

PENGUJIAN STRUKTUR MIKRO DAN MEKANIK PADA PIPA KETEL UAP SEBELUM DAN SESUDAH PEMAKAIAN SELAMA 10 TAHUN

Habibi Santoso

Program Studi Teknik Industri, Universitas Indraprasta PGRI

Email: habibisantoso@yahoo.com

Abstrak

Jurnal ini bertujuan untuk mengetahui kualitas dan sifat mampu las dari pipa ketel uap yang masih baik dan setelah pemakaian selama 10 tahun. Sebagai acuan perbaikan sementara pada pipa ketel uap yang mengalami kebocoran. Langkah yang dilakukan adalah membandingkan hasil pengujian sifat mekanik dan struktur mikro dari kedua jenis pipa tersebut. Parameter yang digunakan adalah kekerasan, kekuatan tarik dan struktur mikro dari kedua jenis pipa. Hasil pengujian pada pipa yang baik nilai kekerasan rata-rata sebesar 148 HV sedangkan pada pipa yang rusak nilai kekerasan rata-rata sebesar 118 HV terjadi penurunan sebesar 30 HV. Pengujian tarik pada pipa yang baik nilai kekuatan tarik sebesar 50 kg/mm² (490 MPa), pada pipa yang rusak nilai kekuatan tarik sebesar 40 kg/mm (392 MPa), terjadi penurunan sebesar 10 kg/mm (98 MPa). Hasil pengujian struktur mikro pipa yang baik terdiri dari struktur ferit dan perlit sedangkan pada pipa yang rusak terdiri dari fasa ferit. Sesuai dengan hasil pengujian kekerasan dimana fasa ferit dan perlit lebih keras dibandingkan dengan fasa ferit. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa pipa yang setelah pemakaian selama 10 tahun mengalami penurunan sifat mekanik yaitu : kekerasan dan kekuatan tarik. Ini akibat dari penipisan tebal dinding akibat korosi.

Kata Kunci : Pengujian, pipa, las, ketel uap

Abstract

This journal aims to determine the quality and nature of the weldability of boiler pipes are still good and after use for 10 years. As a reference temporary repairs to a pipe leaking boiler. Steps to be done is to compare the test results of mechanical properties and microstructure of both types of the pipe. The parameters used are hardness, tensile strength and microstructure of both types of pipe. The test results on the pipe that is good value average hardness of 148 HV, while the broken pipe an average hardness value of 118 HV a decline of 30 HV. Tensile tests on pipes that are good value tensile strength of 50 kg / mm² (490 MPa), the broken pipe grades tensile strength of 40 kg / mm (392 MPa), a decline of 10 kg / mm (98 MPa). The test results are good pipe microstructure consisting of ferrite and pearlite structure while at the broken pipe consisting of ferrite phase. In accordance with the results of hardness testing in which the phase of ferrite and pearlite harder than the ferrite phase. The final conclusion is that the pipeline after use for 10 years has decreased mechanical properties, namely: hardness and tensile strength. This is a result of the depletion of the wall thickness due to corrosion.

Keywords: Testing, plumbing, welding, boiler

Pendahuluan

Perkembangan teknologi dewasa ini semakin hari semakin canggih. Salah satunya teknologi mesin ketel uap banyak sekali digunakan untuk pembangkit listrik maupun industri. Didalam mesin ketel uap terdapat pipa ketel uap yang berfungsi mentransfer kalor dari panas api burner melalui dinding pipa kesisi air sehingga air menjadi uap. Pipa ketel uap tersebut mengalami kerusakan pada sisi belakang ketel, yaitu pada sambungan press bending antara pelat dan pipa terjadi kebocoran hampir 50 persen dari 182 pipa api.

Ketel uap tersebut beroperasi selama 10 tahun dan terjadi kerusakan 3 kali. Pada kerusakan pertama dan kedua dapat diatasi dengan bending ulang (*rebending*) namun pada kerusakan/kebocoran tiga kali diperbaiki dengan *rebending* masih tetap bocor lagi setelah dioperasikan satu minggu, sehingga diambil alternatif penanganan lain yaitu dengan cara pengelasan. Oleh karena itu sebelum langkah penanganan tersebut akan dilakukan pengujian pada material pipa ketel uap yang membandingkan antara hasil pengujian pada pipa yang baik dan yang telah dipakai selama 10 tahun setelah dilakukan pengelasan sebagai acuan untuk tindakan perbaikan sementara.

