

## RETAK KOROSI TEGANGAN PADA PRESSURE INDICATOR LINE TUBE

A. Djoko Wiyono dan Yusuf Afandi

UPT-LUK BPP TEKNOLOGI, Kawasan PUSPIPTEK Serpong

### ABSTRAK

**RETAK KOROSI TEGANGAN PADA PRESSURE INDICATOR LINE TUBE.** Pressure indicator line tube mengalami retak yang cukup dominan akibat mekanisme *Intercrystalline Stress Corrosion Cracking* (ISCC) pada bagian *elbownya*. Tube tersebut terbuat dari stainless steel type 304 berdiameter luar 12,70 mm dengan ketebalan 3,60- 3,90 mm yang dioperasikan pada peralatan industri petrokimia. Pada daerah *elbow* tersebut mengandung *residual surface tensile stresses*, kemungkinan pada saat proses pembentukan *elbow* tidak diikuti perlakuan panas pelunakan (*annealing*) ataupun pelepasan tegangan (*stress relieving*). Kondisi ini akan sangat sensitif ketika *pressure indicator tube* dioperasikan pada temperatur 500-600°C adanya pemuaian panas (*thermal expansion*) menimbulkan tegangan tambahan (*addition stress*). Sedangkan *corrosion agent* yang mengawali terbentuknya *stress corrosion cracking* pada *tube elbow* adalah ion  $Cl^-$  (berasal dari atmosfer air laut) yang terperangkap di bawah glass wool insulation dan terkonsentrasi di daerah sisi cekung. Secara kuantitatif adanya tegangan pada *elbow* sisi cekung dapat dilakukan perhitungan melalui pendekatan *thermal stress analysis*, sedangkan untuk menghindari kerusakan serupa dikemudian hari sebaiknya material pipa *pressure indicator tube* diganti dengan material yang lebih baik yaitu SS 316 atau SS 316L.

### ABSTRACT

**STRESS CORROSION CRACKING ON PRESSURE INDICATOR LINE TUBE.** Pressure indicator line tube has cracked significantly caused by *Intercrystalline stress corrosion cracking* (ISCC) mechanism at the elbow tube. The tube materials is stainless steel type 304 with OD 12.70 mm and thickness 3.60-3.90 mm which was operated on petrochemical industrial equipment. The elbow tube area contains residual surface tensile stresses, It was assumed that the formation process of the elbow was done without annealing or stress relieving. This condition is especially sensitive when pressure indicator line tube is operated at temperature 500-600°C therefore thermal expansion can cause additional stress. The corrosion agent that initiates stress corrosion cracking of elbow tube is ion  $Cl^-$  which comes from marine environment to be trapped under glass wool insulation and concentrated in the concave edge area. Quantitatively, the elbow concave edge stresses can be calculated through thermal stress analysis. To prevent similar failure in the future recommended to change the materials for pressure indicator tube with better materials such as SS 316 or SS 316L.

## 1. PENDAHULUAN

Fenomena korosi pipa pada peralatan industri petrokimia merupakan fakta yang tidak bisa dihindari, karena peristiwa korosi merupakan fenomena alami yang cenderung mengembalikan material menjadi bentuk atau keadaan alamiahnya (*natural states*). Secara teoritis korosi didefinisikan sebagai proses perusakan material yang umumnya logam akibat adanya reaksi kimia dengan lingkungannya.

Oleh karena peristiwa korosi pipa pada industri petrokimia tidak bisa dihindari, maka yang dapat dilakukan adalah mengendalikan atau menunda terjadinya peristiwa korosi. Untuk itu semua pihak yang menggunakan dan memanfaatkan pipa di lingkungan industri perlu memahami mekanisme, sifat dan bentuk karakteristik korosi; dan dikaitkan dengan pengalaman pengoperasian khususnya rekaman peristiwa korosi di lingkungan masing-masing, akhirnya mampu melakukan pemilihan material yang memenuhi persyaratan operasi, pemeliharaan dan kriteria ekonomis.

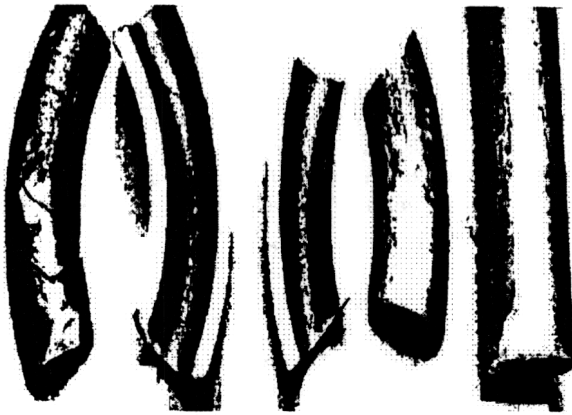
Industri kimia memanfaatkan cairan atau gas hidrokarbon sebagai bahan baku. Dengan demikian industri kimia, penyulingan minyak dan petrokimia secara teknologi saling berkaitan. Cairan atau gas hidrokarbon oleh karena pengaruh lingkungan yang tidak termonitor, misalnya adanya air, terkontaminasi dengan partikel padat atau elemen korosif, perubahan temperatur operasi melampaui batas toleransi dapat menimbulkan atau mempercepat berbagai jenis peristiwa korosi. Disamping itu senyawa hidrokarbon bersifat mudah terbakar dan bila terdispersi di dalam udara kemungkinan mampu menimbulkan ledakan.

