

# Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* Terhadap Sifat Mekanis dan Korosi Sambungan Las *Spiral Saw* pada Pipa Baja ASTM A252

Ipick Setiawan<sup>1)\*</sup>, Mochammad Noer Ilman<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jl. Jend. Sudirman Km. 3 Cilegon - Banten 42435  
Email: ipicks@yahoo.co.id

<sup>2)</sup>Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika No.2, Yogyakarta 55281  
Email : teknik-th@ugm.ac.id

## Abstrak

Penyambungan logam dengan sistem pengelasan semakin banyak digunakan, seperti pada struktur, perpipaan maupun konstruksi mesin. Beberapa masalah dalam pengelasan adalah terjadinya tegangan sisa dan kekerasan yang berlebih sehingga dapat menurunkan ketangguhan las perlakuan peka lingkungan (*stress corrosion cracking*). Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi permasalahan ini adalah dengan PWHT (*post weld heat treatment*). PWHT memiliki beberapa fungsi yaitu menurunkan tegangan sisa, meningkatkan keuletan di HAZ dan memperbaiki ketangguhan daerah logam las dan HAZ. Proses pemanasan dengan variasi suhu yang berbeda-beda diharapkan dapat menghasilkan suhu PWHT optimum. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh dari *post weld heat treatment* (PWHT) terhadap ketangguhan dan korosi pada pipa baja las spiral ASTM A252. Pengelasan menggunakan las SAW alur V ganda dengan arus 375 A, tegangan input 35 V dan heat input 2,8 kJ/mm. PWHT dilakukan dengan berbagai variasi suhu las 450°C, 550°C dan 650°C selama 3 jam serta didinginkan dalam furnace. Selanjutnya, dilakukan pemeriksaan, pengukuran kekerasan, uji tarik, ketangguhan dan korosi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan suhu PWHT sedikit menurunkan kekuatan tarik las, meningkatkan ketangguhan las dan meningkatkan ketahanan korosi. Nilai optimum di capai pada suhu 550°C dengan nilai ketangguhan 81 J pada suhu 0°C

**Kata kunci** : kekerasan, ketangguhan, kekuatan tarik, korosi, PWHT, SAW

## Abstract

Metal joint with welding system is increasingly used. i.e structure, piping or machine construction. Some of the problems on welding is residual stress and over hardness can decrease the weld toughness stress corrosion cracking. An effort to solve this problem is PWHT. PWHT has multiple functions, those are to reduce residual stress, increase ductility of HAZ and improve toughness in weld metal and HAZ regions. Heating process with various temperature is expected to make optimum PWHT temperature. This experiment was carried out to know the effect of PWHT toward the toughness and corrosion of helical welding pipe ASTM A252. The welding process use SAW with groove double V, electrical current 375 A, voltage 35 V and heat input 2,8 kJ/mm. Post weld heat treatment was carried out at various temperature 450°C, 550°C and 650°C during 3 hours followed by cooling process in furnace after that, these specimens were tested the hardness, tensile strength, toughness and corrosion. The Result of research show that increasing of PWHT temperature, can increase the toughness and corrosion resistance of joint weldin, but the tensile strength is decrease. The optimum PWHT temperature is 550°C with toughness 81 J at 0°C.

**Keywords** : corrosion, hardness, PWHT, SAW, tensile strength, toughness

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Penyambungan logam dengan sistem pengelasan semakin banyak digunakan, seperti pada struktur, perpipaan maupun konstruksi mesin. Luasnya pemakaian las ini disebabkan karena adanya keunggulan dibandingkan dengan teknik penyambungan lain yaitu kekuatan las dapat mendekati atau bahkan melebihi kekuatan logam induknya. Konstruksi dengan sambungan las menjadi sederhana dan ringan serta adanya berbagai teknik pengelasan sehingga dengan teknik pengelasan tertentu dapat dipilih pada kondisi yang sesuai [1].

Baja paduan tinggi atau HSLA (*high strength low alloy steel*) yang diproduksi dengan menggunakan *thermomechanical controlled processing* (TMCP) biasanya digunakan sebagai bahan pipa gas dan minyak. Pada baja sambungan las spiral biasanya digunakan untuk mengalirkan minyak mentah dan gas sehingga sering terjadi korosi. Spesifikasi sambungan las pada pipa spiral harus mempunyai nilai kekerasan pada daerah HAZ dan las tidak boleh lebih dari 22 HRC (248 VHN) untuk mencegah *sulfide stress cracking* (Ramirez, 2005), kekuatan tarik minimal 500 MPa, dan ketangguhan dampak (*charpy impact toughness*) yang baik yaitu sebesar 27 joule pada suhu 0°C atau 7 joule pada suhu -50°C [2]

PWHT (*post weld heat treatment*) dilakukan pada baja kuat C-Mn (*higher strength carbon manganese steels*) dan baja paduan rendah yang riskan retak akibat hidrogen. PWHT dimaksudkan juga untuk *stress relieving* (pelepasan

\* Penulis korespondensi, phone 0254 – 395502, fax. 0254 – 395440  
Email: ipicks@yahoo.co.id

tegangan internal. PWHT ini memiliki multi fungsi selain menurunkan tegangan sisa, antara lain meningkatkan keuletan di HAZ dan memperbaiki sifat mampu las daerah logam las dan HAZ [3].

