

Studi Komparasi Hasil Pengelasan Pipa Baja API 5 L Grade B Sebelum dan Sesudah Perbaikan Ditinjau dari Struktur Mikro

Yuhani Djaja

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik UPN "Veteran" Jakarta
Jl.RS.Fatmawati Pondok Labu Jakarta.

Abstract

API 5 L Grade. B represent the type become militant the low carbon steel is which is most used for the materials of pipe oil and gas . Generally process the taking on pipe conducted with the shielded metal arc welding (SMAW) with the form V-groove . At specified period , result of welding experience of the repair. In this research ,will be compared to result of welding pipe become militant the API 5 L Grade B before and after repair evaluated from nature of micro structure . From the result will be seen by whether repair result fulfill the standard applying to API 5 L Grade B or do not fulfill.

Result of research that interesting micro structure examination of dominant phase is Ferrite (αFe) and Pearlite (Fe_3C).

Kata kunci : Sifat mekanik dan struktur mikro,Ferrite ,Pearlite.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada perusahaan perminyakan banyak sekali digunakan berbagai macam material terutama Baja sebagai bahan untuk instalasi, konstruksi, pipa saluran, bejana tekan dan lain sebagainya. Baja API 5 L Grade B termasuk jenis Baja yang paling banyak digunakan untuk pembuatan pipa penyaluran minyak dan gas. Pada penyambungan pipa selalu dilakukan proses pengelasan. Untuk mendapatkan sifat mekanik yang sesuai dengan penggunaannya dilapangan, maka perlu diperhatikan prosedur

pengelasan yang sesuai dengan standard yang digunakan misalnya AWS (American Welding Standard), API 1104 dan Total Indonesia Spec.GS. PLR 420.

Dalam pelaksanaan pengelasan yang dilakukan dilapangan tidak sedikit hambatan untuk memenuhi prosedur pengelasan yang tepat dan benar .Hambatan itu antara lain karena kondisi dilapangan sangat berbeda dengan dilaboratorium, sehingga hasil pengelasan kurang baik.

Dari hasil pengelasan ini tidak menutup kemungkinan dilakukan *Repair* untuk memperbaiki hasil pengelasan.

1.2. Tujuan Penelitian

- a. Untuk mengetahui pengaruh hasil pengelasan pipa sesudah perbaikan ditinjau dari struktur mikro.
- b. Mengkarakterisasi hasil pengelasan untuk kondisi sebelum perbaikan (*Mainline*) dan sesudah perbaikan (*Repair*).

1.3. Ruang lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah membandingkan hasil pengelasan sebelum perbaikan (*Mainline*) dan hasil pengelasan sesudah perbaikan (*Repair*) ditinjau dari Struktur Mikro. Proses pengelasan menggunakan mesin las Shielded metal arc welding (SMAW) atau las elektroda terbungkus yang mengacu pada standard American Petroleum Institute (API) 1104 dan Total Indonesia Spec.GS PLR 420.

Parameter las yang digunakan adalah Arus berkisar 75 hingga 150 Ampere, Tegangan berkisar 18 hingga 25 Volts dan kecepatan berkisar antara 80 hingga 120 mm / menit .

Setelah didinginkan secara alamiah dilanjutkan dengan perawatan panas dan dilakukan uji tidak merusak dan uji merusak .

1.4. Permasalahan Umum

Permasalahan umum yang terjadi adalah:

- a. Pengelasan *Repair* banyak dilakukan pada kegiatan dilapangan perusahaan minyak
- b. Pengaruh perbedaan struktur mikro pada hasil pengelasan *Repair*.
- c. Harus memenuhi standar minimum *project specification* sebagaimana hasil pengelasan sebelum perbaikan (*Repair*).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dasar dasar pengelasan

Dewasa ini metoda penyambungan logam telah menjadi teknik yang sangat penting untuk pembuatan konstruksi enjiniring seperti pembuatan jembatan , konstruksi bangunan , pipa saluran, kapal, industri mesin dan lain sebagainya. Kemajuan dibidang penyambungan logam dapat tercermin dari banyaknya metoda yang tersedia mulai yang sederhana hingga yang canggih dan mahal. Namun demikian metoda yang paling banyak digunakan khususnya dalam industri adalah teknik Pengelasan (*welding*), sehingga ilmu pengetahuan mengenai proses proses pengelasan sangat penting, tidak hanya terbatas bagi *welding engineers* dan *metallurgists* tetapi juga

bagi *designers*, *fabricators* dan pemakai hasil hasil pengelasan .

