



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH KONTROL TEMPERATUR TERHADAP RETAK  
DINGIN PADA PENGELASAN BAJA TEBAL HSLA UNTUK  
*ARM EXCAVATOR***

**TESIS**

**TAUFIQULLAH  
0706304851**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL  
KEKHUSUSAN DESAIN MANUFAKTUR  
DEPOK  
DESEMBER 2009**

**Universitas Indonesia**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH KONTROL TEMPERATUR TERHADAP RETAK  
DINGIN PADA PENGELASAN BAJA TEBAL HSLA UNTUK  
*ARM EXCAVATOR***

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik**

**TAUFIQULLAH  
0706304851**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL  
KEKHUSUSAN DESAIN MANUFAKTUR  
DEPOK  
DESEMBER 2009**

**Universitas Indonesia**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**



**Nama : Taufiqullah  
NPM : 0706304851  
Tanda Tangan :**

**Tanggal : 28 Desember 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :  
Nama : Taufiqullah  
NPM : 0706304851  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul tesis : **Pengaruh Kontrol Temperatur Terhadap Retak Dingin pada Pengelasan Baja Tebal HSLA Untuk Arm Excavator**

**Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Winarto, M.Sc. (.....)

Penguji : Prof. Dr. Ir. Eddy S. Siradj, M. Eng (.....)

Penguji : Dr. Ir. Dedi P, DEA (.....)

Penguji : Badrul Munir, PhD (.....)

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 5 Januari 2010

Universitas Indonesia

## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Program Studi Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini, Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Bapak Dr. Ir. Winarto MSc. sebagai pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
- (2) Bapak Bambang Haryanto, serta jajaran Direksi dan Manajer PT Komatsu Indonesia yang telah memberikan bantuan selama masa perkuliahan;
- (3) Bapak Pratjojo Dewo dan Bapak Jamalludin yang telah banyak membantu dan memberikan *support* selama perkuliahan hingga penyusunan tesis ini;
- (4) Rekan-rekan *Design Section* & Fabrikasi PT Komatsu Indonesia yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- (5) Ayahanda Sudirno dan Ibunda Mamnu'ah, serta keluarga yang memberikan dukungan dan mendoakan demi menyelesaikan tesis saya;
- (6) Istriku Myrna Saptarini, serta anak-anakku Alifah Finandya dan Alike Mirfatya yang telah memberikan dukungan dan mendoakan saya selama perkuliahan hingga penyusunan tesis ini;
- (7) Seluruh staf pengajar dan karyawan Departemen Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang telah ikut serta memberikan masukan dan dukungan; dan
- (8) Semua pihak yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengelasan di Indonesia.

Depok, 28 Desember 2009

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Taufiqullah  
NPM : 0706304851  
Program Studi : Teknik Metalurgi Dan Material  
Departemen : Metalurgi Dan Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Pengaruh Kontrol Temperatur Terhadap Retak Dingin pada Pengelasan Baja Tebal HSLA Untuk *Arm Excavator***

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia / formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 28 Desember 2009  
Yang menyatakan

( Taufiqullah )

**Universitas Indonesia**

## ABSTRAK

Nama : Taufiqullah  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Pengaruh Kontrol Temperatur Terhadap Retak Dingin pada Pengelasan Baja Tebal HSLA Untuk *Arm Excavator*

Pada pengelasan baja, fenomena *cold cracking* atau retak dingin merupakan problem yang sangat signifikan. Fenomena ini sering terjadi setelah proses pengelasan selesai. Retak ini bisa terjadi pada daerah *heat affected zone* (HAZ) maupun pada logam las. Secara umum, *cold cracking* dapat diketahui dan dinyatakan sebagai hadirnya hidrogen dan tegangan pada struktur mikro yang sensitif terhadap retak pada kondisi temperatur di bawah 150°C.