## 1.2 Studi Pustaka

### High Strength Low Alloy (HSLA)

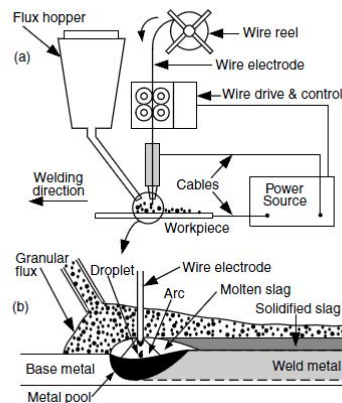
Baja *high strength low alloy* (HSLA) atau baja paduan mikro, didisain untuk mendapatkan sifat mekanik dan atau ketahanan terhadap korosi atmosfer yang lebih baik dibanding dengan baja karbon konvensional. Baja HSLA mempunyai kekuatan luluh lebih dari 275 MPa atau 40 ksi.

Komposisi kimia baja HSLA berbeda-beda, disesuaikan dengan ketebalan produk untuk kebutuhan sifat mekaniknya. Baja tersebut dalam bentuk lembaran atau pelat mempunyai kandungan karbon rendah ( $C = 0,05 - 0,25$  [wt %]), supaya menghasilkan *formability* dan mampu las yang cukup. Baja HSLA luas pemakaiannya, seperti saluran pipa dan gas, kendaraan offroad, peralatan industri, tangki penyimpanan, jembatan, struktur lepas pantai, mesin-mesin farmasi dan kontrol, dan lain-lain.

Kekuatan yang tinggi dari baja HSLA-Nb dipengaruhi oleh mikrostruktur akhir yang terbentuk. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu proses terkendali yang dapat mengontrol mikrostruktur akhir baja, yang dikenal sebagai *ThermoMechanical Control Process* (TMCP). Pada akhir proses ini diharapkan terbentuk butir ferit yang halus melalui pengerolan terkendali, dimana struktur ferit halus dapat meningkatkan kekuatan mekanis baja HSLA-Nb. Secara umum, proses termomekanik terdiri dari proses pemanasan awal (*reheating*), pengerolan panas (*hot rolling*), serta pendinginan (*cooling*).

### High Strength Low Alloy (HSLA)

Salah satu proses pembuatan pipa baja yang digunakan untuk pipa penyalur adalah dengan metode pengelasan. *Submerged Arc Welding* (SAW) merupakan proses pengelasan otomatis dimana busur listrik dan logam cair tertutup oleh lapisan serbuk fluks, sedangkan kawat pengisi diumpankan secara kontinu seperti pada Gambar 1. Karena panas yang hilang dalam bentuk radiasi sangat kecil maka efisiensi perpindahan panas dari elektroda ke logam las sangat tinggi yaitu sekitar 90 % [1].



Gambar 1. Skema Las SAW

### Sifat-Sifat Mekanik Las

Pada proses pengelasan, transformasi  $\gamma$  (austenit),  $\alpha$  (ferit) merupakan tahap yang paling krusial karena struktur mikro logam las yang berarti juga sifat-sifat mekanisnya sangat ditentukan pada tahap ini. Diantara faktor-faktor yang mempengaruhi transformasi  $\gamma$  (austenit),  $\alpha$  (ferit) adalah masukan panas (heat input), komposisi kimia las, kecepatan pendinginan dan bentuk sambungan. Kepekaan terhadap patah getas adalah masalah besar pada baja. Bila patah getas ini terjadi pada baja dengan day tahan rendah, patahan tersebut dapat merambat dengan kecepatan 2000m/detik, yang dapat menyebabkan kerusakan dalam waktu yang singkat sekali.

Ketangguhan logam las juga tergantung dari strukturnya seperti halnya pada logam induk dan pada batas las. Hanya saja logam las adalah logam yang dalam proses pengelasan mencair dan kemudian membeku, sehingga logam las ini banyak sekali mengandung oksigen dan gas-gas lain. Pengelasan pada pelat-pelat tebal pada umumnya diikuti dengan pemanasan mendekati suhu rekristalisasi yang bertujuan menghilangkan tegangan sisa yang terjadi karena pengelasan, menurunkan kekerasan dari daerah las dan memperbaiki sifat-sifat lainnya.

Perlakuan panas ini disebut pembebasan tegangan. Baja yang mengandung campuran V, Mo, Cr, Ti dan P akan mudah sekali kena penggetasan bebas tegang, karena V, Mo, Cr dan Ti menyebabkan terjadinya endapan selama proses temper. Dalam hal baja Cr-Mo, proses bebas tegangan yang lama dapat menyebabkan terjadinya sebuah ferit yang dapat menurunkan kekuatan dan keuletan. Baja dengan kadar Cr tinggi akan lebih mudah membentuk sabuk ferit, karena itu pengelasannya harus lebih hati-hati [1].

### American Petroleum Institute (API)

Dokumen yang paling populer dalam pemilihan pipa, *linepipe* adalah American Petroleum Institute (API) standard API 5L. Spesifikasi API diperkenalkan pada tahun 1948 dan pada saat itu mencakup hanya satu kelas X-42 dengan kekuatan luluh 42 ksi. Sejak saat baja kekuatan yang lebih tinggi telah dikembangkan dan spesifikasi sekarang mencakup nilai sampai dengan X80 dengan kekuatan luluh 80 ksi. Sifat mampu las bajaditentukan oleh

nilai karbon equivalen yang dihitung dengan formula yang diusulkan oleh International Institute of Welding (IIW) (Baillly,1974).