Secara umum, metoda penyambungan material dapat dikelompokkan atas 3 (tiga) bagian, yaitu ¹ :

- a. Penyambungan secara mekanik (*mechanical fastening*).
- b.. Pengelasan (*welding*)
 - 1). *Fusion welding*
 - 2). *Solid state welding*
 - 3). *Brazing dan Soldering*.
- c. *Adhesive bonding*.

Metoda penyambungan secara mekanik dengan menggunakan baut atau paku keling umumnya digunakan pada bangunan konstruksi baja dan jembatan.

Kelemahan utama dari teknik ini adalah adanya ekstra material yang dibutuhkan untuk dapat dilakukan penyambungan karena adanya sambungan tumpang tindih (*overlap joint*) . Tentunya ekstra material ini akan menambah berat dan juga biaya selain ketahanan fatiknya juga relatif rendah. Metoda penyambungan material ,khususnya logam yang paling banyak digunakan adalah Pengelasan (*Welding*).

Ini terbukti dengan jumlah proses proses pengelasan yang tersedia (lebih dari 100). Proses pengelasan dapat diartikan sebagai proses penyambungan logam dengan memanaskannya hingga plastis atau cair dengan atau tanpa tekanan.

Fusion Welding merupakan proses penyambungan yang melibatkan proses pencairan kedua logam induk yang akan disambung sehingga terjadi pencampuran kedua material dan membeku menjadi satu kesatuan .

Dalam proses ini dapat digunakan kawat pengisi pada sambungan dan dapat juga tanpa kawat pengisi yang dikenal dengan *terminology autogeneous welding*.

Pada proses ini dibutuhkan semacam pelindung untuk mencegah oksigen bereaksi dengan sambungan logam atau mencegah terjadinya proses oksidasi. Pelindung ini dapat berbentuk gas yang tidak bereaksi dengan logam las atau berupa fluks (*flux*) , yaitu senyawa kimia yang mencair bersama-sama dengan logam las, sehingga dapat melindungi logam cair dari oksidasi

Solid state welding merupakan proses penyambungan dimana dua buah logam dipanaskan hingga plastis (tanpa kawat pengisi) yang kemudian disatukan dengan bantuan tekanan,misalnya dengan palu. Pada proses ini logam induknya tidak mengalami pencairan.

Penyambungan terjadi karena adanya difusi atom pada permukaan sambungan .

Brazing dan Soldering merupakan metoda penyambungan dengan menggunakan kawat pengisi

yang mempunyai titik lebur lebih rendah dari titik lebur logam induk. Perbedaan antara proses *Soldering* dan *Brazing* hanya pada temperatur lebur kawat pengisi.

Berdasarkan ketentuan dari AWS (*American Welding Society*), jika temperatur lebur kawat pengisi < 450 °C masuk kategori *Soldering* dan > 450 °C masuk kategori *Brazing*.

Kondisi-kondisi yang harus dipenuhi dalam proses pengelasan antara lain ¹:

- adanya suplai energi
- harus bebas dari kontaminasi seperti oksida-oksida dan kotoran-kotoran lainnya.
- Proteksi terhadap atmosfer (oksidasi) yang baik.
- Metalurgi las yang terkontrol.

Tabel. II-1. Klasifikasi Baja ⁶

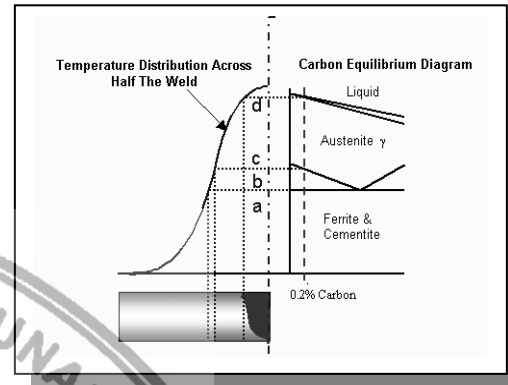
Classification	Number	Range of Number
Carbon steel SAE -	1XXX	
AISI	10XX	1006 ~ 1095
• Plain carbon	11XX	1108 ~ 1151
• Free machining (resulfurized)	12XX	1211 ~ 1214
• Resulfurized, rephosphorized	13XX	1320 ~ 1340
Manganese (1.75% mm)		
Nickel	2XXX	
• 3.5% Ni	23XX	2317 ~ 2345
• 5.0% Ni	25XX	2512 ~ 2517
Nickel-chromium	3XXX	
• 1.25% Ni, 0.65% Cr	31XX	3115 ~ 3150
• 1.75% Ni, 1.00% Cr	32XX	
• 3.50% Ni, 1.55% Cr	33XX	3310 ~ 3316
• Corrosion-resist, stainless	30XX	
• Austenitic stainless	303XX	AISI300 series
Molibdenum	4XXX	
• C-Mo (0.25% Mo)	40XX	4024 ~ 4068
• Cr-Mo (Cr. 0.70%; Mo. 0.15%)	41XX	4130 ~ 4150
• Ni-Cr-Mo (Ni. 1.8%; Cr. 0.65%)	43XX	4317 ~ 4340
• Ni-Mo (1.75% Ni)	46XX	4608 ~ 4640
• Ni-Cr (0.45% Mo(0.2%))	47XX	
• Ni-Mo (3.5% Ni; 0.25% Mo)	48XX	4812 ~ 4820
Chromium	5XXX	
• 0.5% Cr	50XX	
• 1.0% Cr	51XX	5120 ~ 5152
• 1.5% Cr	52XX	52095 ~ 52101
• Corrosion and heat resistant	514XX	AISI 400 series
Chromium-vanadium	6XXX	
• 1% Cr, 0.12% V	61XX	6120 ~ 6152
Silicon-manganese		
• 0.85% Mn, 2% Si	92XX	9255 ~ 9262
Triple-alloy steels		
• 0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.20% Mo	86XX	8615 ~ 8660
• 0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.25% Mo	87XX	8720 ~ 8750
• 3.25% Ni, 1.20% Cr, 0.12% Mo	93XX	9310 ~ 9317
• 0.45% Ni, 0.40% Cr, 0.12% Mo	94XX	9437 ~ 9445
• 1.00% Ni, 0.15% Cr, 0.20% Mo	97XX	9747 ~ 9763
• 0.55% Ni, 0.80% Cr, 0.25% Mo	98XX	9840 ~ 9850
Low alloy, high tensile	950	
	XXLXX	
	XXBXX	

