

## ANALISA KEGAGALAN TERHADAP *TUBE CRUDE OIL HEATER (FURNACE)*

\*Muhammad Miftahul Fauzie<sup>1</sup>, Rusnaldy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: amico.28@yahoo.com

### Abstrak

Terdapat pipa yang mengalami kebocoran. Kegagalan pipa ini terjadi di dalam *furnace* pada bagian *elbow-180°* yang beroperasi secara terus menerus selama 3 tahun pada suhu 454°C – 540°C. Pipa ini berfungsi untuk mengaliri minyak mentah (*crude oil*) menuju ke proses distilasi dalam industri pengolahan minyak. Secara visual tidak nampak keretakan diakibatkan oleh korosi, erosi dan kavitasi. Kemungkinan penyebabnya adalah *creep failure* atau *thermal fatigue*. Untuk membuktikan hal tersebut, maka dilakukan serangkaian pengujian seperti; pengujian komposisi kimia material, uji kekerasan Rockwell dan struktur mikro. Material uji sesuai dengan standar ASTM A 234 setelah dilakukan pengujian komposisi kimia material menggunakan spektrometer emisi. Retakan pada spesimen memperlihatkan retakan *transgranular* yang menunjukkan bahwa material ini adalah *ductile* yang merupakan ciri dari *creep*. Struktur mikro mengalami pembesaran dan perubahan fasa pada daerah retak yang menyebabkan terjadinya pelunakan. Hal ini diperkuat setelah dilakukan uji kekerasan yang menunjukkan perbedaan kekerasan yang terjadi pada daerah *crack* 94.25 HB dan 106.83 HB pada jarak  $\pm 15$  cm dari *crack*. Dapat disimpulkan bahwa material ini sesuai dengan standar ASTM A 234. Gejala retakan yang terjadi pada pipa diakibatkan oleh gejala *creep* pada material karena pipa beroperasi pada suhu yang tinggi dalam jangka waktu yang lama.

**Kata kunci:** *creep, transgranular, furnace*

### Abstract

*There was a leaking pipe. This pipe failure occurred in the furnace at elbow-180° which operates continuously for 3 years at temperature of 454 °C-540 °C. The pipe serves to transfer crude oil to the distillation process in the oil processing industry. From visual inspection, the crack was caused by neither corrosion, erosion nor cavitation. It may be caused by creep failure or thermal fatigue. To prove the hypothesis, a series of material testing was conducted, consisted of chemical composition test, Rockwell hardness test and microstructure test. According to the chemical composition test using emission spectrometer, the material fits ASTM A 234 standard. Cracks in the specimen showed transgranular cracks which indicate that the material is ductile, a characteristic of creep. The microstructure of material experienced enlargement and phase change on the crack area that cause softening. This was confirmed by hardness test which showed the hardness number difference occurred in the crack area 94.25 HB and 106.83 HB at a distance of  $\pm 15$  cm from the crack.. It can be concluded that this material fits ASTM A 234. Cracks that occurred in the pipe were caused by the phenomenon of creep in the material due to pipeline operating at high temperature for a long period.*

**Keywords:** *creep, transgranular, furnace*

## 1. PENDAHULUAN

Terdapat pipa yang mengalami kebocoran. Kegagalan ini terjadi di dalam dapur pemanas setelah 3 tahun bekerja pada bagian *elbow 180°*. Pipa ini berfungsi untuk mengaliri minyak mentah (*crude oil*) menuju ke proses distilasi dalam industri pengolahan migas. Di industri ini banyak digunakan pipa untuk membantu dalam proses produksinya. Sebagai contoh: pipa di dalam dapur pemanas, pipa pada ketel atau *steam injection*. Pipa-pipa ini merupakan komponen yang penting karena digunakan sebagai alat untuk mengalirkan fluida yang panas ke sistem-sistem yang membutuhkan, suhu operasi sekitar 454°C – 540°C yang sesuai dengan suhu operasi yang direkomendasikan dan dapat beroperasi mencapai 100.000 jam (API Recommended 530).