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

### Post Weld Heat Treatment (PWHT)

Post Weld Heat Treatment adalah proses pemanasan dan pendinginan pada logam untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu yang diperlukan untuk suatu konstruksi, misalnya kekuatan (*strength*), kelunakkan (*softness*), memperhalus ukuran butir. Beberapa perlakuan panas (*heat treatment*) dapat diterapkan setelah pekerjaan pengelasan selesai. Perlakuan panas paska las sering dilaksanakan untuk tujuan menghilangkan tegangan sisa. ASME Boiler Pressure Vessel Code menyebut perlakuan panas paska las dengan *postweld heat treatment* (PWHT), dimana istilah ini lebih disukai pada pengelasan *pressure vessel* dan konstruksi pipa. PWHT kadang-kadang disebut juga dengan membuang tegangan (*stress relief*) dan bisa juga disebut dengan *tempering*. PWHT bisa diterapkan pada seluruh pengelasan atau hanya setempat. PWHT dilakukan karena alasan seperti berikut ini (Vlack, 1981) :

- ❖ Mengurangi tegangan sisa (*residual stress*).
- ❖ Mengurangi kekerasan di daerah pengelasan dan daerah HAZ
- ❖ Meningkatkan ketangguhan (*toughness*).
- ❖ Mengeluarkan hydrogen dari logam las.
- ❖ Menghindarkan kerja dingin dari logam las.
- ❖ Meningkatkan keuletan (*ductility*).
- ❖ Meningkatkan daya tahan terhadap retak karena faktor lingkungan (*environmental cracking*) dan serangan karat.
- ❖ Meningkatkan stabilitas dimensional selama *machining*.

### Korosi Pada Pipa Minyak dan Gas

Korosi adalah *kerusakan material khususnya logam secara umum akibat reaksi dengan lingkungan sekitarnya*, sedangkan arti karat khususnya pada logam ferrous (besi). Hasil dari proses kerusakan berupa berbagai produk korosi misalnya berbagai macam oksida logam, kerusakan permukaan logam secara morfologi, perubahan sifat mekanis, perubahan sifat kimia.

Komponen-komponen yang terbawa bersama minyak (air, pasir, garam– garam mineral, gas CO<sub>2</sub>, dan H<sub>2</sub>S) menimbulkan permasalahan tersendiri pada proses produksi minyak bumi. Air yang terdapat dalam jumlah besar sebagian dapat menimbulkan emulsi dengan minyak akibat adanya emulsifying agent dan pengadukan. Selain itu hal yang tak kalah penting ialah adanya gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S yang dapat menyebabkan korosi dan dapat mengakibatkan kerusakan *pada casing, tubing, sistem perpipaan dan surface facilities*

## 2. METODE

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat baja ASTM A252, dengan tegangan luluh min 35.417 Psi (545 MPa) dan tegangan tarik min 60. Psi (455 MPa). Elektroda memakai Middle Grade, Autrod OK 12.22 dengan jenis flux OK Flux 10.71 (by ESAB)

Tabel 1. Standar komposisi kimia logam induk (wt %) ASTM A252

C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Nb	Ti	V
0,08 4	0,01 2	0,533	0,016	0,010	0,00 3	0,01 5	0,00 3	0,01 7	0,02 8	0,02 0	0,02 9	0,00 1	0,00 1

Tabel 2. Komposisi kimia elektrode las (wt %)

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al
0,10	1,09	0,19	0,006	0,004	0,01	0,03	0,01	0,14	0,00

Tabel 3. Komposisi kimia fluks (wt %)

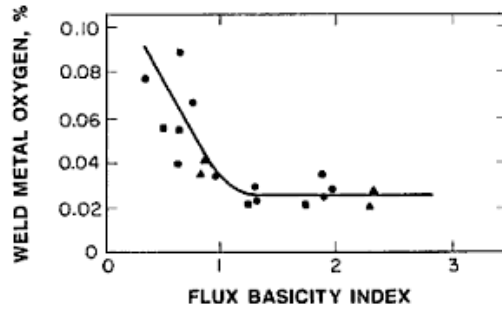
Fluks	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaF <sub>2</sub>	MgO	FeO	MnO	TiO <sub>2</sub>
OK 10,71	20	25	18	25	2	6,2	1

Basicity index (BI) atau index kebasaaan adalah parameter yang digunakan untuk mengetahui derajat kebasaaan las dan menurut Kou, (2003) dinyatakan dengan persamaan:

$$BI = \frac{CaO + CaF_2 + M_g O + K_2O + Na_2O + \frac{1}{2}(MnO + FeO)}{SiO_2 + \frac{1}{2}(Al_2O_3 + TiO_2 + ZrO_2)}$$

Menurut *International Institute of Welding* (IIW) nilai BI dapat di bedakan menjadi 4 jenis yaitu bersifat asam jika  $BI < 1$ , bersifat netral untuk  $1 < BI < 1.5$ , bersifat semi basa untuk  $1.5 < BI < 2.5$  dan bersifat basa jika  $BI > 2.5$ .