Leaded steel
 Boron (about 0.005% Mn)
 Boron diberi note dengan "B", Boron-vanadium diberi note "BV".
 Contoh : 14BXX, 50BXX, 43BV14. TS mengartikan "tentative standard"; TS4150

Pada kejadian pengelasan fasa-fasa pada baja diilustrasikan sebagaimana pada Gambar . II-3 . mengikuti Diagram kesetimbangan besi-carbon dengan uraian pada Tabel . II-3 .⁷

Carbon steel pada Diagram besi-carbon dapat juga dikelompokkan dalam fasa-fasa yang terbentuk sebagaimana ditunjukkan pada Gambar II. 3.

Pada Tabel . II-2. Fasa-fasa yang ada pada baja .



Gambar II-3. Ilustrasi diagram besi karbon dan fasa²

Tabel . II- 3⁷ Klasifikasi Fasa Baja .⁷

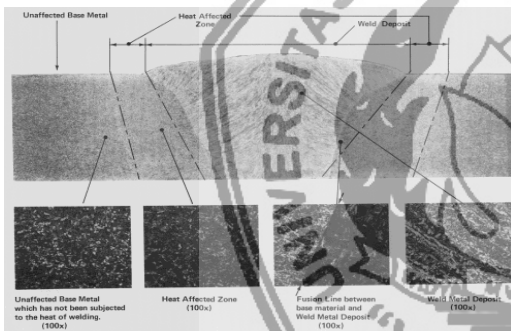
Fasa dan symbol	Struktur	Pengelasan	Fasa	Keterangan
Austenite γ	FCC	Paramagnetik dan stabil pada temperatur tinggi.		
Ferrite α	BCC	Stabil pada temperatur rendah, kelarutan padat terbatas, dapat berada bersama Fe_3C (sementit) atau lainnya.		
Bainite α'	BCT	Austenit metastabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat tertentu. Terjadi hanya presipitasi Fe_3C , unsur paduan lainnya tetap larut.		
Martensite		Fasa metastabil terbentuk dengan laju pendinginan cepat, semua unsur paduan masih larut dalam keadaan padat.		
Pearlite		Lapisan ferit dan Fe_3C .		
Widmanstatten		γ dan α dalam orientasi pada persipitasi ferit		
Dendrite		Berbentuk cabang-cabang seperti pohon, struktur ini terbentuk karena segregasi karbon pada pembekuan.		
Sorbite		Sorbite adalah perlit halus dan trostite adalah bainit. Kedua nama ini tidak banyak dipakai.		
Trostite				

Fasa	Keterangan
	Campuran dari butiran ferrite dan pearlite; Temperatur dibawah A1 (727 °C), struktur mikro tidak terpengaruh secara signifikan.
	Pearlite di transformasikan kedalam Austenite, tetapi temperaturnya belum sampai melampaui A3 (912 °C), masih ada ferrit yang belum bertransformasi menjadi austenite. Pada saat pendinginan hanya butiran yang telah di transformasi yang di normalisasi.
	Temperatur baru saja melampaui A3 (912 °C), sehingga seluruh fasa sudah ter-transformasi menjadi Austenit. Pada saat pendinginan semua fasa akan di normalisasi.
	Temperatur secara signifikan telah melampaui A3 (912 °C), selanjutnya butiran akan tumbuh/berkembang. Pada pendinginan ferrite akan terbentuk di batas butir dan pearlite akan terbentuk di dalam butir. Struktur butiran lebih keras, bila kecepatan pendinginan dari 800 °C ke 500 °C cepat, maka akan terbentuk mikrostruktur yang keras. Itulah sebabnya maka patahan getas (<i>brittle fracture</i>) akan menyebar pada lokasi ini.