Jenis baja dari pipa ketel tersebut yaitu baja karbon rendah dengan spesifikasi KS D3563 STBH340 karena mempunyai kekuatan yang cukup tinggi dan mampu menerima tekanan kerja dan temperatur kerja uap 400°-700° C maka digunakan untuk pipa ketel uap (*boiler tube*). Penelitian kerusakan dilakukan terhadap sebuah pipa ketel uap (gambar 1 dan gambar 2) dari sebuah pabrik di Jakarta Utara. Pada gambar 1 diperlihatkan gambar bagian dalam pipa yang terkorosi oleh endapan yang terjadi dari air ketel yang tidak memenuhi syarat, gambar 2 memperlihatkan *creep* (mulur) yang terjadi pada permukaan luar pipa akibat pemanasan berlebih (*overheating*).

Untuk pipa ketel uap yang baik dibuat dari baja karbon rendah dengan struktur ferit dan perlit. Untuk perhitungan jangka panjang suhu maksimum pengoperasiannya didesain mencapai 400°C. Pada suhu tersebut diharapkan baja karbon rendah belum mengalami proses rekristalisasi dan karenanya dapat terhindar dari *creep* atau ketidakstabilan metalurgi lainnya (Adnyana, 2007). Akan tetapi karena sesuatu hal dalam pengoperasiannya, pipa ketel uap dapat mengalami overheating yang bersifat lokal dimana suhunya dapat mencapai diatas suhu maksimum. Apabila suhu overheating tersebut mencapai 450-700° C, maka kejadiannya dikategorikan *long term overheating*, sedangkan bila suhu overheatingnya mencapai diatas 700° C, maka peristiwa tersebut dikategorikan sebagai *short term overheating*. Kejadian *long term overheating* biasanya ditandai dengan terbentuknya sperodisasi karbida dan karbida serta sejumlah *creep cavitations*. Sedangkan pada kejadian *short term overheating*, karena suhunya mencapai diatas suhu transformasi, maka struktur baja pipa ketel uap akan mengalami transformasi menjadi campuran ferit dan austenit. Pembentukan fasa austenit diikuti dengan penurunan kekuatan baja yang sangat drastis, sehingga seketika itu pipa ketel uap akan pecah. Pecahnya pipa ketel uap, mengakibatkan uap yang bercampur air akan menyembur keluar dan langsung membasahi/mendinginkan bagian pipa yang sebelumnya pernah mencapai suhu 750 s/d 850° C sehingga fasa austenit akan bertransformasi menjadi struktur bainit/martensit yang memiliki nilai kekerasan yang jauh lebih tinggi (Adnyana, 2007)



Gambar 1. Pipa Ketel Uap Telah di Pakai Selama 10 Tahun yang Korosif



Gambar 2. Pipa Ketel Uap Yang Telah di Pakai Selama 10 yang Mengalami Creep

Tinjauan Pustaka

Baja dan Paduan Baja

Baja adalah paduan yang paling banyak digunakan manusia, jenis dan bentuknya sangat banyak. Karena penggunaannya Sangat luas maka dibuat klasifikasi baja menurut keperluan masing-masing. Baja adalah paduan besi dan karbon dengan sedikit unsur lain disebut juga baja karbon (tabel 1). Bila baja ini mengandung unsur lain dalam jumlah cukup besar sehingga akan menambah sifat mekaniknya maka baja itu dinamakan baja paduan (tabel 2.)

Sebenarnya yang mempengaruhi sifat baja bukanlah kadar karbon atau paduannya sendiri tetapi yang lebih penting adalah struktur mikronya. Baja dengan komposisi kimia sama dapat mempunyai sifat yang sangat berbeda bila struktur mikronya berbeda. Perbedaan ini dapat terjadi pada struktur mikro akibat proses perlakuan panas yang dialaminya. Sedangkan baja khusus, berkualitas tinggi yang dipakai untuk membuat perkakas perautan (*cutting*) maupun pembentukan (*forming*), disebut baja perkakas (*tool steel*), dalam tulisan ini akan dibahas lebih dalam.

