

## Studi Kelayakan Operasi Pipa *Furnace A335 P5* Menggunakan Metode *Fitness for Services*

Pratiwi DK<sup>a,1\*</sup>, Karuana, Feri<sup>2, b</sup> dan Farizal SH<sup>3,c</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya  
Jl. Raya Palembang–Prabumulih, KM. 32, Indralaya, Sumatra Selatan, 30662  
Email: [\\*pratiwi.diahkusuma@yahoo.com](mailto:pratiwi.diahkusuma@yahoo.com)

### Abstrak

Pipa *furnace A335 P5* berada dalam sistem konstruksi *furnace* yang dioperasikan pada temperatur 400 °C. Pipa ini telah dioperasikan selama 20 tahun dan secara visual telah mengalami kerusakan, namun pergantian pipa belum dilakukan disebabkan belum tersedianya pipa pengganti. Hal tersebut yang memaksakan pipa tetap harus dioperasikan pada kondisi yang kurang memadai. Oleh karena itu, studi kelayakan operasi pipa *furnace* harus dilakukan guna menghindari kecelakaan yang tidak diinginkan. Studi kelayakan operasi ini dilakukan dengan metode *fitness for services* berdasarkan API 579. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan data aktual tentang kelayakan operasi pipa *furnace A335 P5*. Berdasarkan hasil pemeriksaan laboratorium, strukstur mikro pipa menunjukkan telah terjadi korosi merata dan terbentuknya grafit pada permukaan luar dan batas butir yang disebabkan pengendapan karbon karena pipa beroperasi pada temperatur tinggi. Sifat mekanis pipa masih dalam kriteria spesifikasi standar baja feritik A 335 P5, dimana kekuatan tarik pipa minimum sebesar 415 MPa dan kekuatan luluh pipa minimum sebesar 205 Mpa. Besarnya kekuatan aktual ditunjukkan oleh nilai kekerasan yaitu sebesar 128 HVN setara dengan 409 Mpa, namun ketebalan pipa telah mengalami perubahan yang cukup signifikan yaitu sebesar 6,16 mm. Berdasarkan hasil penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa untuk pipa *furnace* sudah tidak layak untuk dioperasikan. Hal ini ditunjukkan berdasarkan perhitungan rasio ketebalan dan parameter ketebalan sesuai standar API 579 *fitness for services* berdasarkan *local metal loss* telah menunjukkan bahwa kriteria cacat tidak dapat diterima. Dan dari hasil pengujian kekerasan nilai kekuatan aktual pipa telah berada dibawah nilai minimum standar material. Untuk terhindar dari kecelakaan yang fatal maka direkomendasikan agar dilakukan pergantian terhadap pipa *furnace A335 P5* dengan baru.

**Kata kunci:** *pipa, kelayakan operasi, korosi, temperatur tinggi*

### Latar belakang

Di Indonesia banyak peralatan industri, yang telah dioperasikan dalam kurun waktu yang cukup lama, salah satu nya adalah *furnace*. Komponen ini beroperasi pada temperatur yang tinggi dan harus beroperasi dengan aman karena kecelakaan pada industri-industri tersebut akan berakibat kerugian yang besar.

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan data yang akurat dari material pipa *furnace* apakah secara teknis masih layak/handal atau sudah tidak mungkin untuk dioperasikan sehingga harus dilakukan pergantian dengan material pipa yang baru.

### Metode Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pemeriksaan pada pipa *furnace* dengan menggunakan metode *fitness for services*. Metode yang dilakukan adalah dengan melakukan pengujian perubahan ketebalan, pemeriksaan metalografi, uji

keras, dan uji tarik. Hasil pengujian ini kemudian dibandingkan dengan kondisi standarnya.