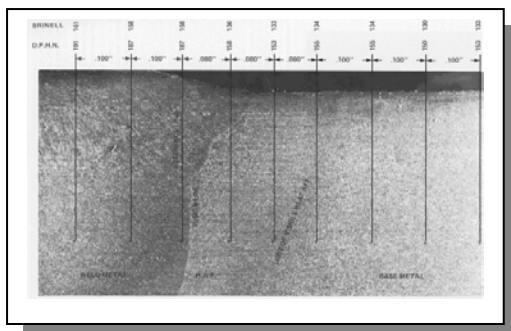
Pada saat terjadi pengelasan maka akan membuat semua hal berubah, yaitu perubahan temperatur, perubahan dimensi, pertumbuhan kristal juga butiran, terjadi transformasi fasa dan sebagainya .

Mikro struktur dilokasi lasan memiliki karakteristik yang berbeda, hal tersebut ditunjukkan pada Gambar.II -5 dan Gambar II-6.

Salah satu yang penting dari karakteristik tersebut adalah kekerasan (*hardness*) pada beberapa lokasi lasan yang bervariasi.



Gambar. II-5 . Struktur mikro pada bagian lasan



Gambar .II-6. Struktur mikro dan kekerasan pada bagian lasan

METODA DAN PROSEDUR PENELITIAN

1. Material Penelitian

Material yang digunakan pada penelitian ini ialah Baja API 5 L Grade B sebagai bahan pembuatan pipa .

Berdasarkan *mill certificate* kondisi dari bahan uji sbb:

Komposisi kimia:

C	=	0,20	%
Ni	=	0,02	%
Si	=	0,25	%
Cr	=	0,05	%
Mn	=	0,63	%
Mo	=	0,01	%
P	=	0,021	%
S	=	0,011	%
Fe	=	Balance	
Cu	=	0,01	%

Yield Strength min :35.000 PSI
(241 MPa)

Ultimate Strength 60.000 PSI
(413 MPa)

Material ini diperoleh dari PT. Elnusa Workover Services. Komposisi kimia Baja API 5 L Grade B diuji dengan SEM. EDX di Laboratorium Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia serta diuji dengan XRD dan XRF pada Laboratorium Ilmu Material Program Pascasarjana FMIPA Universitas Indonesia .

2. Preparasi Sampel

Dalam penelitian ini digunakan pelat Baja API 5 L Grade B yang dipotong dari pipa menjadi unit-unit sampel berbentuk empat persegi.

Adapun tahapan kerja Preparasi Sampel adalah sebagai berikut:

a. Penentuan wilayah kerja sampel, yaitu:

- bidang transversal
- bidang planar
- bidang longitudinal.

b. Pemotongan sampel, dilakukan dengan:

- pematahan
- pengguntingan
- penggergajian
- pemotongan abrasi
- *electric discharge machining*.

Pada penelitian ini, pemotongan dilakukan sesuai API Standard 1104 & Total Indonesia Spec. GS PLR 420. serta ASME- sect. IX.

c. Pemasangan sampel (*mounting*).

Hal ini dilakukan bila sampel terlalu kecil, bentuk tak beraturan, sangat lunak, mudah pecah dan berongga. Dalam hal ini tidak dilakukan *mounting*, karena sampel cukup besar untuk diamati.

Selanjutnya setelah dilakukan penyambungan dengan pengelasan, dilakukan pula perataan permukaan lasan dengan mesin sehingga minimal mendekati rata dengan

permukaan logam induk.

Mengenai pembahasan persiapan pengelasan dan proses pengelasannya akan dijelaskan pada sub.Bab. III.4 dan III. 5.

d. Pengamplasan.

Untuk meratakan dan menghaluskan permukaan sampel yang akan diamati.

e. Pemolesan.

Untuk lebih menghaluskan dan melicinkan permukaan sampel yang akan diamati setelah pengamplasan.

f. Etsa / *Ecthing*.