Tabel 1. Klasifikasi Baja Karbon dan Penggunaannya (Higgins, 1993)

Type of Steel	Percentage Carbon	Uses
Low Carbon Steel	Dead Mild	0.05-0.15 Chain, stamping, rivets, wire, nail, seam-weld pipes, hot and cold-rolled strip for many purpose
	Mild	0.10-0.20 Structural steel, screw, machine parts, tin plate, case hardening, drop forgings, stampings
		0.20-0.30 Machine and structural works, gears, free-cutting steels, shafting, lever, forgings
Medium Carbon	0.30-0.40	Connecting rods, shaftings, wire, axle, fish plates, crane, hooks, high-tensile tube, forgings
	0.40-0.50	Crankshafts, axles, gears, shafts, die-blocks, rotors, tyres, heat treated machine parts
	0.50-0.60	Loco tyres, rails, laminated springs, wire ropes
High carbon	0.60-0.70	Drop-hammer, dies, screw drivers, saws, mandrels, hollow drills
	0.70-0.80	Band saw, anvilface, hammer, wrenches, laminated springs, car bumpers, small forgings, cable wire, dies
	0.80-0.90	Cold chisel, shear blades, punches, rock drills, some hand tools
Tool steels	0.90-1.00	Springs, high tensile wire, axes, knives, dies
	1.00-1.10	Drill, tap, milling cutters, knives, screwing dies
	1.10-1.20	Ball bearing, dies, drills, lathe tools, woodworking tools
	1.20-1.30	Reamers, knives, broaches, lathe and woodworking tools
	1.30-1.40	Saws, razors, boring and finishing tools, machine parts where resistance to wear is essential

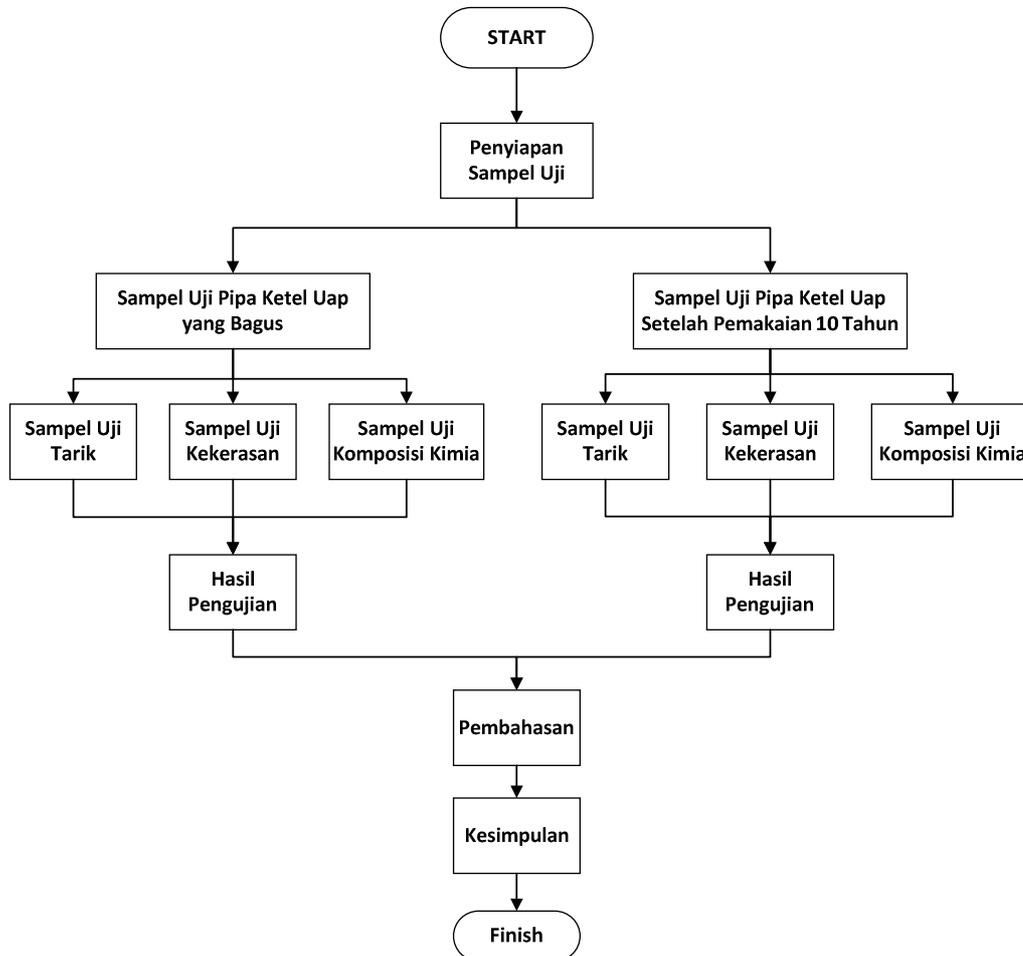
Tabel 2. Klasifikasi Paduan Besi dan Baja Menurut Komposisi Kimia (Adnyana, 1989)