### Analisa Data dan Pembahasan

**Data Teknis.** Guna mengkaji kelayakan operasi material pipa *furnace*, hasil pengujian akan dibandingkan dengan literatur yang ada. Adapun data teknis dan data operasi dari pipa *furnace* dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data Teknik

Data Teknis <i>Pipa Furnace</i>	
Material	ASTM A 335 P5
Tipe Pipa	<i>Seamless Pipe</i>
Tebal awal	8.79 mm
Diameter luar	152.4 mm
Corrosion Allowance	1.6 mm
Temperatur Desain	450 °C
Temperatur Operasi	350 °C
Tekanan Desain	1.3 Mpa
Tekanan Operasi	1.3 Mpa
Tahun Mulai	1989
Operasi	
Fluida	<i>Crude oil</i>

Tabel 2. Data Operasi

Periode Operasi	Tekanan Desain (MPa)	Tubes Metal Temperatur Desain (°C)
1	1.3	350,00
2	1.3	450,00 <sup>(a)</sup>

<sup>(a)</sup> Temperatur desain

**Pengamatan Secara Visual.** Hasil pengamatan secara visual pada pipa-pipa *furnace* menunjukkan bahwa di permukaan beberapa pipa tersebut telah mengalami panas yang terlokalisir (*hot spot*) yang ditandai dengan pembentukan *slag* seperti yang terlihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

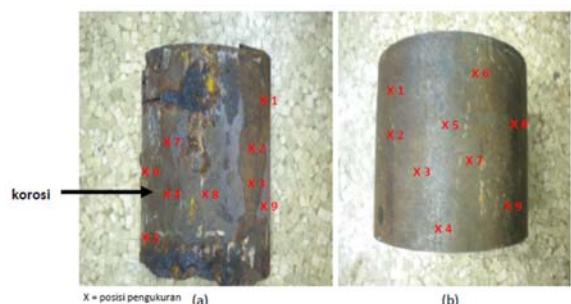


Gambar 1. Kondisi pipa *furnace* (diambil pada Senin, 25 November 2013).



Gambar 2. Pipa *furnace* saat pemeriksaan visual (diambil pada Senin, 25 November 2013).

**Pengujian Ultrasonik.** Hasil pengukuran ketebalan didapatkan nilai ketebalan komponen dengan *range* 6.16 - 8.82 mm. Lebih jelasnya hasil dari pengukuran ketebalan dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 3. (a) Potongan sampel pipa *furnace* (lama), (b) Potongan sampel pipa *furnace* (baru) (diambil pada Senin, 2 Desember 2013).

Tabel 3. Hasil Pengukuran Ketebalan

NO	Sampel Lama (a)	Sampel Baru (b)
1	6.59	8.58
2	6.38	8.46
3	6.33	8.10
4	6.61	8.53
5	6.37	8.31
6	6.16	8.82
7	6.42	8.82
8	6.63	8.44
9	7.60	8.76

Perubahan ketebalan tersebut diatas digunakan untuk mengetahui laju pertumbuhan korosi di dalam pipa.

$$Cr = tn - ta / \text{Umur} \quad (1)$$

$$Cr = 8.79 - 6.16 / 24 \text{ tahun}$$

$$Cr = 0.10 \text{ mm / tahun}$$

Perhitungan besarnya tegangan ring dan tegangan longitudinal saat pipa difungsikan dihitung dengan menggunakan tekanan dalam pipa. Tekanan operasional pipa *furnace* yaitu sebesar 13 kgf/cm<sup>2</sup> atau 1.3 Mpa, maka tegangan ring dan tegangan longitudinal yang terjadi adalah:

$$\sigma_h = (P \times D) / 2t \quad (2)$$

$$\sigma_i = (P \times D) / 4t \quad (3)$$

Hasil perhitungan tegangan pada pipa *furnace* menunjukkan bahwa pipa masih cukup aman untuk di operasikan pada tekanan kerja 1.3 Mpa karena tegangan ring dan longitudinal yang terjadi pada pipa *furnace* sebesar 16.08 Mpa dan 8.25Mpa masing-masing berada pada posisi 7.84 % dan 4.02 % dari yield stress. Pipa *furnace* ASTM A335 P5 ini memiliki nilai kekuatan luluh minimum 205 Mpa dan kekuatan tarik minimum 415 Mpa.

**Pengujian Metalografi.** Pemeriksaan struktur mikro pada material pipa *furnace* menunjukkan bahwa struktur mikro terdiri atas ferit dan bainit. Selain itu pada batas butir telah terdapat grafit yang cukup jelas.