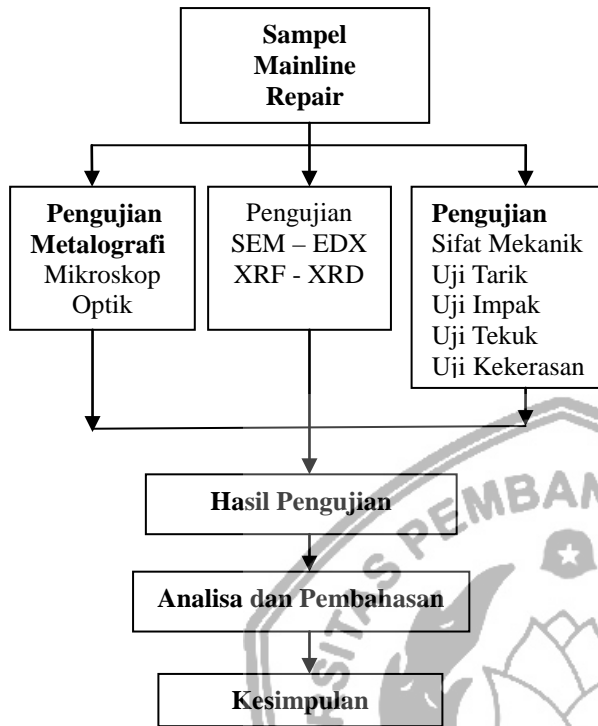
Dilakukan untuk mengikis daerah batas butir sehingga struktur bahan dapat diamati hingga jelas dengan bantuan mikroskop optik.

Untuk sampel sebelum perbaikan (Mainline) diberi kode : 11

Untuk sampel sesudah perbaikan (Repair) diberi kode : 11.A

Secara umum tahapan kerja didalam penelitian ini ditunjukkan Diagram alir proses penelitian Gambar .III. 1

3 Diagram Alir Penelitian .



Gambar III.1 Diagram Alir Penelitian

4. Persiapan Pengelasan.

Sampel uji dibuat dengan tahap-tahap sebagai berikut:

1. Sampel uji dibuat dari pelat pipa dengan ukuran yang akan di las yaitu: 270 mm x 330 mm.
2. Sisi yang akan dilas dari sampel uji dengan ketebalan 12,7 mm memerlukan kampuh "V".
3. Pembersihan permukaan alur las sebelum dilakukan pengelasan dari kotoran-kotoran seperti kerak, minyak, uap air dan lain-lain .

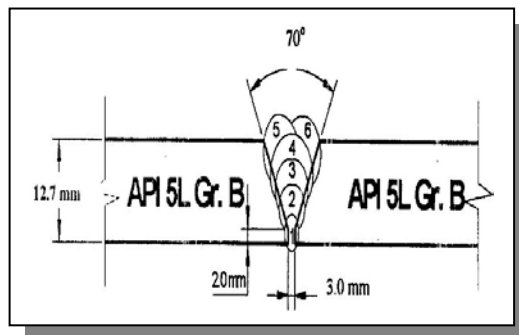
4. Dalam proses pengelasan dibutuhkan alat Bantu untuk menjepit sampel uji .

5. Kemudian dilaksanakan proses pengelasan sesuai dengan prosedur .

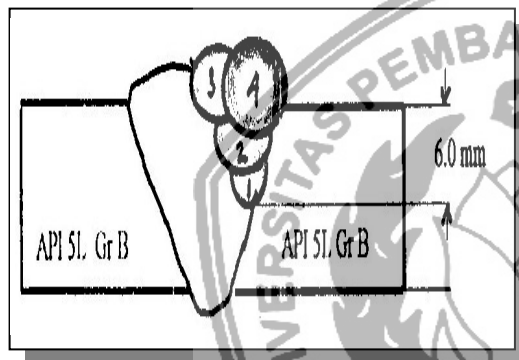
5. Proses Pengelasan .

Proses pengelasan menggunakan proses las busur listrik (SMAW) dan memakai variable Arus dari 75 Ampere sampai 150 Ampere dengan karakteristik pengelasan sebagai berikut :

- Type Arus : DC
- Type kawat las : E 7010 G dan E 7018
- Diameter kawat las : 3,2 mm
- Arus terpakai : 75 A - 150 A
- Tegangan terpakai : 18 V - 25 V
- Posisi pengelasan : 5 G
- Pembersihan permukaan sebelum pengelasan : Sikat kawat baja dan di gerinda .
- Preheat temp. (min) : 25 °C
- Interpass Temp. (max) : 225 °C
- Time Lapse :10 minute max.
- Travel speed (range) : 80-130 mm / min.



