

# STUDI KOMPARASI HASIL PENGELOMAN PIPA BAJA API 5L GRADE B SEBELUM DAN SESUDAH PERBAIKAN DITINJAU DARI SIFAT MEKANIK

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 mechanic. 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 strength and hardness of repair result relative much the same to with the pipe of before repair or mainline. While bending test at pipe result of repair is not happened by the cart or breaking in weld. From result test to beat the notch of pipe of repair of degradation from 129 joule become 124 Joule.

**Key words :** Mechanical Behavior, Tension, Impact, Hardness, Bending Test.

---

## PENDAHULUAN

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.

## Tujuan Penelitian

(1). Untuk mengetahui pengaruh hasil pengelasan pipa sesudah perbaikan ditinjau dari sifat mekanik, (2). Mengkarakterisasi hasil pengelasan untuk kondisi sebelum perbaikan (*Mainline*) dan sesudah perbaikan (*Repair*).

## Ruang lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah membandingkan hasil pengelasan sebelum perbaikan (*Mainline*) dan hasil pengelasan sesudah perbaikan (*Repair*) baik ditinjau dari Sifat Mekanik. 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.

### Permasalahan Umum.

Permasalahan umum yang terjadi adalah: (a). Pengelasan *Repair* banyak dilakukan pada kegiatan dilapangan perusahaan minyak, (b). Pengaruh perbedaan sifat mekanik pada hasil pengelasan *Repair*, (c). Harus memenuhi standar minimum *project specification* sebagaimana hasil pengelasan sebelum perbaikan ( *Repair* ).

## TINJAUAN PUSTAKA

### 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.

Perlu diketahui bahwa ada tiga fasa yang secara berurutan berperan dalam proses manufaktur komponen yang dilas, yaitu disain, produksi dan inspeksi. Pada fasa pertama disainer harus mengetahui tentang sumber peralatan dan teknik pengelasan yang tersedia dilingkungan produksinya, mengetahui prinsip kerja berbagai jenis proses las termasuk kelemahan dan keunggulannya, mampu memilih tipe sambungan yang tepat, menguasai mampu las berbagai material dan mengetahui tentang peraturan masalah disain konstruksi lasan. Pada fasa kedua enjinir produksi harus memiliki latar belakang pengetahuan mengenai proses proses pengelasan, mengetahui mampu las berbagai

material, mengetahui cara mencegah terbentuknya cacat las, melakukan perhitungan biaya sehingga dapat memilih proses las dengan biaya produksi yang terendah untuk tingkat kualitas tertentu. Pada fasa ketiga, inspektur harus mengetahui metoda inspeksi yang tersedia, menguasai prinsip kerja dari berbagai jenis proses las, mengetahui mampu las berbagai material sehingga dapat mengklasifikasikan dan mengidentifikasi penyebab terjadinya cacat las, mengetahui berbagai standar dan peraturan.

Secara umum , metoda penyambungan material dapat dikelompokkan atas 3 ( tiga ) bagian, yaitu <sup>1</sup>: (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  $< 450^{\circ}\text{C}$  masuk kategori *Soldering* dan  $> 450^{\circ}\text{C}$  masuk kategori *Brazing*.

Kondisi-kondisi yang harus dipenuhi dalam proses pengelasan antara lain<sup>1</sup>: (a). adanya suplai energi harus bebas dari kontaminasi seperti oksida-oksida dan kotoran-kotoran lainnya, (b). Proteksi terhadap atmosfer ( oksidasi ) yang baik, (c). Metalurgi las yang terkontrol.

Tabel. 1. Klasifikasi Baja<sup>6</sup>

Classification	Number	Range of Number
Carbon steel SAE – AISI	1XXX	
• Plain carbon	10XX	1006 ~ 1095
• Free machining (resulfurized)	11XX	1108 ~ 1151
• Resulfurized, rephosphorized	12XX	1211 ~ 1214
Manganese (1.75% mm)	13XX	1320 ~ 1340
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	AISI 300 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	
Leaded steel	XXLXX	
Boron (about 0.005% Mn)	XXBXX	

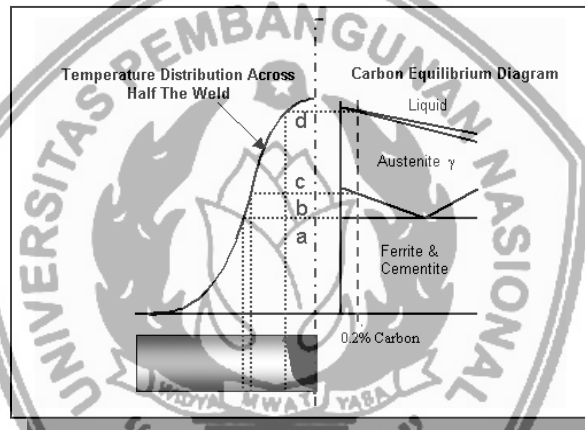
Boron diberi note dengan "B", Boron-vanadium diberi note "BV".  
 Contoh : 14BXX, 50BXX, 43BV14. TS mengartikan "tentative standard"; TS4150