Berdasarkan tabel 2 diperoleh nilai  $BI = 1,4$  hal ini menunjukkan bahwa fluks bersifat netral dimana kandungan oksigen yang paling optimum bila basicity indexnya bersifat netral. Kandungan oksigen yang paling optimal pada logam secara umum berada pada rentang 200-300 ppm. Pada rentang tersebut ukuran butir austenit dan jumlah inklusi yang teroptimalisasi untuk menghasilkan ferit acicular dalam jumlah fraksi yang besar dari lasan seperti gambar 2 .



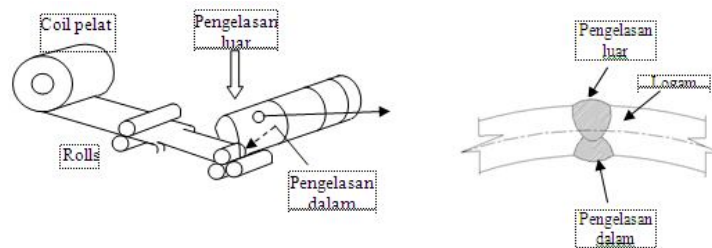
Gambar 2. Hubungan antara BI fluks dengan kandungan  $O_2$  logam las

## 2.1 Pengelasan

Pelat yang berbentuk koil dirol tekuk membentuk pipa spiral dilakukan pengelasan dimulai bagian dalam kemudian pada jarak 1,5 meter dilakukan pengelasan pada bagian luar pipa dengan las SAW seperti terlihat pada gambar 3. Dari model pengelasan spiral kontinyu yang divariasasi adalah pengelasan luar pipa. Prosedur pengelasan adalah menurut standard AWS A5.17

Tabel 4. Parameter Las

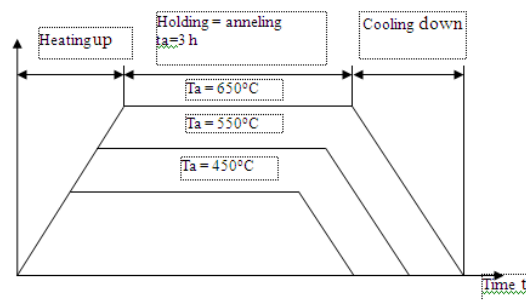
Coil No	Outside Weld		Inside Weld		Weld Speed mm/s	Heat input kJ/mm	Polaritas
	Amper	V	Amper	V			
841208	800	35	675	35	10	2,8	DCSP



Gambar Error! No text of specified style in document.. Proses pengelasan pipa spiral

## 2.2 Perlakuan panas pasca pengelasan (PWHT)

Tungku pemanas digunakan untuk memanaskan spesimen uji sampai temperatur yang telah di tentukan. Pengujian ini menggunakan tungku merk hofmann.

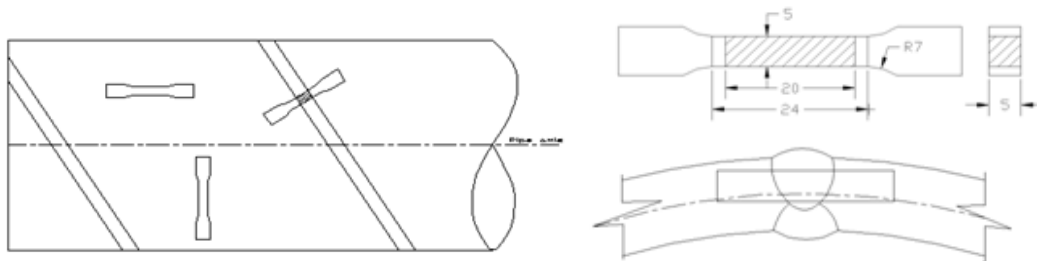


Gambar 4. Proses *Post Weld Heat Treatment*

Spesimen uji tarik, uji impak, uji kekerasan, dan uji laju korosi (ketahanan korosi), dimasukan kedalam *furnace*, kemudian diatur suhu sampai 450 °C, 550 °C dan 650 °C, kemudian ditahan selama satu 3 jam, selanjutnya didingin lambat di dalam tungku pemanas

### 2.3 Pengujian Tarik

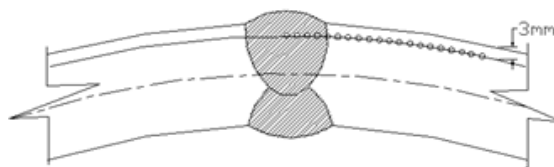
Uji tarik Gambar 5 banyak dilakukan untuk mengetahui kekuatan suatu bahan. Hasil uji tarik diperoleh sifat mekanis suatu bahan uji antara lain : batas elastis, kekuatan luluh dan kekuatan tarik yang besarnya tergantung pada jenis bahan uji itu sendiri.