Gambar. III-2 *Joint Details* untuk *Main Line*.¹⁰



Gambar .III-3. *Joint Details* untuk *Repair*.¹⁰

pengujian ditunjukkan dari potongan sampel seperti Gambar III-3 diatas .

a. Pengujian struktur makro

Yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran 10 hingga 100 kali. Prosesnya adalah sebagai berikut:

- Sampel diampelas dari ukuran kasar hingga halus
- Dipoles dengan polish ferrous 0,30 mikron
- Dietsa dengan alumina 0,30 %
- Dietsa dengan larutan HNO_3 (pekat) ditambah alkohol dengan perbandingan 3 : 97
- Sampel dicelupkan pada larutan tersebut
- Sampel dikeringkan dengan alat pengering
- Sampel diamati dengan mikroskop
- Hasil pengamatan di foto makro

6. Pengujian Struktur makro dan mikro

Tujuan pengujian ialah untuk mempelajari struktur logam maupun material lainnya dengan bantuan mikroskop optik .

Pengamatan dengan mikroskop umumnya dibagi menjadi 2 (dua) yaitu :

- a. Pengujian struktur makro .
 - b. Pengujian struktur mikro .
- Spesimen* untuk masing-masing

b. Pengujian struktur Mikro

Tujuan pengujian struktur mikro untuk melihat jenis struktur mikro yang terbentuk pada daerah las maupun daerah yang terpengaruh panas (HAZ) untuk *Mainline* maupun *Repair* dengan perbesaran diatas 100 kali .

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan EDX (*Energy Dispersive X-ray*). Analisis EDX dilakukan dengan metoda titik

dan metoda garis pada batas butir ,daerah dekat batas butir dan matriks.

Metoda titik juga digunakan untuk lainnya , seperti mengamati fasa , distribusi senyawa dan lain-lain dan didekati dengan nilai panjang gelombangnya dengan bantuan *Scanning Electron Microscope*.

Pengujian XRF (X- Ray Fluorescence)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menganalisa unsur-unsur yang terkandung dalam bahan sampel .

Pengujian ini dilakukan pada Laboratorium Ilmu Material Program Pasca Sarjana FMIPA UI

Pengujian XRD (X- Ray Diffraction)

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui menganalisa struktur kristal dari bahan sampel .

Data yang didapat hanyalah data pengukuran Intensitas Vs Sudut 2θ hasil pengujian XRD yang tentunya harus dikonversikan dalam log-book tiap-tiap material .

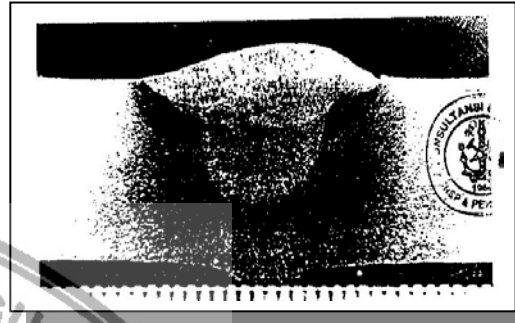
Pengujian ini dilakukan pada Laboratorium Ilmu Material Program Pascasarjana FMIPA UI.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. HASIL UJI STRUKTUR MIKRO

Gambar IV. 1 ditunjukkan Photo makro dari pengelasan *Mainline*

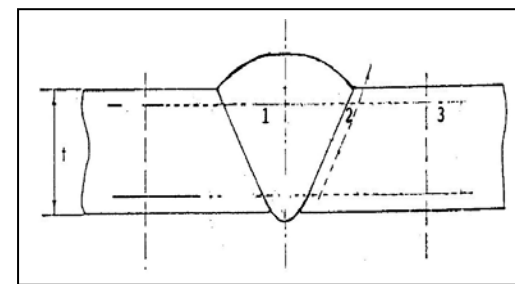
sedangkan pada Gambar IV. 2 Photo makro untuk *Repair*, sedangkan Gambar IV. 3 dan Gambar IV. 4 adalah posisi pengambilan Photo mikro untuk *Mainline* dan *Repair*.



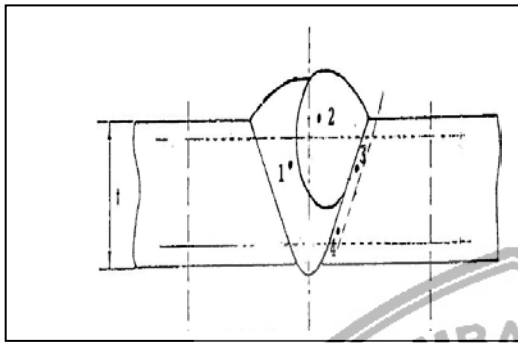
Gambar. IV-1 Photo Makro untuk *Mainline*