No.	Paduan Besi dan Baja	Komposisi Kimia (dalam % berat)
1.	Besi cor (cast iron) - Besi cor kelabu (grey cast iron) - Besi cor putih (white cast iron) - Besi cor malleable (malleable cast iron)	2-4 % C, 1-3 % Si, 0.80% Mn (maks), 0.10% P (maks) Disamping terdapat perbedaan yang kecil dari segi komposisi, perbedaan sifat-sifat besi cor ditentukan oleh struktur mikro, proses pembuatan atau karena perlakuan panas
2.	Baja karbon (carbon steel) - Baja karbon rendah - Baja carbón menengah - Baja carbón tinggi	0.03-0.35 % C, plus 0.25-1.50 % Mn 0.35-0.50 % C, plus 0.25-0.80 % Si 0.55-1,70 % C, plus 0.04 % P(maks), 0.05 % S
3.	Baja paduan (alloy steel) - Baja paduan rendah - Baja paduan tinggi	Seperti pada baja carbón rendah plus unsur-unsur pepadu kurang dari 4 % seperti : Cr, Ni, Mo, Cu, Al, Ti, V, Nb, B, W, dll Seperti pada baja paduan rendah tetapi jumlah unsur-unsur pepadu diatas 8 %
4.	Baja spesial - Baja stainless - Baja perkakas	a). Feritik (12-13)%Cr dan kadar C rendah b). Martensitik (12-17)%Cr dan (0.1-1.0)%C c). Austenitik (17-25)%Cr, (8-20)%Ni, plus Ti dan Mo d). Duplex (23-30)%Cr, (2.5-7)%Ni, plus Ti dan Mo e). Presipitasi (seperti pada austenitik, plus unsur-unsur pepadu: Cu, Ti, Al, Mo, Nb atau N - General purpose tool steel - Die steel - High speed steel (0.85-1.35) % C, (1.50-2.0) % W, (4-9.5) % Mo, (3-4.5) % V, (5-12) % Co

Metodologi Penelitian

- a) Penyiapan Bahan Untuk sampel Uji
- b) Peralatan Yang Digunakan
 - Servopulser Shimadzu, kapasitas 20 ton
 - Vickers Micro Hardness Testing Machine
 - Wild Photo Macro
 - Optical Emission Spectrometer
 - Olympus Microscope
- c) Metode Penelitian

Untuk memudahkan penyelesaian penelitian maka dibuat diagram alir penelitian yang ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir penelitian

Diagram diatas menggambarkan langkah suatu proses yang dilakukan dalam melakukan metode penelitian sehingga memperoleh hasil dari penelitian yang sesuai dengan literatur pustaka. Langkah-langkah prosesnya berupa yaitu penyiapan sampel uji dengan cara dipotong dan dibentuk sesuai dengan dimensi yang distandartkan untuk pengujian tarik, kekerasan dan komposisi kimia dari kedua jenis pipa. Lalu dilakukan pengujian dengan menggunakan mesin sehingga dihasilkan laporan hasil pengujian yang telah di print. Dari hasil pengujian dilakukan analisa dan dilakukan pembahasan hingga didapatkan kesimpulan hasil pengujian.