Gambar 4. Struktur mikro sampel pipa *furnace* di bagian permukaan luar (*outside area*) perbesaran 100X (diambil pada Jumat, 4 Desember 2013).



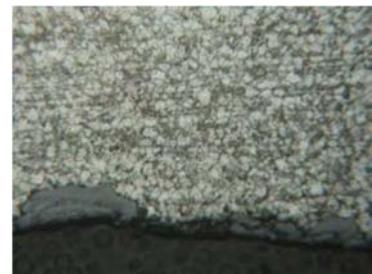
Gambar 5. Struktur mikro sampel pipa *furnace* di bagian permukaan luar (*outside area*) perbesaran 200X (diambil pada Jumat, 4 Desember 2013).



Gambar 6. Struktur mikro sampel pipa *furnace* di bagian permukaan tengah (*core area*) perbesaran 100X (diambil pada Jumat, 4 Desember 2013).



Gambar 7. Struktur mikro sampel pipa *furnace* di bagian permukaan tengah (*core area*) perbesaran 200X (diambil pada Jumat, 4 Desember 2013).



Gambar 8. Struktur mikro sampel pipa *furnace* di bagian permukaan dalam (*inside area*) perbesaran 100X (diambil pada Jumat, 4 Desember 2013).



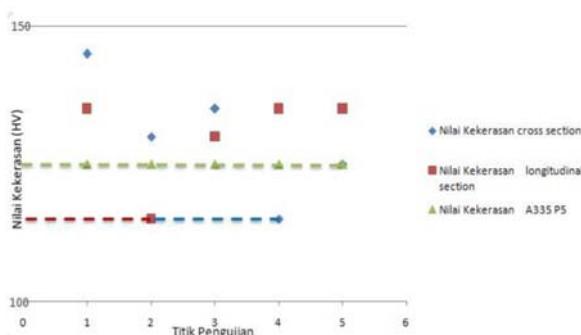
Gambar 9. Struktur mikro sampel pipa *furnace* di bagian permukaan dalam (*outside area*) perbesaran 200X (diambil pada Jumat, 4 Desember 2013)

**Pengujian Kekerasan.** Uji kekerasan dilakukan terhadap potongan melintang (cross section) dan memanjang (longitudinal section) dari bahan sampel pipa *furnace* diperoleh data untuk masing-masing bagian dari sampel seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Kekerasan

No.	Sampel	Kekerasan (HV)	No	Sampel	Kekerasan (HV)
1.	<i>Cross section</i>	134	1.	<i>Longitudinal section</i>	132
2.		131	2.		128
3.		132	3.		131
4.		128	4.		132
5.		130	5.		132

Di lihat dari tabel di atas jika nilai kekerasan di konversikan ke nilai kekuatan material, maka besar nilai kekuatan bahan di dapat 409 Mpa. Sedangkan nilai kekuatan minimal dari material A335 P5 sesuai dengan standar ASTM sebesar 415 Mpa atau setara dengan 130HV.

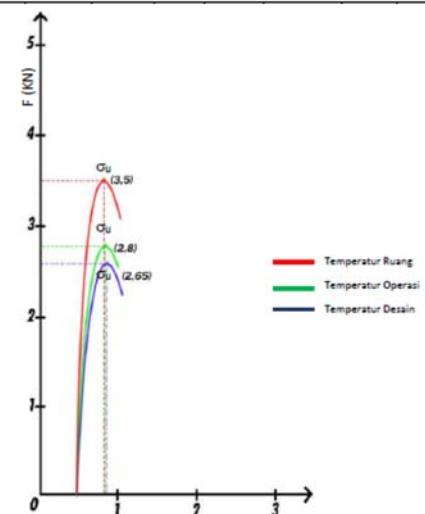


Gambar 10. Perbandingan nilai kekerasan *Vickers* kondisi aktual dengan nilai kekerasan standar material.