*Carbon steel* pada Diagram besi-carbon dapat juga dikelompokkan dalam fasa-fasa yang terbentuk sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

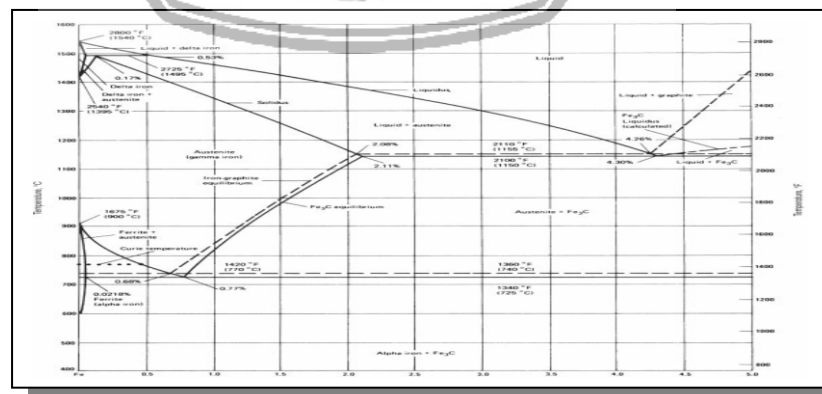
**Tabel 2.** Fasa-fasa yang ada pada baja .

Fasa dan symbol	Struktur	Pengelasan
Austenite	$\gamma$	FCC
Ferrite	$\alpha$	BCC
Bainite	$\alpha$	BCC
Martensite	$\alpha'$	BCT
Pearlite		Lapisan ferit dan $Fe_3C$ .
Widmanstatten		$\gamma$ dan $\alpha$ dalam orientasi pada persipitasi ferit
Dendrite		Berbentuk cabang-cabang seperti pohon, struktur ini terbentuk karena segregasi karbon pada pembekuan.
Sorbite		Sorbit adalah perlit halus dan trostit adalah bainit. Kedua nama ini tidak banyak dipakai.
Trostit		

Pada kejadian pengelasan fasa-fasa pada baja diilustrasikan sebagaimana pada Gambar 1 mengikuti Diagram kesetimbangan besi-carbon dengan uraian pada Tabel 2 .<sup>7</sup>



**Gambar 1.** Ilustrasi diagram besi karbon dan fasa<sup>2</sup>



**Gambar 2.** Diagram Kesetimbangan besi – karbon .<sup>3</sup>

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.

**Sifat Mekanik Material.**

Deformasi terjadi bila bahan mengalami gaya. Regangan (*strain*),  $\epsilon$ , adalah besar deformasi persatuan panjang, dan Tegangan (*stress*)  $\sigma$ , adalah gaya persatuan luas. Selama deformasi, bahan menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja sepanjang jarak deformasi .Kekuatan (*strength*) adalah ukuran besar gaya yang diperlukan untuk mematahkan atau merusak suatu bahan. Keuletan (*ductility*) dikaitkan dengan besar regangan permanen sebelum perpatahan, sedangkan ketangguhan

(*toughness*) dikaitkan jumlah energi yang diserap bahan sampai terjadi perpatahan .

**Deformasi**

Regangan awal berbanding lurus dengan besarnya tegangan, disamping itu iapun mampu balik (*reversible*). Setelah tegangan ditiadakan, regangan lenyap Regangan linier yang mampu balik ini disebut elastik regangan. Modulus Elastik (*modulus Young*) adalah perbandingan antara tegangan  $\sigma$  dan regangan mampu balik  $\epsilon$ .

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Satuan metrik modulus Young , E adalah Pascal .

$$1 \text{ Pascal ( Pa )} = 1 \text{ N/m}^2 = 0,145 \times 10^{-3} \text{ Psi.}$$

**Tabel 3.** Harga Modulus Elastik pada berbagai temperatur .<sup>9</sup>

Bahan	Temp. kamar	Modulus Elastik Psi x 10 <sup>-6</sup>			
		400 ° F	800 ° F	1000 ° F	1200 ° F
Baja karbon	30,0	27,0	22,5	19,5	18,0
Baja tahan karat Austenite	28,0	25,5	23,0	22,5	21,0
Paduan Titanium	16,5	14,0	10,7	10,1	
Paduan Aluminium	10,5	9,5	7,8		