Hasil dan Pembahasan

Untuk mendapatkan hasil pengujian yang baik, maka dilakukan beberapa percobaan dan pengujian laboratorium. Tulisan dibawah ini menguraikan mengenai pengujian komposisi kimia, pengujian tarik, pengujian kekerasan, pengujian metalografi.

Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dimaksudkan untuk mendapatkan baja karbon rendah dengan spesifikasi KS D3563 STBH340 sebagai bahan pipa ketel uap (boiler tube). Dari data pengujian dengan alat *optical emission spectrometer* dengan penembakan pada 2 buah sampel uji, sebuah sampel uji yang baik dan sebuah sampel uji yang rusak dengan ukuran sampel uji (50x50)mm². Standar pengujian mengikuti ASTM A751. Hasil pengujian ditampilkan pada tabel 3 dan tabel 4.

Tabel 3. Komposisi Kimia Baja KS D3563 STBH340 Pipa yang Baik

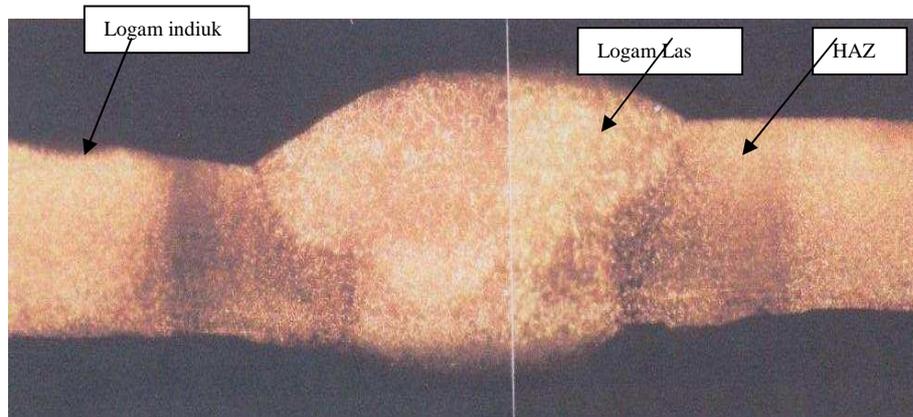
Kode Sampel Uji	C (%)	Si (%)	S (%)	P (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)
Baik	0,248	0,267	<0,005	<0,005	0,417	0,025	0,027
	Mo (%)	Ti (%)	Cu (%)	Nb (%)	V (%)	Al (%)	Fe (%)
	0,007	0,002	0,020	<0,003	0,003	0,010	98,9

Tabel 4. Komposisi Kimia Baja KS D3563 STBH340 Pipa yang Telah di Pakai Selama 10

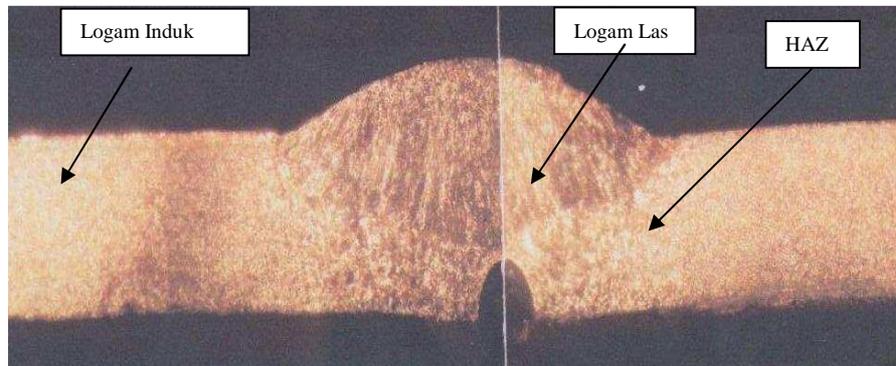
Kode Sampel Uji	C (%)	Si (%)	S (%)	P (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)
Rusak	0,107	0,115	<0,005	<0,005	0,425	0,050	0,030
	Mo (%)	Ti (%)	Cu (%)	Nb (%)	V (%)	Al (%)	Fe (%)
	0,007	0,004	0,014	0,005	0,005	0,032	99,1

Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada daerah base metal (logam induk) terhadap sampel uji kekerasan pipa ketel uap yang baik dan pipa pipa ketel uap setelah pemakaian 10 tahun. Pengujian dilakukan dengan indentasi sebanyak lima kali untuk masing-masing sampel uji dengan alat uji *Vickers Micro Hardness Testing Machine* dengan beban penekan seberat 300 gram. Pengujian kekerasan dilakukan dengan standar pengujian ASTM E384-99.



Gambar 4. Sampel Uji Kekerasan Las Pipa Ketel Uap yang Baik



Gambar 5. Sampel Uji Kekerasan Las Pipa Ketel Uap setelah Pemakaian Selama 10 Tahun

Bekas jejak penekanan diukur diagonal rata-ratanya (mikron) dengan rumus.

$$d = \frac{(d_1 + d_2)}{2} (mm) \dots \dots \dots (3.1.)$$

Nilai kekerasan dihitung dengan rumus (Surdia, 1992)

$$HV = \frac{1,854 \times P}{(d)^2} (kg / mm^2) \dots \dots \dots (3.2)$$

Hasil pengujian dan perhitungan kekerasan ditampilkan pada tabel 5 dan tabel 6.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kekerasan Sampel Uji Pipa yang Baik

Kode Sampel Uji	Penjejakan	Kekerasan Vickers	Rata-rata HV	Keterangan
Baik	I	147	148	Load=300 g
	II	151		
	III	138		
	IV	147		
	V	160		

Tabel 6. Hasil Pengujian Kekerasan Sampel Uji Pipa yang Baik

Kode Sampel Uji	Penjejakan	Kekerasan Vickers	Rata-rata HV	Keterangan
Yang Telah di Pakai Selama 10 Tahun	I	118	118	Load=300 g
	II	125		
	III	119		
	IV	121		
	V	106		

Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan terhadap 2 buah sampel uji yaitu sebuah sampel uji dari pipa yang baik dan sebuah sampel uji dari pipa yang telah di pakai selama 10 Tahun. Pengujian

kekerasan dilakukan dengan alat uji tarik merk “Servopulser *Shimadzu*” kapasitas 20 ton buatan Jepang . Standar pengujian tarik mengikuti JIS Z 2201. Hasil pengujian tarik diberikan pada tabel 7. dan tabel 8.

Tabel 7. Hasil Pengujian Tarik Sampel Uji Pipa yang Baik

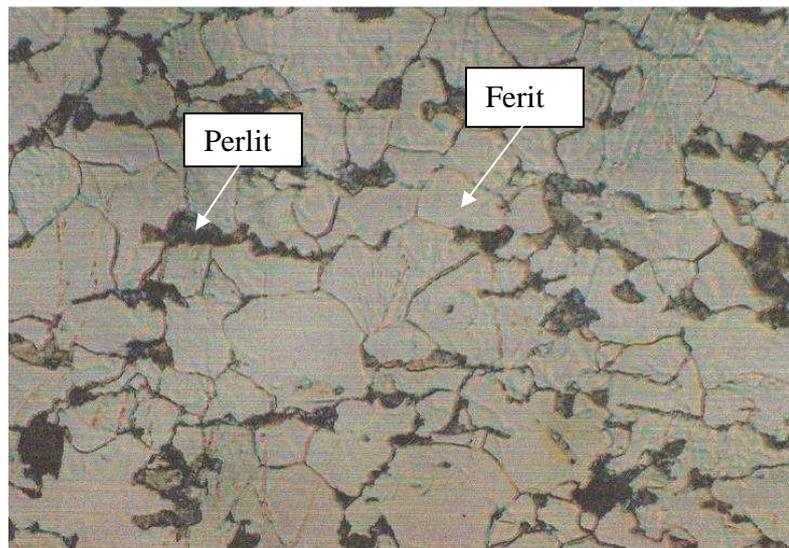
Kode Code	Sampel Uji			Kuat Tarik	Batas Luluh	Regangan	Keterangan
	Dimensi ukur Dimension (mm)	Luas Area (mm ²)	Panjang Ukur (mm)	Tensile Strength (kg/mm ²)(Mpa)	Yield Strength (kg/mm ²)MPa	Elongation (%)	Remarks
Baik	T=3,80 W=18,60	70,68		50{490}	32(314)	-	Putus di Bahan