Permasalahan yang timbul di dalam *hydrocarbon processing industry* adalah kerusakan pada sistem pemipaan (*piping system*) paling sering terjadi. Dan jenis korosi yang umumnya paling sering di alami oleh saluran pipa tersebut adalah korosi homogen, korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*), interkristalin, dan korosi jenis lainnya. Dengan memahami

mekanisme dan bentuk karakteristik masing-masing jenis korosi tersebut tadi, dapat diambil langkah-langkah pengendalian dan pencegahan korosi, dan dalam tahapan disain adalah melalui pemilihan material.

## 2. TATA KERJA

*Pressure indicator line tube* dengan jenis material stainless steel jenis 304 berdiameter luar 12,70 mm dan ketebalan 3,60-3,90 mm (di daerah elbow) mengalami kerusakan, yaitu retak dan pecah di lokasi elbow (Gambar 1).



Gambar 1. Sisi luar dan sisi dalam potongan pressure indicator line tube yang mengalami retakan

Data-data operasi yang diperoleh antara lain:

- Temperatur operasi : 500-600°C
- Tekanan : 2,3 Kg/cm<sup>2</sup>
- Fluida : Naphta/Hydrocarbon
- Isolator pipa : Glass wool dan lembaran aluminium.

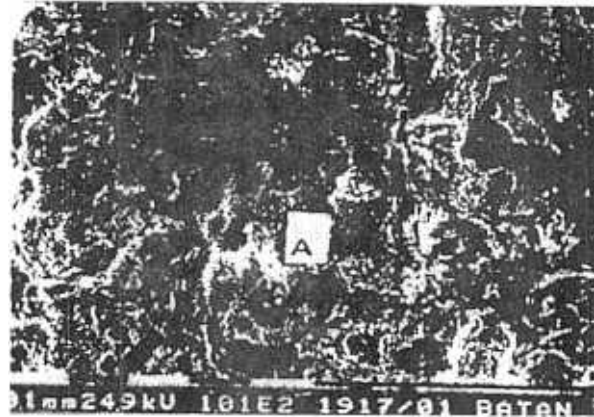
*Specimen* (sample) diambil dari tiga lokasi untuk dianalisis yang mencakup:

- Pemeriksaan visual,
- Pemeriksaan fraktografi dengan *stereo mikroskop optik* dan *Scanning Electron Microscope (SEM)*,
- Pemeriksaan metalografi dengan mikroskop Metalloplan,
- Uji kekerasan dengan menggunakan mesin Frank Finotest

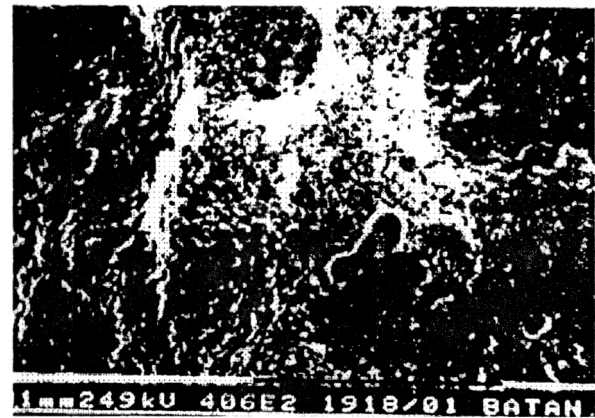
## 3. HASIL PENGUJIAN

### 3.1. Pemeriksaan Visual dan Fraktografi

Secara visual tidak terjadi perubahan bentuk deformasi plastis) dan ketebalan rata-rata sebesar 3,85 mm. Pada spesimen yang rusak menunjukkan adanya penjalaran retak bercabang. Permukaan kasar dan iregular menunjukkan bahwa *tube* mengalami retak getas (*brittle cracks*) dan dengan menggunakan SEM



Gambar 2. Pemeriksaan SEM menunjukkan permukaan patahan yang kasar tertutup dengan produk korosi (Perbesaran 100 X)

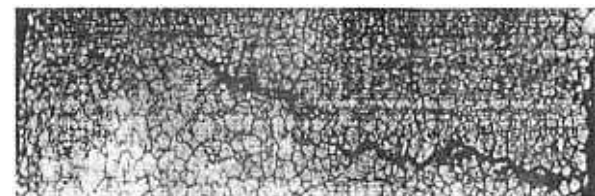


Gambar 3. Perbesaran dari lokasi A, memperlihatkan endapan korosi relatif tebal (Perbesaran 400 X)

memperlihatkan bahwa permukaan retakan tertutup dengan endapan korosi (Gambar 2 dan 3).