Kebocoran yang terjadi pada pipa dapat mengakibatkan merembesnya minyak mentah sampai ke bagian luar dinding pipa. Secara visual, terdapat rekahan yang cukup panjang pada bagian luar dinding atau retak.

Kemungkinan penyebab terjadinya retak ini adalah *thermal fatigue* atau *creep failure*. Kedua jenis kegagalan tersebut kemungkinan disebabkan oleh beban yang berlebihan atau suhu yang terlampaui tinggi (*overheating*). Suhu yang tinggi menyebabkan *creep* atau mulur pada komponen.

Untuk mencari penyebab pasti kerusakan pada pipa tersebut perlu dilakukan analisa kegagalan. Analisa kegagalan material adalah kegiatan atau usaha untuk menyelidiki sebab-sebab kegagalan suatu komponen. Dengan melakukan analisa kegagalan ini diharapkan dimasa yang akan datang kejadian serupa dapat dicegah dan dapat mengurangi kerugian yang akan terjadi akibat kegagalan komponen.

## 2. METODOLOGI

Metode yang digunakan sebagai penunjang analisa kegagalan ini ada 4, yaitu pengamatan visual, pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan dan foto struktur mikro.

### Pengamatan Visual

Pengamatan visual bertujuan untuk melihat pada bagian mana dari pipa yang mengalami kegagalan dan juga untuk bisa menentukan kemungkinan jenis kegagalan apa yang terjadi pada pipa. Alat utama yang digunakan untuk pengamatan visual ini adalah kamera (Gambar 1).



Gambar 1. Kamera

Untuk pengamatan visual ini alat yang digunakan adalah kamera yang memiliki resolusi tinggi dan penggaris yang berguna sebagai alat dokumentasi dan juga alat pembanding atau pengukur.

### Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian dari komposisi kimia ini bertujuan untuk melihat apakah benda uji atau pipa yang dijadikan spesimen uji ini memenuhi syarat atau standar yang diperuntukkan pipa untuk proses perkilangan. Untuk alat yang dipakai sebagai alat uji komposisi kimia adalah spektrometer emisi dengan spesifikasi Hilger E-9 OA701 yang mampu mendeteksi 20 unsur secara langsung seperti Gambar 2.



Gambar 2. Spektrometer Emisi [1]

Metode spektro memanfaatkan emisi elektron dalam mengidentifikasi dan menghitung jumlah kandungan elemen pada material sampel. Dengan menggunakan metode analisis terhadap spektrum dari pengukuran kandungan elemen pada material sampel, memungkinkan penentuan komposisi dengan mengambil rata-rata jumlah elemen pada material sampel. Letak pengambilan potongan spesimen berjarak  $\pm 15$  cm dari retakan seperti Gambar 3.



Gambar 3. Letak pengambilan potongan spesimen

### Pengujian Kekerasan

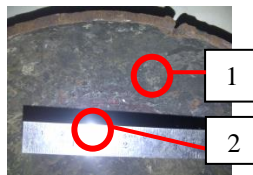
Pengujian kekerasan bertujuan untuk melihat perubahan atau perbedaan nilai kekerasan pada pipa spesimen dengan standar ASTM A 234 (Gambar 3).



**Gambar 4.** *Hardness Brinell Test*

Benda spesimen uji harus dipotong terlebih dahulu berukuran 1 x 1 cm. Spesimen uji yang telah dipotong tidak bisa langsung di uji kekerasan karena masih ada kerak yang menempel pada dinding, selain itu permukaan dari spesimen harus rata di kedua sisinya agar nilai kekerasannya lebih akurat. Untuk pengujian kekerasan ini menggunakan metode Rockwell yang nilainya dapat dikonversi ke nilai kekerasan Brinell. Dengan menggunakan metode ini akan lebih mudah untuk mendapatkan nilai kekerasan yang diinginkan.