Tabel 8. Hasil Pengujian Tarik Sampel Uji Pipa yang Telah di Pakai Selama 10 Tahun

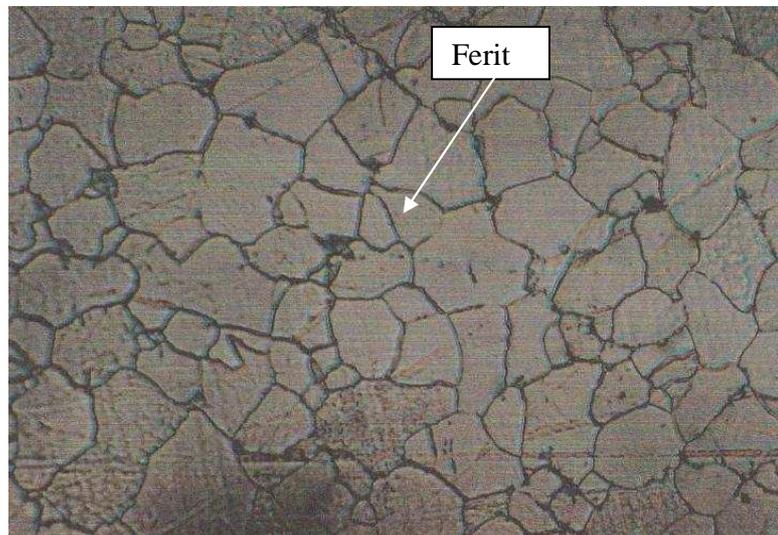
Kode Code	Sampel Uji			Kuat Tarik	Batas Luluh	Regangan	Keterangan
	Dimensi ukur Dimension (mm)	Luas Area (mm ²)	Panjang Ukur (mm)	Tensile Strength (kg/mm ²)(Mpa)	Yield Strength (kg/mm ²)MPa	Elongation (%)	Remarks
Rusak	T=3,40 W=18,85	64,09		40{392}	27(265)	-	Putus di Bahan

Uji Metalografi

Pengujian metalografi dimaksudkan untuk mengetahui struktur yang didapat dari sampel uji dari pipa ketel uap yang masih baik dan yang setelah pemakaian selama 10 tahun. Permukaan sampel uji digosok dengan kertas ampelas kemudian dikeringkan dengan kain flannel hingga permukaan sampel uji mengkilat seperti cermin. Sampel uji diberi larutan etsa 2 % nital (nitrogen alcohol) pada permukaan yang akan difoto dengan perbesaran 500 kali. Pengujian metalografi mengikuti standar ASTM E407-99. Hasil pengujian untuk sampel uji pipa ketel uap yang baik ditampilkan pada gambar 6 dan hasil pengujian untuk sampel uji pipa ketel uap setelah pemakaiaan 10 tahun ditampilkan pada gambar 7.



Gambar 6. Struktur Mikro Sampel Uji Pipa Ketel Uap yang Baik



Gambar 7. Struktur Mikro Sampel Uji Pipa Ketel Uap Setelah Pemakaian 10 Tahun

Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia terhadap pipa ketel uap yang baik mengandung kandungan karbon sebesar 0,248 % berat (tabel 3) sedangkan pipa ketel uap setelah pemakaian 10 tahun mengandung karbon 0,107 % berat (tabel 4), keduanya termasuk dalam kelompok baja karbon rendah (*low carbon steel/mild steel*) (tabel 1). Bila dilihat dari unsur padu (*alloying element*) yaitu unsur-unsur : Cr, Ni, Mo, Cu, Al, Ti, V, Nb, Si, S, P, Mn) kedua pipa ketel uap mengandung kurang dari 4 % berat termasuk dalam kelompok baja paduan rendah (*low alloy steel*) (tabel 2).