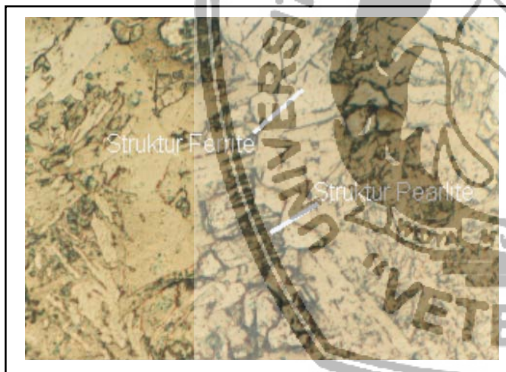
Gambar. IV-2 Photo Makro untuk *Repair*



Gambar.IV-3 Posisi pengambilan Photo Mikro untuk *Mainline*



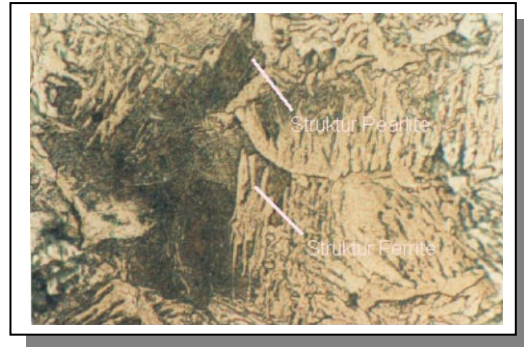
Gambar. IV-4 Posisi pengambilan Photo mikro untuk *Repair*



Gambar. IV-5 Struktur mikro daerah las (*Mainline* titik-1)

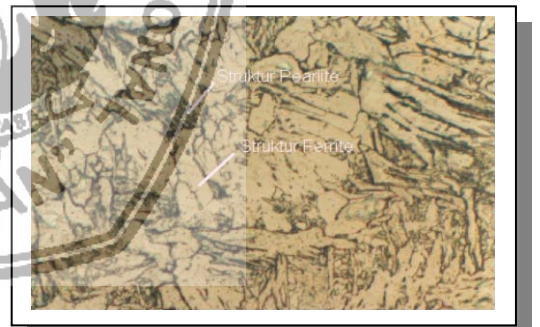
Dari hasil photo mikro yang diperoleh terlihat untuk *Mainline* pada daerah las (titik .1) fasanya adalah *Ferrit* (α) yang berwarna putih terang dan strukturnya *bcc* (*body centered cubic*) yang stabil pada temperatur rendah serta *Pearlite* yang berwarna

gelap merupakan lapisan *Ferrite* dan *Cementite* (Fe_3C).



Gambar.IV-6 Struktur mikro daerah HAZ (*Mainline* titik-2).

logam induk (titik 3) fasanya juga *Ferrite* dan *Pearlite* dengan butir yang lebih besar , yang posisinya lebih jauh dari daerah pengelasan , sehingga bentuk butirnya belum berubah.

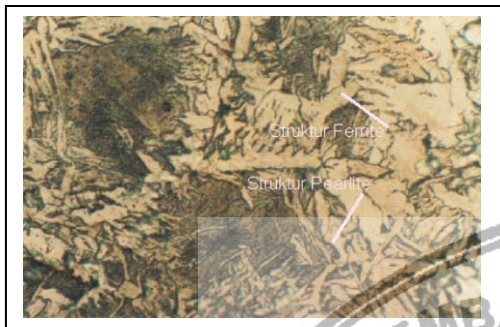


Gambar. IV-9 Struktur mikro daerah Las atas (*Repair* titik-2) 500 x

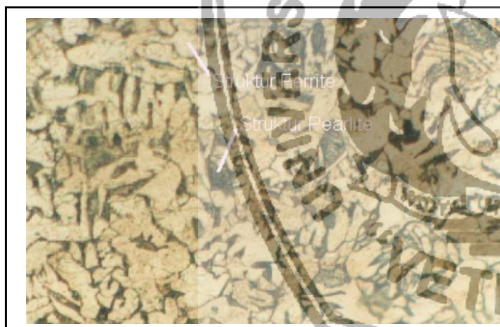
Pada photo mikro untuk *Repair* dilakukan pada 4 titik pengamatan ,yaitu daerah las bawah (titik 1) bentuk fasanya adalah *Ferrite* dan *Pearlite*.

Setelah dilakukan repair dengan pengelasan ulang pada sekitar

setengahnya (titik 2) terlihat fasa *Pearlite* makin banyak yang berarti *Ferrite* makin banyak bersama *Cementite* sebagai akibat pemanasan yang kedua kalinya .