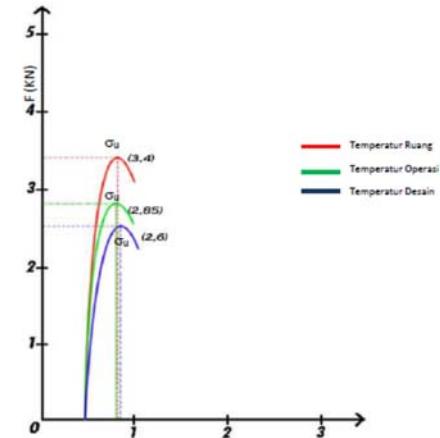
**Pengujian Tarik.** Hasil uji tarik terhadap sampel pipa *furnace* menunjukkan dapat dilihat dalam Tabel 5

Tabel 5. Hasil Uji Tarik

No	Dimensi (mm)	Ao (mm <sup>2</sup> )	Fe (kN)	Fm (kN)	$\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\varepsilon$ (%)	Keterangan
Do	L						
1	2,92	49,54	6,69	-	3,50	523	8,09 Temp. Ruang
2	2,80	48,19	6,15	-	3,40	552	6,24 Temp. Ruang
3	2,86	49,52	6,42	-	2,60	405	4,90 Temp. 450° C
4	2,99	49,57	7,02	-	2,65	378	8,71 Temp. 450° C
5	3,03	50,62	7,21	-	2,85	395	3,04 Temp. 350° C
6	2,99	46,39	7,02	-	2,80	399	7,41 Temp. 350° C



Gambar 11. Hasil uji tarik pada sampel *furnace* 1 (30°C), 6 (350°C), dan 4 (450°C).



Gambar 12. Hasil uji tarik pada sampel *furnace* 2 (30°C), 5 (350°C), dan 3 (450°C).

Banyaknya faktor yang mempengaruhi kondisi operasi pipa antara lain adalah tidak konstannya kondisi operasi (tekanan dan temperatur) sehingga dalam pertimbangan memperhitungkan kekuatan pipa harus memasukkan faktor keamanan (safety factor) yang besarnya 3. Hasil tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Uji Tarik Temperatur Material A335 P5 (ASME B31.3)

Sampel	Temperatur (°C)	Allowable Stress (Mpa)
Literatur (Minimum)	450	86.18
III	450	135
IV	450	126
Literatur (Minimum)	350	113.07
V	350	131
VI	350	133

Tabel 7. Nilai Kekuatan Tarik dan Luluh

Kekuatan tarik	min. 60	Ksi
	min. 415	MPa
Kekuatan luluh	min. 30	Ksi
	min. 205	MPa

Dengan nilai kekuatan tarik yang berada di bawah nilai standar dan juga nilai kekerasan yang cukup merata dari permukaan luar dan dalam pipa benda uji yang tidak baik, maka material / bahan pipa *furnace* ini tidak layak untuk difungsikan sebagai pipa *furnace*.

**Pengkajian Kelayakan Operasi (Fitness For Services) Pipa Furnace.** Pada sampel pipa *furnace* telah di temukan adanya korosi yang telah mempengaruhi nilai ketebalan pipa.

Menurut literatur (API 579) korosi merupakan proses degradasi atau perusakan material yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan dan disekitarnya yang dapat menyebabkan penurunan kekuatan material. Oleh karena itu diperlukan pengkajian kelayakan operasi menggunakan API 579 section 5 yang merupakan pengkajian kelayakan operasi terhadap adanya korosi yaitu *Local Metal Loss*.

Pada pipa *furnace* telah didapatkan nilai ketebalan minimum dari hasil pengukuran ketebalan yaitu 6.16 mm. Dimana telah mengalami penipisan yang cukup signifikan dari ketebalan minimum material. Berdasarkan hasil pengukuran dimensi cacat dimana cacat yang terjadi akibat korosi merata yang menyebabkan penipisan ketebalan di daerah cacat masing-masing memiliki nilai dimensi *longitudinal* (s) sebesar 100 mm dan dimensi *circumferential* (c) sebesar 72.2 mm.