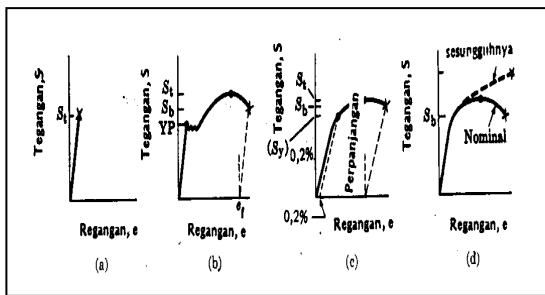
Pada tegangan yang lebih tinggi terjadi pergeseran tetap dari atom-atom dalam suatu bahan disamping regangan elastik . Regangan tetap ini tiak mampu balik pada saat regangan ditiadakan , regangan ini disebut regangan plastik (*plastic strain*). Regangan semacam ini diperlukan pada proses pengerjaan bahan (misalnya mengeroll plat aluminium menjadi plat tipis atau lembaran). Pada pemakaian produk, harus dihindarkan terjadinya deformasi plastik sehingga perhitungan desain dilandaskan pada tegangan-tegangan didaerah elastik (perorsional) lihat Gambar II-7

(a).Bahan tidak ulet, tidak ada deformasi plastik. (contoh besi cor), (b).Bahan ulet dengan titik luluh (contoh baja karbon rendah), (c).Bahan ulet tanpa titik luluh yang jelas (contoh aluminium), (d).Kurva tegangan sesungguhnya regangan dan tegangan nominal-regangan.  $\sigma_b$  = kekuatan patah,  $\sigma_t$  = kekuatan tarik.  $\sigma_Y$  = kekuatan luluh,  $\epsilon_f$  = perpanjangan – elongation ( regangan sebelum patah ),  $x$  = titik patah,  $Y_p$  = titik luluh (yield point).

Regangan elastik, yang merupakan satu-satunya gejala deformasi dibawah kekuatan luluh, akan terus naik dengan naiknya tegangan sampai terjadi deformasi plastik. Regangan elastik ini mampu balik, sedangkan regangan plastik tidak (*ductilyt* ).

**Keuletan (*ductility*)**

Keuletan atau besar regangan plastik sampai perpatahan  $\epsilon_f$  dapat dinyatakan dalam persentasi perpanjangan (*percent elongation*). Sebagaimana halnya regangan, besaran ini



**Gambar. 3** Diagram Tegangan – Regangan.

tidak berdimensi,  $(L_f - L_o) / L_o$  atau  $\Delta L / L_o$ . Ukuran keuletan berikutnya adalah susut penampang,  $(A_o - A_f) / A_o$  pada titik patah. Bahan yang ulet biasanya mempunyai penyusutan penampang yang besar sebelum patah. Perpanjangan merupakan ukuran regangan plastik sedangkan penyusutan penampang merupakan ukuran, susut plastik.

### **Kekuatan (dan Kekerasan)**

Ketahanan suatu bahan terhadap deformasi plastik disebut kekuatan luluh (*yield strength*,  $\sigma_y$ ) nilai besaran ini adalah besar gaya pada saat luluh dibagi luas penampang. Pada baja lunak, terdapat titik luluh yang jelas. Pada bahan lainnya tanpa batas proporsional yang jelas, kekuatan luluh didefinisikan sebagai tegangan yang diperlukan untuk menghasilkan regangan plastik sebesar 0,2 % (atau nilai lain sesuai spesifikasi perancang).

### **Kekuatan Tarik (*Tensile strength* $\sigma_t$ )**

Suatu bahan ditetapkan dengan membagi gaya maksimum dengan luas penampang mulai Dimensinya sama dengan tegangan. Kekuatan tarik ditetapkan berdasarkan luas penampang mula, sedang sesungguhnya pada bahan ulet, luas penampang mengecil pada waktu beban maksimum dilampaui.

Dengan membagi kekuatan tarik  $\sigma_t$  dengan gaya maksimum, maka dapat dihitung ukuran penampang yang diperlukan untuk menghindari putusanya bahan tersebut. Ukuran-ukuran ini adalah ukuran desain sebelum terjadi sesuatu deformasi plastik. Bila diperlukan dapat dihitung tegangan sesungguhnya (*true stress*)  $\sigma$ , yang sama dengan gaya dibagi luas penampang sesungguhnya. Dengan sendirinya nilai ini berubah sepanjang benda uji yang telah mengalami deformasi plastik dan akan mencapai nilai maksimum pada daerah susut. Hal ini berarti bahwa tegangan sesungguhnya  $\sigma$  pada saat patah selalu lebih besar daripada kekuatan patah  $\sigma_b$  yang ditentukan berdasarkan penampang mula.

Tegangan sesungguhnya memungkinkan kita menganalisa gaya-gaya selama deformasi pada saat patah, akan tetapi

tegangan maksimum (berdasarkan penampang mula) lebih sering digunakan untuk membuat desain berdasarkan dimensi mula.

### **Kekerasan ( *Hardness* ).**

Didefinisikan sebagai ketahanan bahan terhadap penetrasi pada permukaannya. Dapat diperkirakan bahwa terdapat hubungan antara kekerasan dan kekuatan bahan.