Dengan melihat hasil uji kekerasan nilai kekerasan rata-rata dari sample uji pipa ketel uap yang baik yang dilakukan pada 5 kali penjejakan pada daerah logam induk/base metal memberikan nilai sebesar ~ 148 HV sedangkan pengujian pada sample uji kekerasan pipa ketel uap setelah pemakaian 10 tahun memberikan nilai kekerasan rata-rata sebesar ~ 118 HV. Terjadi penurunan nilai kekerasan rata-rata sebesar 30 HV. Hal ini dapat terjadi karena sample uji kekerasan pipa ketel uap yang baik mempunyai fasa ferit dan perlit fasa ini lebih keras dari fasa yang dimiliki oleh pipa ketel uap setelah pemakaian 10 tahun yaitu fasa ferit saja.

Dengan melihat hasil uji tarik sample uji pipa ketel uap yang baik memberikan nilai kuat tarik sebesar 50 kg/mm² (490 MPa) (tabel 7), lebih tinggi dari nilai kuat tarik sampel uji pipa ketel uap setelah pemakaian 10 tahun yaitu sebesar 40 kg/mm² (392 MPa) (tabel 8). Hal ini dapat dimengerti karena sampel uji tarik pipa ketel uap yang baik mempunyai ketebalan sebesar 3,80 mm sedangkan sample uji tarik pipa ketel uap setelah pemakaian 10 tahun tebalnya hanya 3,40 mm karena telah mengalami korosi. Dan karena telah lama mengalami *long term overheating* sehingga fasanya menjadi fasa ferit (Adnyana,2007).

Simpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang dilakukan diatas dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- a. Baja pipa ketel uap spesifikasi KS D3563 STBH340 adalah baja karbon rendah dengan kandungan karbon 0,248 % berat untuk, sampel uji pipa ketel uap setelah pemakaian 10 tahun 0,107 % berat kandungan karbon untuk sampel pipa boiler yang rusak.

- b. Melihat dari jumlah unsur-unsur pepadu (Cr, Ni, Mo, Cu, Al, Ti, V, Nb, Si, S, P, Mn) yang kurang dari 4 % berat, maka bahan baja KS D3563 STBH340 termasuk dalam kelompok low alloy steel (baja paduan rendah).
- c. Sampel uji pipa boiler yang baik mempunyai nilai kekerasan rata-rata sebesar ~ 148 HV lebih tinggi dari nilai kekerasan rata-rata sampel uji pipa ketel uap setelah pemakaian 10 tahun sebesar ~ 118 HV. Terjadi penurunan nilai kekerasan rata-rata sebesar 30 HV.
- d. Sampel uji tarik sampel uji pipa ketel uap yang baik mempunyai kuat tarik (tensile strength) sebesar ~ 50 kg/mm² (490 MPa), lebih tinggi dari nilai kuat tarik sampel uji pipa ketel uap setelah pemakaian 10 tahun sebesar ~ 40 kg/mm² (392 MPa). Terjadi penurunan nilai kuat tarik sebesar 10 kg/mm².
- e. Pengamatan struktur mikro menunjukkan adanya fasa ferit dan perlit pada sampel uji pipa ketel uap. Fasa ferit terbentuk pada sampel uji pipa ketel uap setelah pemakaian 10 tahun.

Daftar Pustaka

- Adnyana, D.N.,(1989). *Logam dan Paduan*. Jakarta: Yayasan Puncak Sari.
- Adnyana, D.N. (2007). Penelitian Kerusakan Pada Sebuah Pipa Ketel Uap, Mesin. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Volume 2 Nomor 2.
- Srihanto. (2009). *Analisa Kerusakan Boiler Tube Pada Sambungan (Bending Sisi Belakang Pada Ketel Uap)*. Jakarta: ISTN
- Van Vlack, L. (1991). *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Jakarta: Erlangga.