Gambar 5. Spesimen Uji Tarik (JIS Z 2201 no 7)

### 2.4 Pengujian Kekerasan

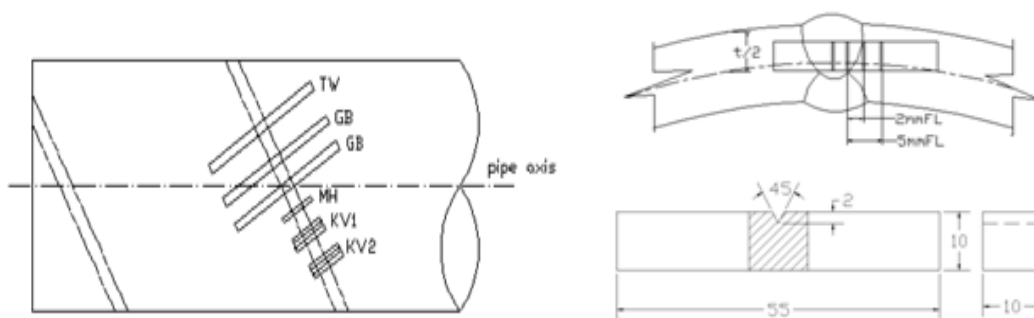
Pengujian kekerasan seperti pada Gambar 6 dilakukan dengan metode pengujian kekerasan mikrovickers (VHN) dengan indenter kecil (microhardness), beban 500 gf pada jarak antar titik 500 µm dari logam induk, HAZ, dan daerah nugget sehingga diperoleh nilai besaran injakan kemudian dikonversikan atau dihitung menjadi nilai kekerasan



Gambar 6. Spesimen uji kekerasan

### 2.5 Pengujian Ketangguhan Impak

Pengujian impak digunakan untuk mengukur ketangguhan suatu material. Ketangguhan suatu bahan adalah kemampuan bahan tersebut untuk menyerap energi pada daerah plastis. Cara pengujian impact ada dua macam yaitu *Charpy*. Dari pengujian impact akan diperoleh 2 buah sudut, yaitu : Sudut  $\alpha$  (sudut antara pemukul pada saat kedudukan awal sampai saat membentur benda uji Sudut,  $\alpha$  : 157°) dan Sudut  $\beta$  (sudut antara pemukul pada saat membentur benda uji sampai dengan jarak sisa benturan ayunan setelah membentur).

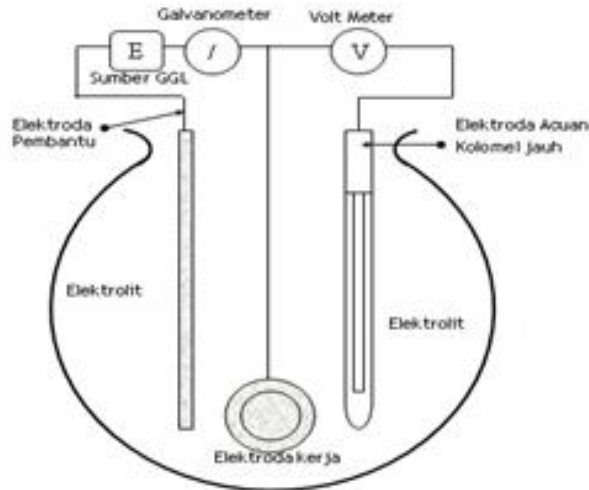


Gambar 7. Spesimen uji impak

Pengujian dilakukan dengan memvariasi temperatur uji untuk mengetahui suhu transisi dari kondisi ulet ke kondisi getas. Temperatur uji yang digunakan adalah -60°C, -30°C, 0°C, 30°C dan 60°C. Dengan pengujian pada logam induk, daerah logam las dan HAZ masing-masing spesimen untuk setiap satu variasi suhu dan variasi temperature PWHT.

### 2.6 Pengujian Laju Korosi

Pengujian laju korosi dengan tiga sel elektroda didasarkan pada metode eskstrapolasi tafel. Sel tiga elektroda merupakan perangkat laboratorium baku untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat-sifat korosi bahan. Gambar 8 memperlihatkan alat uji laju korosi tipe sel tiga elektroda dengan potensiostat tipe PGS-201T milik Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB) - BATAN Yogyakarta.



Gambar 8. Skema alat uji korosi sel tiga elektroda ( Trethewey, 1991 )

Laju korosi dari rumus didapat dalam satuan mils per year dapat diartikan sebagai mili per tahun yang berarti hilangnya berat sebagian spesimen karena pengaruh korosi dalam satuan mili inci per tahun. Konversi mils per year ke satuan metrik dapat dilihat dari rumusan di bawah ;

$$1 \text{ mpy} = 0,0254 \frac{\text{mm}}{\text{yr}} = 25,4 \frac{\mu\text{m}}{\text{yr}} = 2,9 \frac{\text{nm}}{\text{yr}} = 0,805 \frac{\rho\text{m}}{\text{yr}}$$

Tabel 5. Perbandingan Mpy dan Metric ( Jones, 1992)

Relative corrosion resistance	Mpy	$\frac{\text{mm}}{\text{yr}}$	$\frac{\mu\text{m}}{\text{yr}}$
Outstanding	<1	<0.02	<25
Excelent	1-5	0.02-0.1	25-100
Good	5-20	0.1-0.5	100-500
Fair	20-50	0.5-1	500-1000
Poor	50-200	1-5	1000-5000
Unacceptable	200+	5+	5000+

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Baja paduan rendah adalah sekelompok baja paduan yang mempunyai kadar karbon %C<0.2 sama dengan baja lunak dan ditambah dengan sedikit unsur-unsur paduan (Wiryoemarto,2000). Hasil pengujian komposisi kimia Tabel 1 menunjukkan kadar karbonnya adalah 0,084 % dan terdapat unsur-unsur paduan dengan % berat yang rendah, maka baja ini diklasifikasikan menjadi baja paduan rendah (*low alloy steel*).