Gambar.IV-10 Struktur mikro daerah HAZ atas(*Repair* titik-3)500 x



Gambar. IV-11 Struktur mikro daerah HAZ bawah (*Repair* titik-4)500 x

Sedangkan pada daerah HAZ atas (titik 3) fasa *Ferrite* bertambah dan *Pearlite* berkurang dengan kedudukan agak renggang, tetapi pada daerah HAZ bawah (titik 4) terlihat fasa *Pearlite* kembali merapat lagi yang disebabkan posisinya lebih jauh

dari pengelasan ulang karena *Repair*.

4.2. HEAT AFFECTED ZONE (HAZ)

Didaerah *HAZ* merupakan daerah paling kritis bila dibandingkan daerah las dan daerah logam induk. Didaerah ini akan mudah terbentuk fasa yang sangat keras dan mudah retak¹³, ini dapat dilihat dari photo mikro didaerah *HAZ* pengelasan *Mainline* pada daerah las (titik 1) yaitu bentuk struktur atomnya yang tidak homogen yakni ada yang butir-butirnya kecil dan ada juga yang besar.

Demikian juga dengan struktur mikro pada pengelasan *Repair* pada daerah HAZ atas (titik 3) bentuk strukturnya tidak homogen dan fasa *Pearlite* bertambah banyak bila dibandingkan dengan daerah las atas (titik 2).

Hal ini berakibat sifat mekaniknya menurun ,misalnya ketahanan terhadap uji pukul takik dan kekerasannya meningkat didaerah HAZ atas dan daerah HAZ bawah, ini berakibat makin getasnya material tersebut .

Fasa keras yang terbentuk pada daerah HAZ umumnya sangat sensitif terhadap “ *hydrogen embrittlement* “¹³.

Disamping itu didaerah HAZ ini akan berakibat timbulnya korosi yang terjadi karena tidak homogennya butir-butir struktur kristal .

Kekuatan dan ketangguhan HAZ suatu sambungan las tergantung pada; tipe logam induk, proses pengelasan dan prosedur pengelasan. Untuk memahami berbagai pengaruh pengelasan pada HAZ berhubungan dengan 4 jenis logam paduan yang berbeda mungkin di las.

1. Logam paduan yang diperkuat oleh larutan padat.
2. Logam paduan yang diperkuat oleh pekerjaan dingin
3. Logam paduan yang diperkuat dengan pengerasan semprot.

Logam paduan yang diperkuat oleh perubahan bentuk (*Martensit*)¹⁴.

5. SIMPULAN

Pengamatan Struktur Mikro.

- a. Dari photo mikro terlihat fasanya yang dominan oleh *Ferrite* (α Fe) yang berwarna putih terang serta fasa *Pearlite* yang berwarna gelap. Untuk kondisi *Repair*, lasan memiliki butir yang lebih kecil dibandingkan dengan lasan pada *Mainline*.
- b. Dari pengamatan dengan EDX Pada *Mainline* yang diamati pada 3 daerah dan *Repair* sebanyak 4 daerah terdeteksi unsur C, Si, Mn dan Fe, yang dominan adalah elemen Fe diatas 98 % dan atomnya diatas 96 %.
- c. Dari pengamatan dengan XRF. Pada *Mainline* dan *Repair* terdeteksi unsur kimia yang ada

adalah Si, Cr, Mn, S dan Fe. yang dominan adalah Fe dengan jumlah atom / mole diatas 97 %.

- d. Pengamatan dengan XRD.

Pada *Mainline* dan *Repair* dari Grafik *Counts* dan sudut 2θ terdeteksi beberapa puncak dan selanjutnya dengan program APD dan PCPDFWIN didapatkan fasa *Ferrite* (α Fe) sedangkan fasa yang lain tidak terdeteksi.

Daftar Pustaka .

“API Specification for Line Pipe” American Petroleum Institute, Washington, D.C. Issued by American Petroleum Institute.

Production Department 211 N. Ervay, Suite 1700 Dallas TX 75201.

D.N.Adnyana, DR,Ir,APU “Baja paduan rendah berkekuatan tinggi” Materials Science and Engineering .

George E.Dieter, Sriati Djaprie “Metalurgi Mekanik” Ed. Ketiga jilid I Penerbit Erlangga 1993.

Herman W. Pollac, “Materials Science and Metallurgy,” 3rd ed. 1981. Lawrence H. Van Vlack, Sriati Djaprie, “Ilmu dan Teknologi Bahan” (Ilmu logam dan bukan logam) ed. Kelima penerbit Erlangga 1992.

Sidney .H.Avner “Introduction to Physical Metallurgy” Second

Edition .McGraw-Hill International
Book Company 1984

Tata Surdia and Shinroku Saito,
“ *Pengetahuan Bahan Teknik* “ , 4th
ed. 1999.

Teori Dasar “ *Praktikum Ilmu logam*
“Jurusan Metalurgi Fakultas Teknik
Universitas Indonesia 1999.

