil dari pengamatan SEM menunjukkan adanya *crack* pada *sample* di permukaan, yang secara *metallographic* tidak terlihat. Dari hasil uji SEM juga bisa diamati adanya *crack* yang menjalar melewati batas butir dari struktur mikro *austenitic stainless steel*. Hal ini menunjukkan adanya *intergranular corrosion*, korosi jenis ini yang menjadi pemicu terjadinya *crack* yang menjalar mengikuti bentuk butiran *stainless steel*, jika ada kombinasi dengan stress yang bekerja pada *thermal deaerator vessel* maka bisa menyebabkan terjadinya *crack* yang merambat secara transgranular, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7.a. *pitting corrosion*



Gambar 7.b. *crack intergranular*

Selain terlihat adanya pola retakan yang merambat intergranular, juga terdapat pola *pitting*/sumuran yang bisa jadi disebabkan karena adanya *chloride*. Hasil uji EDX juga memperlihatkan data kandungan Cl, selain itu bisa jadi kualitas air deaerator juga mengandung *chloride* (Cl-) sebesar 5.284 mg/L (ppm). *Pitting* yang terdapat pada permukaan *shell thermal deaerator* bisa menjadi pemicu terjadinya *pitting corrosion*.

## SIMPULAN

*Crack on shell thermal deaerator* terjadi dengan disebabkan oleh adanya *chromium carbide*, yang menyebabkan *intergranular corrosion*, *intergranular corrosion* sebagai pemicu terjadinya *crack* yang merambat secara intergranular. Terdapat indikasi pembentukan *carbide* (dalam hal ini yang berpotensi adalah Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>). Hal ini bisa terjadi (terbentuknya *carbide*, Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>), jika laju pendinginan berlangsung secara lambat. Kombinasi dengan tegangan menyebabkan terjadinya *stress corrosion cracking*, sehingga memungkinkan retak menjalar secara transgranular. Selain itu juga terdapat indikasi *pitting corrosion*, karena adanya *chloride* yang terkandung dalam air dan juga terdeteksi dari hasil uji EDX.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM E3, (2017). Standard for preparation of metallographic specimen, ASTM.
- ASTM E92, (2017). Standard test method for vickers Hardness and Knoop Hardness for metallic material, ASTM.
- ASTM E415 OR E1251, (2021). OES/Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry. ASTM.
- ASTMA E407, (2015). Standard practice for microetching metals and alloys, ASTM.
- Suzuki, shunichi., Takamori, Kenrou. (2009). *Stress corrosion cracking* in lowcarbon stainless steel component in BWRs. *E-Journal of Advance maintenance*, vol.1(2009) 1-29.
- Bulloch, J.H., Rochford, E. (2000). In-service electrochemical potential data in a deaerator feedwater storage vessel; the influence of a noble metal coating. *International Journal of pressure vessel and piping*, 77 (2000), 485-499.
- Kongwisawamirt, P. (2021). *Cracking* in Deaerator vessel (V-4634). *Chemical Process Safety Sharing*, 8<sup>th</sup>.
- Stott, J. (2022) *Rapid Pitting Failure of Type 304 Stainless steel Pipework*, *Journal Failure analysis and prevention*.



Turcott,S, Hasselman, K (1993). *Failure analysis of deaerator piping*, *Steel image Inc*, .

EPRI. (2010). *Deaerator tank assessment guideline, technical guide* . Palo Alto, California.