Proses pengelasan pelat tebal baja paduan rendah kekuatan tinggi (*high strength steel*) dalam pembuatan komponen memiliki resiko yang cukup tinggi terhadap terjadinya fenomena *cold cracking*. Hal ini disebabkan adanya dua parameter yang saling mendukung yaitu pelat tebal dan baja paduan rendah untuk kemungkinan terbentuknya struktur mikro yang sensitif terhadap retak. Baja paduan rendah kekuatan tinggi memiliki sensitivitas terhadap retak relatif tinggi karena memiliki nilai karbon ekuivalen (CE) yang tinggi. Sedangkan pelat tebal, laju pendinginan pengelasan menjadi lebih cepat karena daya serap panas lebih besar jika dibanding dengan pelat tipis. Pengontrolan laju pendinginan menjadi faktor utama pada proses pengelasan pelat tebal baja paduan rendah kekuatan tinggi untuk mendapatkan hasil lasan yang bebas dari *cold cracking*.

Dalam penelitian ini dilakukan pengontrolan laju pendinginan pada proses pengelasan baja HSLA dengan tebal 40mm dengan menggunakan media pendinginan udara, *blanket* dan *heater electric*. Proses pengelasan yang digunakan *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) dengan parameter pengelasan mengikuti parameter yang tercantum pada standar.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa *cold cracking* dapat dihindari dengan mengontrol waktu pendinginan pada temperatur rendah ( $T_{300} - T_{100}$ ) agar lebih besar dari waktu pendinginan kritisnya. Penggunaan media pendinginan berupa *electric heater* dapat mencegah terjadinya *cold cracking* pada daerah HAZ lasan HSLA. Retak dapat terjadi karena adanya konsentrasi tegangan, variasi lokal kekerasan dan struktur mikro serta adanya patahan getas pada permukaan retak.

Kata Kunci : Baja Paduan Rendah Kekuatan Tinggi, *Cold Cracking*, Laju Pendinginan, Kekerasan & Struktur Mikro, Fraktografi



## ABSTRACT

*Name : Taufiqullah*  
*Study Program : Metallurgy and Materials Engineering*  
*Title : Influence of Temperature Control on Cold Cracking in Thick Plate HSLA Welding for Arm Excavator*

*Cold cracking phenomenon is a very significant problem on steel weld. This phenomenon usually occurs after welding process finished. Crack often occurs on heat affected zone area. Generally, cold cracking is caused due to hydrogen diffuse during welding process and stress on micro structure which is susceptible to the crack at low temperature (under 150°C).*

*Welding process on thick plate high strength low alloy steel has high risk to cold cracking phenomenon. The cooling rate of thick plate during welding will increase the absorption of heat compare to thin plate. On the other hand, high strength low alloy steel is susceptible to the crack due to high carbon equivalent (CE). Controlling cooling rate is the main factor on thick plate HSLA welding process in order to prevent cold cracking phenomenon.*

*This research will be done by controlling cooling rate on welding process of HSLA steel which have thickness of 40mm and using cooling media such as air, blanket and electric heater. Welding process is carried out by using Gas Metal Arc Welding (GMAW) with welding parameter as stated on the WPS.*

*The result showed that prevention of cold cracking can be done by controlling cooling time at low temperature ( $T_{300} - T_{100}$ ) in order to keep cooling time larger than critical cooling time. The use of cooling media with electric heater can prevent the cold cracking at the HAZ of HSLA weldment. Crack can be found on the weldment due to the presence of stress concentration, local variation of hardness and micro structure and presence of brittle fracture on the crack surface.*

*Key word : High Strength Low Alloy Steel, Cold cracking, Cooling Rate, Hardness & Microstructure, Fractography*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS TESIS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR / UCAPAN TERIMA KASIH .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan .....	5
1.3. Perumusan Masalah .....	5
1.4. Pembatasan Masalah .....	6
<b>BAB 2 LANDASAN TEORI.....</b>	<b>8</b>
2.1. Retak Dingin .....	8
2.1.1. Fenomena Retak Dingin pada Lasan .....	8
2.1.2 Faktor yang Berpengaruh Terhadap Retak Dingin .....	11
2.1.2.1 Kadar Hidrogen .....	11
2.1.2.2 Tegangan Sisa .....	14
2.1.2.3 Struktur Mikro .....	16
2.1.2.4 Temperatur .....	20
2.2. <i>Gas Metal Arc Welding</i> (GMAW) .....	22
2.3. <i>High Strenth Low Alloy Steel</i> (HSLA) .....	26
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>29</b>
3.1. Prosedur Penelitian .....	29
3.2. Persiapan Bahan .....	30
3.2.1. Logam Induk ( <i>Base Metal</i> ) .....	30
3.2.2. Logam Pengisi ( <i>Filler Metal</i> ) .....	32
3.3. Pengelasan .....	33
3.3.1 Proses Pengelasan.....	33
3.3.2 Parameter Pengelasan .....	35
3.4 Pengukuran .....	36
3.5 Pemeriksaan NDT .....	37
3.6 Preparasi Spesimen Uji .....	38
3.7 Pengujian .....	39
3.7.1 Pengujian Mekanis .....	39