### 3.2. Pemeriksaan Metalografi

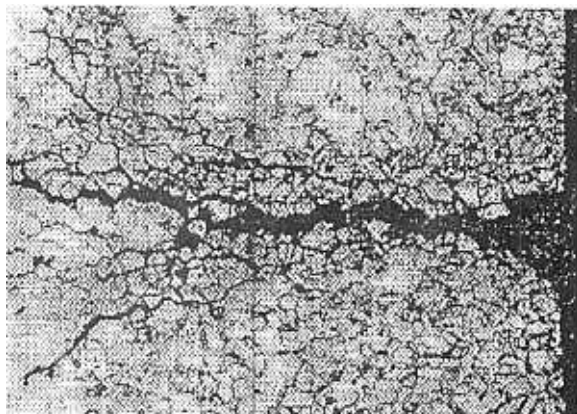
Pada spesimen potongan melintang menunjukkan adanya retak interkristalin dimulai dari kedua sisi diameter luar dan dalam *tube* dan tampak dari diameter luar awal retak kristalin lebih parah serta terisi dengan endapan korosi (Gambar 4).



Gambar 4. Penjalaran retak interkristalin dari diameter dalam dan luar tube (perbesaran 50 X; Etsa Vilela's)

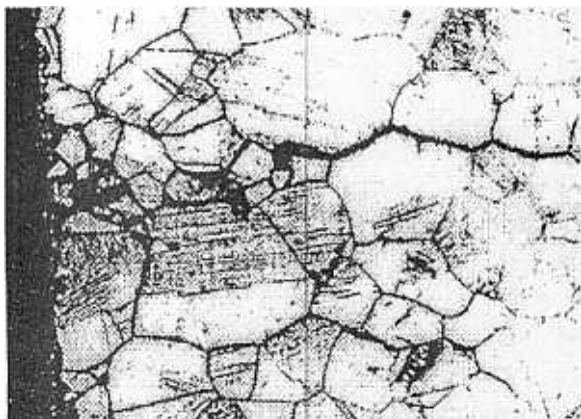
Permukaan patahan atau retakan berbentuk kasar, iregular dan di bawahnya mengandung retak interkristalin yang terisi dengan endapan korosi. Ada indikasi bahwa retak bercabang interkristalin dimulai dari sisi diameter luar dan terisi endapan korosi, karena lebih parah dibandingkan dengan retak serupa pada diameter dalam *tube*. Retak bercabang interkristalin dan

terisi endapan korosi juga tampak dengan jelas pada spesimen potongan memanjang dan sejajar permukaan *tube* (Gambar 5).



Gambar 5. Diameter luar sisi cekung memperlihatkan retak bercabang interkristalin, tampak di dalam retakan terisi dengan produk korosi (Perbesaran 50 X; Etsa Vilela's)

Berdasarkan hasil pemeriksaan terhadap spesimen tersebut di atas, retak bercabang interkristalin yang terisi endapan korosi dan diketemukannya pada diameter luar sisi cekung ternyata lebih parah dibandingkan dengan diameter luar sisi cembung (Gambar 6).



Gambar 6. Diameter luar sisi cembung juga tampak retak bercabang interkristalin (perbesaran 200 X; Etsa Vilela's)

### 3.3. Uji Kekerasan

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan terhadap spesimen menunjukkan bahwa nilai kekerasan rata-rata sebesar 226 HV.

## 4. PEMBAHASAN

Berdasarkan pemeriksaan visual, fraktografi dan

metalografi ada indikasi kuat bahwa *pressure indicator tube* mengalami retak di daerah *elbow* akibat mekanisme *Intercrystalline Stress Corrosion Cracking* (ISCC). Dalam kasus ini SCC dominan terjadi di daerah *elbow* sisi cekung dan pada diameter luar *tube* (Gambar 4) dibandingkan *elbow* sisi cembung pada sisi diameter luar (Gambar 6). Menurut salah satu referensi bahwa "SCC hanya terjadi di bawah pengaruh tegangan sisa atau yang diterima dan bersifat tarik, sedangkan tegangan tekan tidak berpengaruh". [1]