*Bilangan kekerasan Brinell ( BHN )* adalah suatu indeks kekerasan yang dihitung dari luas daerah lekukan yang ditimbulkan oleh penekan bulat yang besar. Lekukan ini ditimbulkan oleh bola baja karbida tungsten yang keras dengan beban standar.

*Kekerasan Rockwell ( R )* merupakan indeks kekerasan lain yang digunakan dalam teknik dan ada hubungannya dengan BHN. Besaran ini ditentukan dengan menghitung kedalaman penetrasi, suatu penekanan standar yang kecil. Dengan menggunakan bentuk penekan dan beban yang berbeda-beda diperoleh beberapa skala Rockwell. Jadi berbeda dengan *kekuatan*, yang menjadi ukuran dari tegangan yang diperlukan untuk merubah bentuk atau mematahkan bahan.

*Kekerasan Vickers ( V )* merupakan indeks kekerasan yang diperoleh dari jejak yang berbentuk bujur sangkar berdiagonal sebagai hasil penekanan indenter intan berbentuk piramida dengann sudut  $136^\circ$ .

### **Ketangguhan ( *toughness* ).**

Ini adalah suatu ukuran energi yang diperlukan untuk mematahkan bahan. Energi yang merupakan hasil kali gaya dan jarak, dinyatakan dalam Joule, dan ada hubungannya dengan luas daerah dibawah kurva tegangan – regangan. Suatu bahan ulet dengan kekuatan yang sama dengan bahan rapuh (tidak ulet) akan memerlukan energi perpatahan yang lebih besar dan mempunyai sifat tangguh yang lebih baik.

Cara standar *Charpy atau Izod* merupakan dua cara untuk menentukan ketangguhan Perbedaan terletak pada bentuk benda uji dan cara pemberian energi. karena ketangguhan tergantung pada geometri konsentrasi energi.<sup>8</sup>

## METODOLOGI PENELITIAN

### 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 di Laboratorium Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Pengujian mekanik sampel dilakukan di Unit Inspeksi dan Pengujian PT. (Persero) Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) dan Laboratorium Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia .

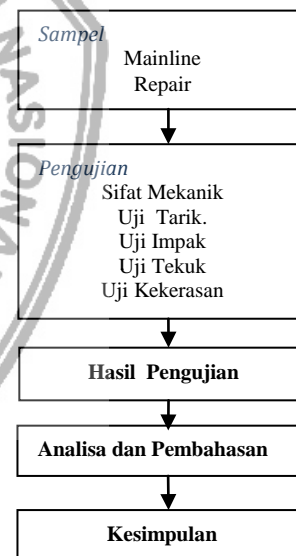
### Preparasi Sampel

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: (1). Penentuan wilayah kerja sampel, yaitu: a). bidang transversal, b). bidang planar, c). bidang longitudinal, (2). Pemotongan sampel , dilakukan dengan: a). pematahan, b). pengguntingan, c). penggergajian, d). pemotongan abrasi, e). *electric discharge machining*. Pada penelitian ini, pemotongan dilakukan sesuai API Standard 1104 & Total Indonesia Spec. GS PLR 420. serta ASME- sect. IX, (3). 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, (4). Pengamplasan. Untuk meratakan dan menghaluskan permukaan sampel yang akan diamati, (5). Pemolesan. Untuk lebih menghaluskan dan melicinkan permukaan sampel yang akan diamati setelah pengamplasan. (6). *Etsa / Etching*. 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.

### Diagram Alir Penelitian



## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Uji Sifat Mekanik

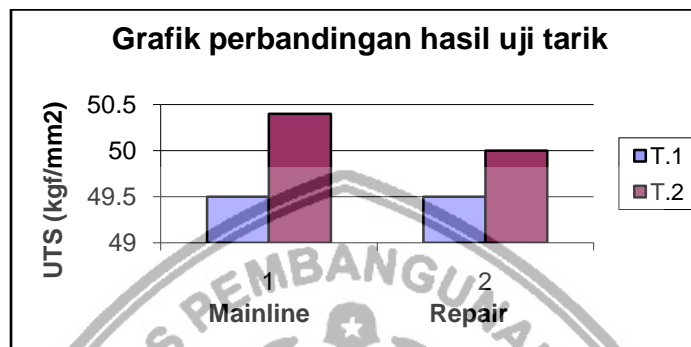
(1). Hasil uji Tarik. Hasil ini sesuai dengan API Standard 1104 dan Total Indonesia Spec. GS. PLR 420. antara Mainline dan Repair. sebagai berikut :

**Tabel 4.** Hasil Uji Tarik untuk *Main Line*

Sampel No	Width ( m m )	Thickness ( m m )	Area ( m m <sup>2</sup> )	Ultimate Total Load ( kgf )	Ultimate Tensile Stress ( kgf/mm <sup>2</sup> )	Type of Failure and Location
T 1	26	12,7	330,2	16350	49,52	Base metal
T 2	25	12,7	317,5	16000	50,39	Base metal