Berdasarkan hasil komposisi kimia bahan sebelum pengelasan, harga  $C_{eq}$  adalah 0,179 atau < 0,4 sehingga bahan baja ASTM A252 mempunyai sifat mampu las yang baik (Vargas, 2006). Baja karbon yang memiliki  $C_{eq}$  rendah memiliki kemampuan pengelasan yang baik dimana semakin rendah harga  $C_{eq}$  semakin rendah pula kepekaan terhadap retak dingin pada sambungan las dan HAZ.

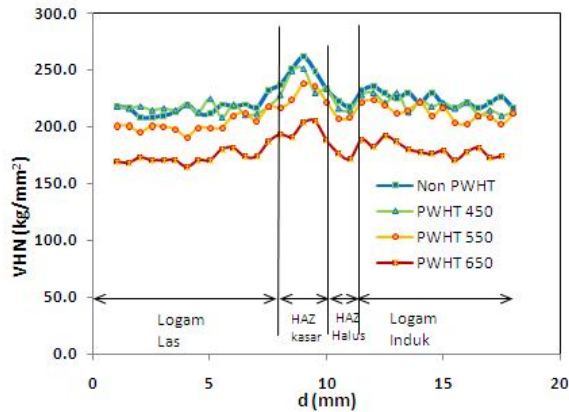
Hasil pengujian komposisi Tabel 6 menunjukkan unsur Mangan (Mn) memiliki jumlah persen berat yang besar. Unsur ini akan berpengaruh terhadap pembentukan inklusi dan akhirnya mempengaruhi jumlah ferit acicular yang terbentuk selama pengelasan (Jang dan Indacochea, 1987)

Tabel 6. Hasil uji Komposisi kimia daerah las (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Mo	Ni	Al	Cu	Sn	Ti	Zn	Ca	W	Fe
0,154	0,177	1,042	0,012	0,014	0,004	0,024	0,027	0,037	0,007	0,037	0,003	0,004	0,006	97,95

#### 3.1 Kekerasan

Distribusi kekerasan pada sambungan las tanpa PWHT, PWHT 450°C, PWHT 550°C dan PWHT 650°C terlihat pada Gambar 9. Kekerasan logam menyatakan ukuran ketahanan terhadap deformasi plastik atau deformasi permanen.



Gambar 9. Distribusi nilai kekerasan (VHN)

Hasil uji kekerasan *microVickers*, memperlihatkan kekerasan tertinggi untuk semua perubahan tempertaur PWHT terjadi pada daerah HAZ kasar. Hal ini disebabkan karena terbentuknya struktur mikro bainit. Struktur bainit terjadi karena adanya proses pembesaran austenit saat pemanasan dan proses pendinginan pada proses pengelasan.

Perlakuan PWHT dengan waktu penahanan 3 jam menyebabkan nilai kekerasan mengalami penurunan. Penurunan kekerasan paling besar terjadi pada PWHT 650°C, di daerah las rata-rata 171,9 VHN, HAZ kasar rata-rata 196,5 VHN, HAZ halus rata-rata 178,8 VHN dan logam induk rata-rata 178,9 VHN.

Distribusi nilai kekerasan yang berbeda pada masing-masing perlakuan menunjukan bahwa spesimen las tanpa PWHT mempunyai nilai kekerasan paling tinggi dibandingkan dengan spesimen yang lain. Perubahan suhu PWHT mengakibatkan logam menjadi semakin lunak

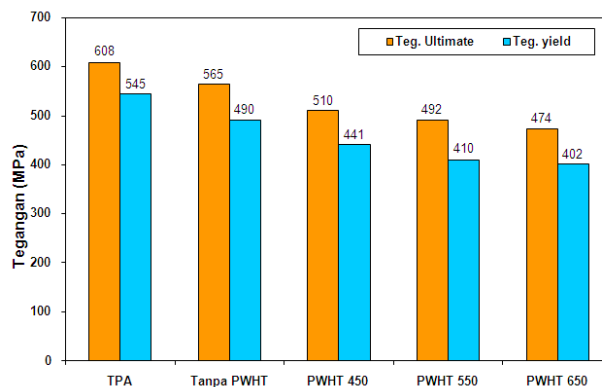
Nilai kekerasan pada daerah HAZ dan las tidak boleh lebih dari 22 HRC (248 VHN) untuk mencegah *sulfide stress cracking* (Ramirez, 2005). Hal ini terbukti dengan perlakuan PWHT daerah las dan HAZ terjadi penurunan kekerasan, dimana penurunan kekerasan paling besar terjadi pada PWHT 650°C.

Adanya penurunan kekerasan setelah PWHT disebabkan logam yang mengalami work hardening, bila dipanaskan pada suhu di atas 0,4 Tsolidus (proses annealing/PWHT), mengalami pengurangan energi regangan dan menyebabkan butir-butir baru yang bebas regangan, yang disebut rekristalisasi. Proses ini menyebabkan perubahan pada sifat mekanisnya, yaitu kekuatan dan kekerasan akan turun, sedangkan keuletan dan ketangguhan naik (AWS, 2001).

### 3.2 Tegangan Tarik

Pengujian tarik ini meliputi pengujian daerah las. Hasil uji tarik daerah las terlihat bahwa spesimen patah pada daerah HAZ halus karena daerah ini mempunyai kekuatan tarik yang lebih rendah dibanding dengan daerah lain.