Pada kasus kerusakan *pressure indicator tube*, SCC tampak lebih dominan dan parah di daerah *elbow* sisi cekung yang mengalami tegangan tekan (*compressive stress*). Kemudian muncul pertanyaan dari mana datangnya tegangan sisa atau yang diterima di sisi cekung *elbow*. Beberapa kemungkinan munculnya tegangan tersebut antara lain :

1. Adanya tambahan tegangan (*Additional stress*) ketika *pressure indicator tube* mengalami pemuaian (*thermal expansion*) saat beroperasi pada temperatur 500 - 600 °C.
2. Tegangan sisa timbul pada saat proses pembentukan *elbow* dan tegangan tersebut melebihi ambang batas.
3. Lengkungan tanpa pembentukan pada proses manufaktur akan menimbulkan tegangan tarik sisa permukaan, di mana tegangan tersebut melemahkan ikatan permukaan antar butiran. [2]

Berdasarkan hasil uji kekerasan *pressure indicator tube* di daerah *elbow* diperoleh nilai kekerasan sebesar 226 HV. Kondisi ini membuktikan bahwa daerah *elbow* masih mengandung tegangan sisa meskipun pernah mengalami temperatur operasi 500 - 600 °C, ternyata pelepasan tegangan tidak efektif.

Untuk material stainless *steel type austenitic*, lingkungan korosif yang menyebabkan SCC antara lain ion Cl<sup>-</sup>, S<sup>2-</sup>, atau OH<sup>-</sup> dan lingkungan korosif lain. Untuk ion Cl<sup>-</sup> meskipun jumlahnya kecil, katakanlah tingkatan ppm sudah cukup memicu munculnya SCC, seperti halnya terjadi dalam kasus isolasi pipa dengan magnesia atau foam, kemungkinan mengandung sejumlah kecil chlorida yang dapat larut dan terbawa oleh udara lembab. Evaluasi media yang menyebabkan SCC untuk material AISi tipe 302,304/304L (0,03% maks); 321, 347 adalah *naphtha*, *naphthanic acid*, *chlorine*, *ferros chloride*, *hydrogen chloride*, *hydrogen sulfide (wet)*, *magnesia chloride* dan *calcium chloride*. [3]

Dalam kasus ini, elemen korosif (*corrosive agent*) pencetus SCC pada *pressure indicator tube* mula pertama adalah ion Cl<sup>-</sup>. Ion Cl<sup>-</sup> ini dibawa oleh atmosfer air laut dan terperangkap di bawah *glass wool insulation*, terutama terkonsentrasi di daerah *elbow* sisi cekung. Setelah terjadi SCC dan *elbow* mulai retak dan menembus sisi atau diameter dalam *tube*, maka SCC diperparah oleh *fluida naphtha* yang mengalir di dalam *tube*. Oleh karena itu di dalam retakan interkristalin SCC tertutup oleh endapan korosi. [4]

*Mikrostruktur pressure indicator tube* mengalami tekukan dengan cara dingin untuk membentuk *elbow*, maka di daerah tersebut mengandung tegangan sisa yang cukup tinggi.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemeriksaan di laboratorium dan diskusi seperti tersebut di atas; dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Daerah *elbow* pada *pressure indicator tube* mengandung tegangan permukaan yang bersifat tarik dan sisa (*residual surface tensile stress*)
2. Butir (1) terjadi karena *pressure indicator tube* dan proses pembentukan *elbow* tidak diikuti dengan pelunakan dan pelepasan tegangan.
3. Adanya pemuaian panas ketika *pressure indicator tube* beroperasi pada temperatur 500 - 600 °C; dapat menimbulkan tegangan tambahan di daerah *elbow* sisi cekung.
4. Agen korosi yang pertama kali pencetus ISCC pada *tube elbow* adalah ion Cl<sup>-</sup> (dari atmosfer air laut) yang terperangkap di bawah *glass wool insulation* dan terkonsentrasi di daerah *elbow* sisi cekung.
5. Setelah ISCC dari *line tube* (akibat ion Cl<sup>-</sup>) menembus sisi dalam *tube*; maka ISCC diperparah oleh adanya *fluida naptha*.

## 6. UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Ir. Hadi Sunandrio, Drs. Wagiyono H. M.Sc. dan Sutarjo, serta semua pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. S.L. CHAWLA, R.K. GUPTA, "Material Selection for Corrosion Control" ASM, 1993 page 142 - 143
- [2]. JAMES J. DALY, "Controlled Shot Peening Prevents SCC" Material Engineering II, Chemical Engineering, pp.270, 1980, New York, McGraw-Hill Pub. Co.
- [3]. ROBERT HOORE, "Selecting Materials to Resist Corrosive Conditions" Material Engineering I, pp. 34-36, 1980.
- [4]. Metals Handbook, Failure Analysis and Prevention Vol. 10, American Society for Metals, 1975