Letak pengambilan specimen seperti pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Letak pengambilan potongan spesimen; (1) Berjarak  $\pm 15$  cm dari retakan, (2) daerah retakan

### Pengujian Struktur Mikro

Pengujian stuktur mikro ini bertujuan ntuk membandingkan struktur mikro dari pipa yang bejarak 15 cm dari retakan dengan yang berada pada daerah retakan dengan menggunakan mikroskop optik seperti pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Mikroskop optik

Sampel diampelas hingga permukaan datar dan halus dengan menggunakan amplas halus dan dipoles sampai permukaan sampel terlihat mengkilap. Setelah siap, sampel terlebih dahulu dietsa menurut jenis material dan dilakukan pengamatan mikrostruktur dengan mikrostruktur optik. Hasil dari pengujian metalografi adalah foto Mikrostruktur dengan perbesaran tertentu, sehingga diperoleh informasi kualitatif tentang bentuk struktur yang terdapat dalam masing-masing material. Letak pengambilan potongan spesimen seperti pada Gambar 5.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyajian data pengujian dibagi menjadi 4, yaitu pengamatan visual, pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan dan foto struktur mikro.

#### Pengamatan visual

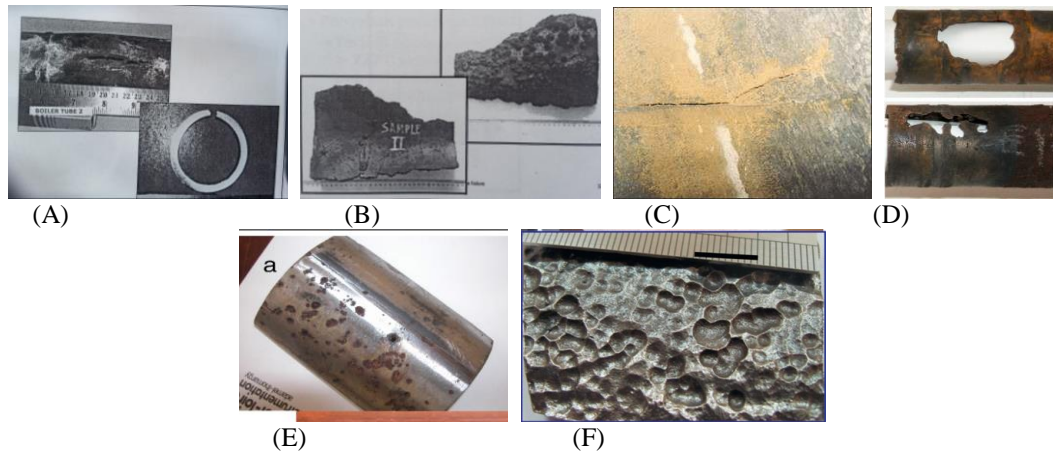
Langkah awal untuk menentukan kerusakan dalam analisa kegagalan adalah pengamatan visual karena dengan melihat bentuk kerusakannya akan bisa didapatkan hipotesa awal sebagai dasar untuk menentukan langkah yang akan diambil selanjutnya.

Bila dilihat secara visual, dari Gambar 7, pada pipa ini terdapat *crack* sepanjang  $\pm 9$  cm pada bagian dinding pipanya. Pipa ini mengalami keretakan hingga minyak yang ada dalam pipa merembes keluar. Hal ini menyebabkan minyak yang mengalir di dalamnya bocor sehingga merembes keluar.



**Gambar 7.** Retakan tampak pada bagian dalam dan luar pipa

Untuk mengkerucutkan dugaan, dilakukan perbandingan dengan contoh kegagalan lain (Gambar 8).



**Gambar 8.** Contoh jenis kegagalan; (A) *Creep*, (B) Oksidasi, (C) *Thermal fatigue*, (D) Korosi, (E) *Pitting corrosion*, (F) Kavitasi

Dari kondisi operasional yang bekerja secara terus menerus, secara visual yang bentuk kegagalannya mirip dengan spesimen uji adalah *creep* dan *thermal fatigue*.

#### Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jenis pipa yang digunakan sesuai standar spesifikasi ASTM A 234 atau tidak. Dari Tabel 1, menunjukkan perbandingan material A 234 menurut standar ASTM dengan komposisi kimia spesimen uji.

**Tabel 1.** Perbandingan komposisi kimia

	Material Uji %	Komposisi standar %
Fe	98.6	-
C	0.141	0.30 Max
Mn	0.546	0.29 – 1.06
P	0.0208	0.050 Max
S	0.0071	0.058 Max
Si	0.212	0.10 Min
Cr	0.0388	0.40 Max
Mo	0.0328	0.15 Max
Ni	0.0072	0.40 Max
Co	0.0222	0.40 Max
V	0.0127	0.08 Max

Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa material pipa yang mengalami kegagalan merupakan jenis baja yang umum dipakai pada aplikasi temperatur tinggi. Jenis material tersebut sesuai dengan komposisi kimianya masuk dalam spesifikasi ASTM A 234.

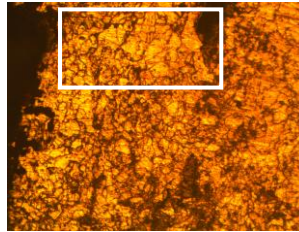
#### Analisa Retak Makrografi dan Mikrografi

Pengamatan makrografi dilakukan dengan tujuan untuk melihat bentuk patahan yang terjadi pada daerah retakan seperti pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Hasil uji gambar makro pada spesimen daerah retakan

Dari hasil pengamatan makro dengan menggunakan mikroskop optik menunjukkan adanya retakan yang merambat. Sampel foto diambil pada bagian ujung retakan yang terdapat daerah bagian paling ujungnya (Gambar 10).



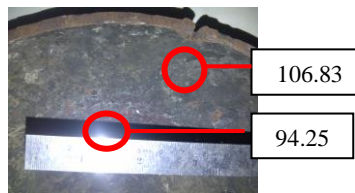
**Gambar 10.** Hasil uji gambar mikro pada spesimen daerah retakan

Bentuk patahan *ductile* adalah *transgranular* (perpatahan tidak pada batas butir) dan biasanya terlihat pemanjangan dan *necking* [2]. Pada Gambar 3 terlihat bahwa retakan terjadi tidak pada batas butir yang menandakan bahwa perpatahan ini adalah *transgranular* yang menunjukkan bahwa kegagalan yang terjadi adalah salah satu bentuk akibat dari *creep*. Tampak juga ada perubahan struktur butir pada daerah retakan yang mengalami pembesaran, yang bisa menyebabkan pelunakan pada spesimen uji.

### Pengujian Kekerasan

Untuk menunjukkan terjadinya pelunakan, maka dilakukan uji kekerasan di dua tempat, yaitu; pada daerah yang retak dan  $\pm 15$  cm dari daerah retakan (Gambar 5). Pengujian kekerasan Brinell ini menggunakan uji kekerasan Rockwell yang hasil nilainya dikonversikan dari HRA ke HB. Pada penelitian ini menggunakan pembebanan sebesar 60 kgf dengan waktu pembebanan selama 30 detik.

Dari hasil pengujian (Gambar 11) ini didapatkan penurunan yang signifikan nilai kekerasan pada perbandingan spesimen yang berjarak  $\pm 15$  cm dengan yang ada di daerah *crack*. Dalam hal ini ditemukannya fenomena pelunakan pada pipa yang kemungkinan terjadi akibat panas yang berlebih pada saat beroperasi yang mengakibatkan struktur mikro mengalami perubahan bentuk menjadi lebih besar.



**Gambar 11.** Perbandingan nilai kekerasan dalam HB

Dari uji kekerasan, didapatkan penurunan yang signifikan nilai kekerasan pada perbandingan spesimen yang berjarak  $\pm 15$  cm dengan yang ada di daerah *crack* (Gambar 11). Dalam hal ini ditemukannya fenomena pelunakan pada pipa yang kemungkinan terjadi akibat panas yang berlebih pada saat beroperasi.