Hasil uji tarik pada Gambar 10 menunjukan bahwa tegangan tarik pada sambungan las tertinggi terjadi pada spesimen tanpa PWHT sebesar 567 MPa dan tegangan luluh 482 MPa. Tegangan tarik terendah terjadi pada spesimen PWHT 650°C yaitu sebesar 474 MPa dan luluh 383 MPa mengalami penurunan tegangan tarik 93 MPa atau sebesar 16,4% dan tegangan luluh 99 atau sebesar 20,5% dari spesimen tanpa PWHT.

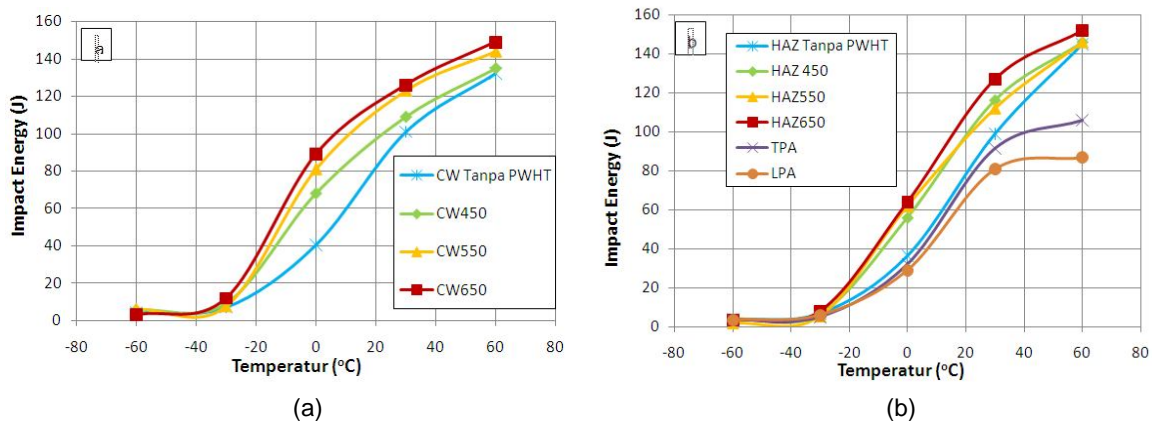


Gambar 10. Grafik uji tarik

Minimum tegangan tarik (*ultimate strength*) logam induk ASTM A252 sebesar 455 MPa dan tegangan luluh 310 MPa, sehingga perlakuan PWHT untuk semua variasi temperatur masih memenuhi persyaratan.

### 3.3 Ketangguhan

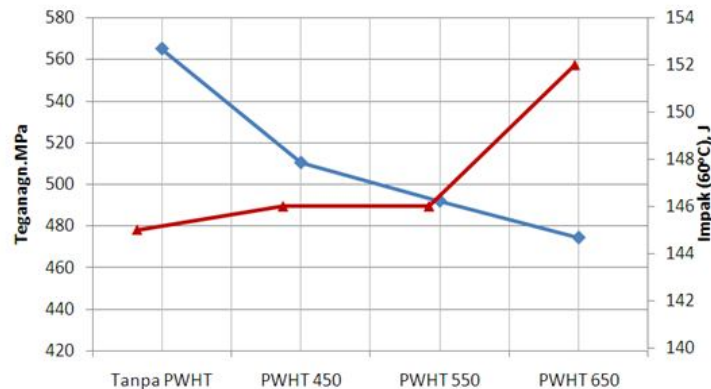
Pengujian impak dilakukan pada suhu  $-60^{\circ}\text{C}$ ,  $-30^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ , dan  $60^{\circ}\text{C}$ . Gambar 11 menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pengujian maka nilai ketangguhan dari sambungan las semakin tinggi. Sementara itu semakin tinggi suhu PWHT akan mempengaruhi nilai ketangguhan.



Gambar 11. Grafik Uji Impak, (a) daerah Las, (b) daerah HAZ

Nilai ketangguhan tertinggi untuk las pada temperatur  $0^{\circ}\text{C}$  sebesar  $89\text{ J}$  terjadi saat PWHT  $650^{\circ}\text{C}$  sedangkan daerah HAZ nilai ketangguhan tertinggi temperatur  $0^{\circ}\text{C}$  sebesar  $64\text{ J}$  pada suhu  $650^{\circ}\text{C}$ . Hal ini dapat diartikan bahwa pengelasan ini sesuai untuk sambungan konstruksi karena memiliki ketangguhan yang disyaratkan yaitu minimum  $27\text{ joule}$  pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$  atau  $7\text{ joule}$  pada suhu  $-50^{\circ}\text{C}$  (API, 2000)

Temperatur transisi adalah temperatur yang menunjukkan transisi perubahan jenis perputahan suatu bahan bila diuji pada temperatur yang berbeda-beda. Pengujian dengan temperatur yang berbeda-beda maka akan terlihat bahwa pada temperatur tinggi material akan bersifat ulet (*ductile*), dan pada temperatur rendah material akan bersifat rapuh atau getas (*brittle*). Semakin kecil suhu transisi maka ketangguhan logam semakin baik. Gambar 11(a) Suhu transisi pada logam daerah pengelasan tanpa PWHT adalah  $15^{\circ}\text{C}$ , Pada Gambar 11(b) suhu transisi untuk daerah las  $650$  mempunyai suhu transisi yang paling kecil sebesar  $-5^{\circ}\text{C}$ . Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan PWHT dapat meningkatkan ketangguhan.