**Tabel 5.** Hasil Uji Tarik untuk *Repair*

Sampel No	Width ( m m )	Thickness ( m m )	Area ( m m <sup>2</sup> )	Ultimate Total Load ( kgf )	Ultimate Tensile Stress ( kgf/mm <sup>2</sup> )	Type of Failure and Location
T 1	25,5	12,7	323,85	16050	49,56	Base metal
T 2	25,5	12,7	323,85	16150	49,87	Base metal



**Gambar 3.** Grafik perbandingan uji tarik

Terlihat pada Grafik diatas bahwa nilai *Ultimate Tensile Stress* ( UTS ) sampel T 1 dan T 2 untuk *Mainline* dan *Repair* tidak berbeda jauh yaitu 49,52 kgf/mm<sup>2</sup> dan 49,56 kgf/mm<sup>2</sup>. Hal ini berarti bahwa kedua kondisi tersebut memiliki nilai kekuatan yang relatif sama.

(2). Hasil Uji Lengkung ( *Bending test* ) .

**Tabel 6.** Hasil Uji Lengkung untuk *Mainline*.

Benda Uji No. Specimens No.	FB 1	FB 1	RB 1	RB 1
Ukuran : Tebal x Lebar m m				
Dimension : Thick x Width	12,7 x 25	12,7 x 25	12,7 x 25	12,7 x 25
Garis Tengah duri uji m m				
Mandrel diameter	3 - ½ "	3 - ½ "	3 - ½ "	3 - ½ "
Sudut Lengkung				
Bending angle	180 <sup>0</sup>	180 <sup>0</sup>	180 <sup>0</sup>	180 <sup>0</sup>
Cacat Las				
Weld defect	N D	N D	N D	N D
Hasil Uji				
Test Result	Good	Good	Good	Good

**Tabel 7.** Hasil Uji Lengkung untuk *Repair*

Benda Uji No. Specimens No.	FB 1	FB 1	RB 1	RB 1
Ukuran : Tebal x Lebar m m				
Dimension : Thick x Width	12,7 x 25	12,7 x 25	12,7 x 25	12,7 x 25
Garis Tengah duri uji m m				
Mandrel diameter	3 ½ "	3 ½ "	3 ½ "	3 ½ "
Sudut Lengkung				
Bending angle	180 <sup>0</sup>	180 <sup>0</sup>	180 <sup>0</sup>	180 <sup>0</sup>
Cacat Las				
Weld defect	N D	N D	N D	N D
Hasil Uji				
Test Result	Good	Good	Good	Good



Dari Hasil pengujian Lengkung ( *Bending* ) ini untuk *Mainline* maupun *Repair* terlihat cukup baik , tidak terjadi keretakan maupun patahan.

(3). Hasil Uji Pukul takik ( *Impact test* )

**Tabel 8** . Hasil Uji Pukul Takik untuk *Mainline*.

Benda Uji No. <i>Specimens No.</i>	FL + 2mm-1	FL + 2mm-2	FL + 2mm-3	AVE
Ukuran : Tebal x Lebar mm				
<b>Dimension : Thick x Width</b>	10.00 x 10.00	10.00 x 10.00	10.00 x 10.00	
Tebal dibawah Takik mm				
<b>Thickness at base of notch</b>	8.00	8.00	8.00	
Takik V				
<b>V notch</b>	V	V	V	
Suhu Uji ° C				
<b>Test Temperature</b>	<i>Ambient</i>	<i>Ambient</i>	<i>Ambient</i>	
Energi Pukul kgm				
<b>Impact Energy</b>	12,8	12,8	12,8	
JOULE	125,57	126,55	135,38	129,17

Catatan : FL = *Fusion Line* ( daerah sekitar lasan )  
W = *Welding* ( daerah pada lasan )

**Tabel 9.** Position : 45°

Benda Uji No. <i>Specimens No.</i>	W - 1	W - 2	W - 3	AVE
Ukuran : Tebal x Lebar mm				
<b>Dimension : Thick x Width</b>	10.00 x 10.00	10.00 x 10.00	10.00 x 10.00	
Tebal dibawah Takik mm				
<b>Thickness at base of notch</b>	8.00	8.00	8.00	
Takik V				
<b>V notch</b>	V	V	V	
Suhu Uji ° C				
<b>Test Temperature</b>	<i>Ambient</i>	<i>Ambient</i>	<i>Ambient</i>	
Energi Pukul kgm				
<b>Impact Energy</b>	12,4	11,6	12,3	
JOULE	121,64	113,80	120,66	118,70

**Tabel 10.** Position : 45°

Benda Uji No. <i>Specimens No.</i>	FL - 1	FL - 2	FL - 3	AVE
Ukuran : Tebal x Lebar mm				
<b>Dimension : Thick x Width</b>	10.00 x 10.00	10.00 x 10.00	10.00 x 10.00	
Tebal dibawah Takik mm				
<b>Thickness at base of notch</b>	8.00	8.00	8.00	
Takik V				
<b>V notch</b>	V	V	V	
Suhu Uji ° C				
<b>Test Temperature</b>	<i>Ambient</i>	<i>Ambient</i>	<i>Ambient</i>	
Energi Pukul kgm				
<b>Impact Energy</b>	13,4	13	12	
JOULE	131,45	127,53	117,72	125,57