#### Perhitungan Rasio Ketebalan (R<sub>t</sub>)

$$R_t = (t_{mm} - FCA) / t_{min} \quad (3)$$

#### Perhitungan Parameter Ketebalan ( $\lambda$ )

$$\lambda = (1,285 s) / \sqrt{(D_{in} t_{min})} \quad (4)$$

Berdasarkan hasil perhitungan rasio ketebalan dan parameter ketebalan masing-masing memiliki nilai  $R_t = 0.51$  dan  $\lambda = 3.61$ . Jika nilai keduanya dimasukkan kedalam kurva *criteria for local metal loss* (lihat kurva terlampir), kondisi aktual pipa berada pada posisi *unacceptable* yang berarti pipa *furnace* saat ini tidak layak untuk dioperasikan dan perlu untuk pergantian pipa (*repiping*).

#### Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka di peroleh kesimpulan :

1. Kondisi visual permukaan pipa *furnace* dinilai sudah kurang layak untuk dioperasikan pada kondisi optimum karena pada permukaan pipa telah mengalami degradasi akibat terekspos pada temperatur yang cukup tinggi dan di permukaan pipa telah mengalami penurunan ketebalan yang cukup signifikan.
2. Berdasarkan hasil pemeriksaan metalografi sampel pipa *furnace* terlihat bahwa struktur mikro bahan pipa berupa ferit dan bainit yang cukup baik, dimana terdapat grafit yang cukup jelas di permukaan luar dan batas butir dipermukaan dalam pipa juga terlihat bahwa telah mengalami proses kerusakan akibat korosi merata atau seragam (*general corrosion*) yang cukup signifikan.
3. Hasil dari data kekerasan *vickers* diperoleh bahwa pada spesimen uji pipa *furnace* memiliki nilai kekerasan *vickers* yang lebih rendah yaitu 128 VHN, sedangkan nilai kekerasan *Vickers* pada pipa *furnace* A335 p5 mencapai 130 VHN.
4. Berdasarkan metode *fitness for services* pada pipa *furnace* A335 P5 yang hanya memiliki ketebalan 6.16 mm sudah tidak layak untuk dioperasikan kembali dan perlu adanya pergantian pipa.

## Referensi

- [1] Amri Nizhamul, Ulil. 2008. *Pengkajian Kelayakan Operasi dan Sisa Umur Pakai Komponen Plenum Regenerator Fluid Catalytic Cracking*. Universitas Indonesia.
- [2] API Recommended Practice 579, *Fitness-For-Service*, Washington, D.C., 1978
- [3] API Standard 530. 1996. *Calculation of heater tube thickness in petroleum refineries*, 5th ed., American Petroleum Institute, Washington, D.C.
- [4] ASME Section II.2004. *Boiler and Pressure Vessel Code*. Three Park Avenue, New York.
- [5] Budi Utomo, 2009. *Jenis Korosi dan Penanggulangannya*. Jurnal Teknik Kapal, Vol. 6, No.2, Juni 2009. Universitas Diponegoro.
- [6] Fajar Sidiq, Muhammad. 2013. *Analisa Korosi dan Pengendaliannya*. *Journal Foundry* Vol. 3 No. 1 April 2013 ISSN : 2087-2259. Universitas Sumatera Utara.
- [7] Francis Wildy, *Journal Fired Heater Optimization, AMATEK Process Instruments, Pittsburgh*, 2011.
- [8] G Antaki, 2003, *Piping And Pipeline Engineering, Design, Construction, Maintenance, Integrity And Repair*, Marcel Dekker.
- [9] George E. Dieter, 1988. *Mechanical Metallurgy*, University of Maryland, McGraw-Hill Company. Grinell Second Edition , 1963 , *Piping Design and Engineering*, USA.
- [10] James J. Scutti, 2004, *Failure Analysis and Prevention, Introduction to Failure Analysis and Prevention - ASM International - Handbook*, Vol.11.
- [11] M. Syahril. 2009. *Assesment of Underground Pipeline with Computerized Potential Logger for West Trunk-line 8 Inch - Wunut - Sidoarjo*.
- [12] Port, Robert D. 1991 *The Nalco guide to boiler failure analysis / the Nalco Chemical*.McGraw-Hill Book.
- [13] Timothy Hill, Koch Refining, Pine Bend, MN, 2000, *Journal Heater Tube Life Management, National Petroleum Refiners Association Plant Maintenance Conference*, May 22-25.