Gambar 12. Grafik hubungan tegangan tarik dan ketangguhan impak karena pengaruh variasi temperatur PWHT

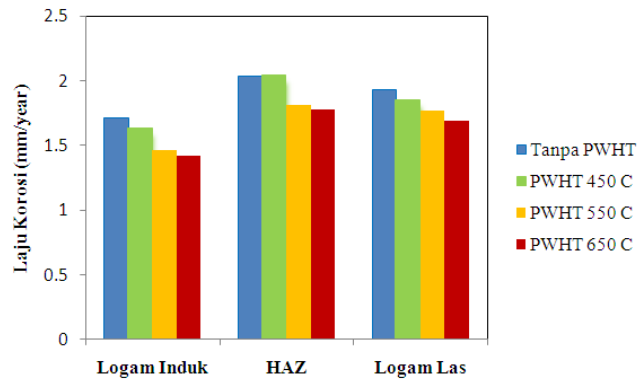
Namun demikian, dari hasil uji tarik terjadi penurunan yang tajam untuk tegangan tarik maksimum dan tegangan luluhnya, karena pengaruh variasi temperatur PWHT. Gambar 12 menunjukkan bahwa pengaruh variasi temperatur PWHT terhadap tegangan tarik maksimum dan ketangguhan impak bisa didapatkan titik optimum pada temperatur PWHT  $550^{\circ}\text{C}$ .

### 3.4 Pengujian korosi

Pengujian korosi dilakukan dalam medium elektrolit yang berupa larutan  $\text{FeCl}_3$  dengan konsentrasi  $0,3\%$ . Dari hasil pengujian ini didapat berupa grafik Tafel. Pada grafik Tafel ini terdapat kurva polarisasi yang menggambarkan hubungan antara potensial ( $E$ ) dengan satuan  $\mu\text{V}$  sebagai fungsi log arus ( $I$ ) dalam satuan ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ).

Berdasarkan data yang dihasilkan, jika makin kecil laju korosi maka baja memiliki resistensi yang tinggi terhadap korosi dan juga sebaliknya, apabila laju korosi makin besar maka ketahanan terhadap korosi makin rendah.





Gambar 13. Grafik hasil pengujian laju korosi

Pada gambar 13 terlihat bahwa hasil perhitungan dari data pengujian bahwa tiap-tiap spesimen memiliki laju korosi yang berbeda-beda. Spesimen PWHT menunjukkan terjadinya penurunan laju korosi jika dibandingkan spesimen tanpa PWHT.

Salah satu fungsi PWHT adalah untuk mengurangi tegangan sisa pada daerah las dan HAZ (Vlack, 1981) akibat berkurangnya tegangan sisa maka akan semakin meningkatkan ketahanan terhadap stress corrosion cracking (SCC).

#### 4. SIMPULAN

Pengaruh perubahan suhu PWHT terhadap logam las dan HAZ;

- Kenaikan temperatur Tanpa PWHT, PWHT450, PWHT550 dan PWHT 650°C dapat menurunkan kekerasan, tegangan tarik (*ultimate strength*) las dan meningkatkan ketangguhan las. Titik pertemuan antara kekuatan tarik dan ketangguhan didapat nilai optimum pada temperatur PWHT 550°C
- Nilai ketangguhan tertinggi pada temperatur 0°C sebesar 89 J terjadi saat PWHT 650°C sedangkan daerah HAZ nilai ketangguhan tertinggi temperatur 0°C sebesar 64 J pada suhu 650°C.
- Pengaruh temperatur PWHT pada masing - masing spesimen logam las dan logam induk akan meningkatkan ketahanan korosi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wiryosumarto, H. dan Okumura, T., *Teknologi Pengelasan Logam*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 2000.
- [2] API., *API Specification 5L Forth-Second edition "Specification for Line Pipe"*. Washington : API Publishing Service, 2000,
- [3] Sonawan, H., Suratman, R., *Pengantar untuk Memahami Pengelasan Logam*, Alfa Beta, Bandung, 2004.
- [4] Abson, D.J. and Pargeter, R.J., *Factors influencing As-deposited strength, microstructure and toughness of manual metal arc weld suitable for C-Mn steel fabrications*, International Metal Review, vol.31, No.4, pp 141-193, 1986.
- [5] C. Smith, P. G. H. Pistorius, *The effect of a long post weld heat Treatment on the integrity of a welded joint in a pressure vessel steel*. Elsevier Science Limited, 1996.
- [6] Harrison, P.L, dan Farrar, R.A., *Influence of Oxygen-rich Inclusions on the  $\gamma$  Phase Transformation in High Strength Low Alloy (HSLA) Steel Weld Metals*, Journal of Material Science, 16, pp 2218-2226, 1981.
- [7] Messler, R.W., *Principles of Welding Processes, Physics, Chemistry, & Metallurgy*, John Wiley & Sons, New York, 1999.
- [8] Vlack, V., *Ilmu dan Teknologi, Bahan terj.Sriati Djaprie*, Cetakan ke-empat, Erlangga, Jakarta, 1981.