**Table 11.** Position : 90<sup>0</sup>

Benda Uji No. <i>Specimens No.</i>	W - 1	W - 2	W - 3	AVE
Ukuran : Tebal x Lebar mm				
<b>Dimension : Thick x Width</b>	10.00 x 10.00	10.00 x 10.00	10.00 x 10.00	
Tebal dibawah Takik mm				
<b>Thickness at base of notch</b>	8.00	8.00	8.00	
Takik V				
<b>V notch</b>	V	V	V	
Suhu Uji ° C				
<b>Test Temperature</b>	<i>Ambient</i>	<i>Ambient</i>	<i>Ambient</i>	
Energi Pukul kgm				
<b>Impact Energy</b>	12,8	13,2	12,5	
JOULE	125,57	129,49	122,63	125,90

**Tabel 12.** Position : 90<sup>0</sup>

Benda Uji No. <i>Specimens No.</i>	FL - 1	FL - 2	FL - 3	AVE
Ukuran : Tebal x Lebar mm				
<b>Dimension : Thick x Width</b>	10.00 x 10.00	10.00 x 10.00	10.00 x 10.00	
Tebal dibawah Takik mm				
<b>Thickness at base of notch</b>	8.00	8.00	8.00	
Takik V				
<b>V notch</b>	V	V	V	
Suhu Uji ° C				
<b>Test Temperature</b>	<i>Ambient</i>	<i>Ambient</i>	<i>Ambient</i>	
Energi Pukul kgm				
<b>Impact Energy</b>	14,2	14,9	12,6	
JOULE	139,30	146,17	123,61	136,36

**Tabel. 13** Hasil Uji Pukul Takik untuk *Repair*.

Benda Uji No. <i>Specimens No.</i>	W - 1	W - 2	W - 3	AVE
Ukuran : Tebal x Lebar mm				
<b>Dimension : Thick x Width</b>	10.00 x 10.00	10.00 x 10.00	10.00 x 10.00	
Tebal dibawah Takik mm				
<b>Thickness at base of notch</b>	8.00	8.00	8.00	
Takik V				
<b>V notch</b>	V	V	V	
Suhu Uji ° C				
<b>Test Temperature</b>	<i>Ambient</i>	<i>Ambient</i>	<i>Ambient</i>	
Energi Pukul kgm				
<b>Impact Energy</b>	13,5	13,5	11	
JOULE	132,44	132,44	107,91	124,26

**Tabel 14.** Left - Side

Benda Uji No. <i>Specimens No.</i>	FL - 1	FL - 2	FL - 3	AVE
Ukuran : Tebal x Lebar mm	7			
<b>Dimension : Thick x Width</b>	10.00 x 10.00	10.00 x 10.00	10.00 x 10.00	
Tebal dibawah Takik mm				
<b>Thickness at base of notch</b>	8.00	8.00	8.00	
Takik V				
<b>V notch</b>	V	V	V	
Suhu Uji ° C				
<b>Test Temperature</b>	<i>Ambient</i>	<i>Ambient</i>	<i>Ambient</i>	
Energi Pukul kgm				
<b>Impact Energy</b>	9	6,6	12	
JOULE	88,29	64,75	117,72	90,25

**Tabel 15. Right - Side**

Benda Uji No. <i>Specimens No.</i>	FL - 1	FL - 2	FL - 3	AVE
Ukuran : Tebal x Lebar mm				
<b>Dimension : Thick x Width</b>	10.00 x 10.00	10.00 x 10.00	10.00 x 10.00	
Tebal dibawah Takik mm				
<b>Thickness at base of notch</b>	8.00	8.00	8.00	
Takik V				
<b>V notch</b>	V	V	V	
Suhu Uji ° C				
<b>Test Temperature</b>	<i>Ambient</i>	<i>Ambient</i>	<i>Ambient</i>	
Energi Pukul kgm				
<b>Impact Energy</b>	15,4	14,6	16	
JOULE	151,07	143,23	156,96	150,42

Dari Tabel 8 dan Tabel. 13 Terlihat bahwa Energi pukul yang diberikan pada *Repair* mengalami kenaikan dibandingkan dengan *Mainline* untuk masing-masing sample, yaitu rata-rata dari 124 Joule menjadi 129 Joule. Hal ini disebabkan terjadinya Temper setelah dilas ulang.

(4). Hasil Uji Patah Takik ( *Nick Break Test* ).