Dengan hasil data yang diperoleh dari uji kekerasan ini bisa ditarik hipotesa bila suhu temper semakin tinggi maka baja akan mempunyai sifat kekerasan dan kekuatan tarik yang semakin menurun, sedangkan keuletan dan kekenyalan akan meningkat. [3]

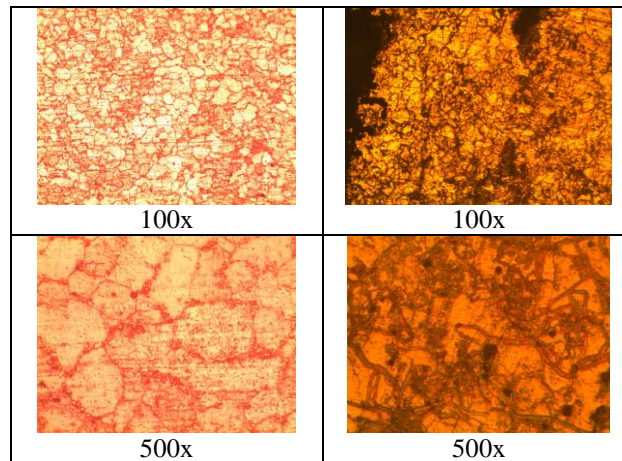
Bisa juga diakibatkan karena pada saat operasi, pipa pada bagian luarnya langsung bersentuhan dengan api, temperatur pipa naik dengan sangat cepat dan mengakibatkan perbedaan yang cukup besar pada temperatur dalam yang menyebabkan retaknya pipa pada bagian luar yang merambat kedalam. [4]

Dari hasil uji kekerasan ini menunjukkan adanya pengurangan kekerasan atau terjadi pelunakan. Pelunakan ini dapat terjadi karena adanya perubahan butir dan/atau terjadinya perubahan fasa.

### Analisis Struktur Mikro pada Pipa

Untuk memperkuat data bahwa spesimen pipa mengalami perubahan fasa dan struktur butir, maka dilakukan pengujian mikroskop optik. Uji mikroskop optik digunakan untuk mengetahui gambar struktur mikro spesimen.

Struktur Mikrografi	
Jauh dari retakan	Daerah retakan



**Gambar 12.** Perbandingan struktur mikro perbesaran 100x dan 500x

Dari hasil struktur mikro Gambar 12, terlihat bahwa terjadi perubahan struktur butir pada daerah terjadinya retakan. Struktur butirnya mengalami pembesaran yang menyebabkan pelunakan pada bagian retakannya. Hal ini dikarenakan temperatur operasi yang tinggi secara terus menerus.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil analisa kegagalan saya adalah sebagai berikut:

- 1) Material pipa yang digunakan merupakan material ASTM A 234 setelah dilakukan pemeriksaan pada data analisa material yang digunakan dan hasil pengujian komposisi kimia yang dibandingkan dengan standar ASTM.
- 2) Kegagalan yang terjadi pada material *elbow-180°* dipicu oleh adanya *creep* yang terjadi pada bagian material yang terdegradasi dan menyebabkan *mikrocrack* yang kemudian akibat kondisi operasional lebih lanjut tumbuh menjadi *crack*.

#### 5. REFERENSI

- [1] <http://polmanceper.ac.id/pelayanan-pengujian/>. (13/11/2013)
- [2] Wulpi, D.J. 1985. “*Understanding how Components Fail.Metals*”. Park, Ohio 44073.
- [3] Haryadi, G.D. 2005. “Pengaruh Suhu Tempering terhadap Kekerasan Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik pada Baja K-460”. Teknik Mesin FT-UNDIP.
- [4] Yue, Zhong. 2012. “*Analysis of Coated-after Superheater Pipe Bursting Accident in Utility Boiler*”. Beijing 100070, China.