**Tabel 16 . Hasil Uji Patah Takik untuk *Mainline***

Benda Uji No. <i>Specimens No.</i>	NB 1	NB 2
Ukuran : Tebal x Lebar mm		
<b>Dimension : Thick x Width</b>	12,7 x 25	12,7 x 25
Cacat Las		
<b>Weld defect</b>	ND	ND
Hasil Uji		
<b>Test result</b>	<i>Good</i>	<i>Good</i>

**Tabel 17. Hasil Uji Patah Takik untuk *Repair***

Benda Uji No. <i>Specimens No.</i>	NB 1	NB 2
Ukuran : Tebal x Lebar mm		
<b>Dimension : Thick x Width</b>	12,7 x 25	12,7 x 25
Cacat Las		
<b>Weld defect</b>	ND	ND
Hasil Uji		
<b>Test result</b>	<i>Good</i>	<i>Good</i>

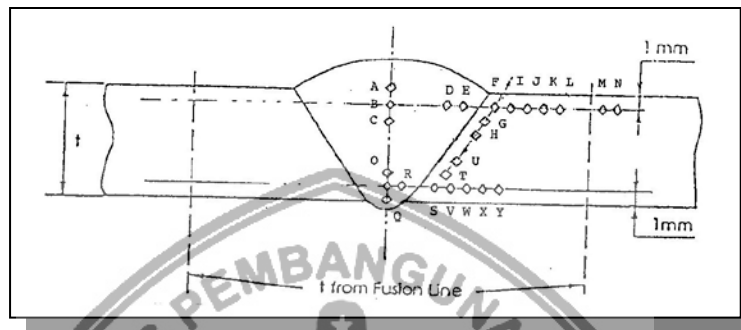
Dari Tabel 16 dan Tabel 17 terlihat bahwa hasil uji patah takik menunjukkan cacat las tidak ada , berarti cukup baik.

(5). Hasil uji kekerasan .

**Tabel 12. Hasil Uji Kekerasan untuk *Mainline*. dengan metoda Vickers**

<i>Mainline</i>	<i>Face Location</i>		Beban Penjejakan = 1000 Gram		
	Penjejakan	Lokasi	Kekerasan Vickers (Hv)	Lokasi	Rata - Rata
I.a		A	189,16	Las Tengah atas	191
		B	190,70		
		C	193,04		
II.		D	205,43	Las kanan	203
		E	200,34		
III.a		F	186,14	HAZ atas	187
		I	188,02		
		J	185,40		
		K	189,93		
IV		L	184,66	HAZ tengah	186
		G	189,93		
		H	181,75		

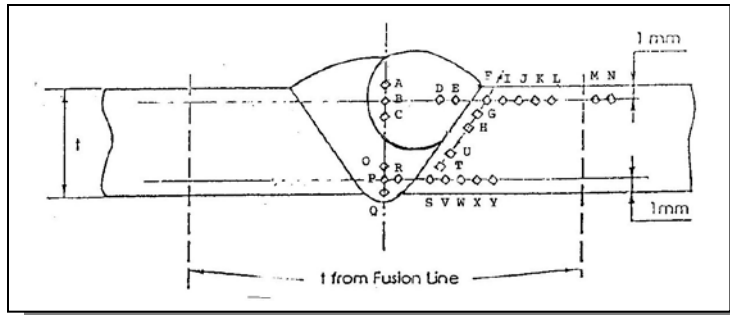
V	M	192,65	Logam induk	193
	N	193,04		
I.b	O	188,78	Las tengah bawah	194
	P	194,53		
	Q	197,86		
	R	196,24		
III.b	U	197,45	HAZ bawah	193
	T	193,83		
	S	184,09		
	V	189,55		
	W	199,09		
	X	190,70		
Y	193,04			



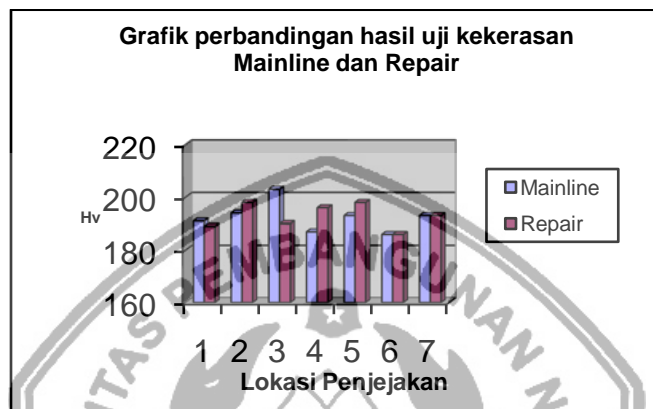
Gambar 5 . Lokasi Penjejakan pada Sampel *Mainline*.

Tabel.13 Hasil Uji Kekerasan untuk *Repair*

<i>Repair</i>		<i>Face Location</i>			<b>Beban Penjejakan = 1000 Gram</b>	
<b>Penjejakan</b>	<b>Lokasi</b>	<b>Kekerasan Vickers (Hv)</b>	<b>Lokasi</b>	<b>Rata – Rata</b>		
I.a	A	192,26	Las tengah atas	189		
	B	186,14				
	C	188,78				
II	D	189,93	Las kanan	190		
	E	190,70				
III.a	F	189,16	HAZ atas	196		
	I	193,04				
	J	198,27				
	K	200,34				
IV	L	197,05	HAZ tengah	186		
	G	186,14				
V	H	185,03	Logam induk	193		
	M	192,65				
I.b	N	193,04	Las tengah bawah	198		
	O	195,03				
	P	194,63				
	Q	205,86				
III.b	R	195,03	HAZ bawah	198		
	U	188,40				
	T	200,34				
	S	210,72				
	V	196,64				
	W	193,04				
X	194,63					
Y	199,51					



**Gambar 6.** Lokasi penjejakan pada Sampel *Repair*.



**Gambar 7.** Grafik perbandingan Kekerasan.

Lokasi Penjejakan :

1 = I.a	= Las tengah atas
2 = I.b	= Las tengah bawah
3 = II	= Las kanan
4 = III.a	= HAZ atas
5 = III.b	= HAZ bawah
6 = IV	= HAZ tengah
7 = V	= Logam induk

Dari hasil diatas terlihat bahwa penjejakan II dan lokasi Las kanan pada *Repair* terjadi penurunan kekerasan sebesar 13 Hv. Pada penjejakan III.a dan lokasi HAZ atas pada *Repair* terjadi kenaikan kekerasan sebesar 9 Hv , hal ini disebabkan kenaikan pemanasan yang berulang kembali .

Sehingga secara umum seluruh penjejakan dan lokasi lainnya cenderung stabil untuk *Mainline* maupun *Repair* .

#### 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 retak <sup>13</sup>. 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 sensitive terhadap “ *hydrogen embrittlement* “. <sup>13</sup> Disamping itu didaerah HAZ ini akan berakibat timbulnya korosi yang terjadi karena tidak homogenya 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 dilas . (1). Logam paduan yang diperkuat oleh larutan padat, (2). Logam paduan yang diperkuat oleh

pekerjaan dingin, (3). Logam paduan yang diperkuat dengan pengerasan semprot, (4). Logam paduan yang diperkuat oleh perubahan bentuk (*Martensit*).<sup>14</sup>.

#### SIMPULAN

(1). Kekuatan Tarik hasil lasan *Mainline* sebesar 49,52 kgf/mm<sup>2</sup> dan *Repair* sebesar 49,56 kgf/mm<sup>2</sup>, yang menunjukkan bahwa kedua kondisi tersebut memiliki nilai kekuatan yang relatif sama, (2). Pada uji tekuk (*Bending test*) sampel lasan *Mainline* maupun *Repair* menunjukkan hasil yang sama baik, tidak terjadi keretakan ataupun patahan, (3). Hasil uji pukuk takik (*Impact Test*) sampel las yang diperbaiki terjadi penurunan nilai dari sampel las *Main line yaitu*, rata-rata dari 129 Joule menjadi 124 Joule, (4). Dari uji kekerasan Vickers untuk kedua sampel las *Mainline* dan *Repair* menunjukkan nilai yang hampir sama, pada las tengah *Mainline* nilainya 191 Hv sedangkan *Repair* 189 Hv.

#### 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.

C.E Jackson, "*The Science of Arc Welding*", *Welding Journal*, Research Supplement, Apr.1960, p.1295, June 1960, p.2255.

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.

Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura.. "*Teknologi Pengelasan Logam*", PT.Pradnya Paramita

Hery Sonawan, Ir, MT "*Las listrik SMAW dan pemeriksaan hasil pengelasan*" penerbit Alfabeta Bandung cetakan kesatu April 2003.

Herman W. Pollac, "*Materials Science and Metallurgy*," 3<sup>rd</sup> ed. 1981. Howard B.Cary, "*Modern Welding Technology*, 3<sup>rd</sup> ed.", Englewood Cliffs, 1994

Lawrence H. Van Vlack, Sriati Djaprie, "*Ilmu dan Teknologi Bahan*" (Ilmu logam dan bukan logam) ed. Kelima penerbit Erlangga 1992.

Muhammad Anis dan Winarto, "*Diktat kuliah Teknologi Pengelasan*" , Jurusan Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Indonesia 2002.

Sidney .H.Avner "*Introduction to Physical Metallurgy*" Second Edition .McGraw-Hill International Book Company 1984

Tata Surdia and Shinroku Saito, "*Pengetahuan Bahan Teknik*" , 4<sup>th</sup> ed. 1999.

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

"*Welding of Pipelines and Related Facilities*" API Standard 1104 Eighteenth Edition, May 1994.

"*Welding Handbook*" Eighth Edition Volume 1 Welding Technology Editor : Leonard R Connor .American Welding Society 550 N.W. LeJeune Road P.O. Box . 351040 Miami , FL 33135.