3.7.2 Pengamatan Struktur Mikro .....	40
3.7.3 Pengamatan Fraktografi dengan SEM .....	41
<b>BAB 4 HASIL PENELITIAN .....</b>	<b>42</b>
4.1. Hasil Pengukuran Temperatur Pendinginan .....	42
4.2. Hasil Pemeriksaan NDT Menggunakan Ultrasonik .....	43
4.3. Hasil Pemeriksaan Kekerasan .....	45
4.4. Hasil Pengamatan Metalografi .....	45
4.4.1. Pengamatan Secara Makro .....	45
4.4.2. Pengamatan Secara Mikro .....	47
4.5. Hasil Pengamatan Fraktografi menggunakan SEM .....	53
<b>BAB 5 PEMBAHASAN.....</b>	<b>54</b>
5.1 Laju Pendinginan .....	54
5.2 Pemeriksaan NDT .....	56
5.3 Pemeriksaan Distribusi Kekerasan .....	56
5.4 Pengamatan Metalografi .....	58
5.4.1 Pengamatan Struktur Makro.....	58
5.4.2 Pengamatan Struktur Mikro .....	59
5.5 Pengamatan Fraktografi Menggunakan SEM.....	60
<b>BAB 6 KESIMPULAN .....</b>	<b>61</b>
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>62</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	(a) Posisi Retak di Bagian <i>Boss Arm</i> Hasil Pengecekan Ultrasonik (b) Posisi Retak pada Sampel Potongan <i>Boss Arm</i> .....	2
Gambar 2.1	Retak Dingin pada HAZ (a) pada Lasan <i>Fillet</i> (b) pada Lasan <i>Butt</i> .....	9
Gambar 2.2	Contoh Retak Dingin pada Daerah HAZ Lasan (a) <i>Root Crack</i> (b) <i>Toe Crack</i> .....	10
Gambar 2.3	Contoh Retak Dingin pada Logam Las .....	10
Gambar 2.4	Difusi Hidrogen dari Logam Las ke HAZ Selama Pengelasan .....	11
Gambar 2.5	Kelarutan Hidrogen pada Logam Las Berkurang Seiring Penurunan Temperatur .....	11
Gambar 2.6	Variasi Koefisien Difusivitas Hidrogen pada Baja Terhadap Temperatur .....	12
Gambar 2.7	Hidrogen Logam Las Sebagai Fungsi Variabel Proses .....	13
Gambar 2.8	Pengaruh Konsentrasi Tegangan pada Retak dingin .....	14
Gambar 2.9	Pengaruh Jumlah <i>Welding Pass</i> pada Tegangan Sisa .....	15
Gambar 2.10	Distribusi Tegangan Sisa Terhadap Ketebalan Pelat pada Pengelasan <i>Multipass</i> .....	16
Gambar 2.11	Perbandingan antara Karakteristik Patahan Baja Bainit (a) Permukaan Patahan Sebelum Bermuatan Hidrogen (b) Permukaan Patahan Setelah Bermuatan Hidrogen (c) Lintasan Zig-Zag Patahan <i>Cleavage</i> .....	17
Gambar 2.12	Hubungan Kekerasan Daerah HAZ dan Derajat <i>Embrittlement</i> pada Beberapa Tipe Baja .....	18
Gambar 2.13	Kekerasan Struktur Mikro Tergantung pada Laju Pendinginan Lasan .....	19

Gambar 2.14	Pengaruh Temperatur pada Hidrogen <i>Embrittlement</i> dari Simulasi Material HAZ Hasil dari <i>Notched Tensile Strength Test</i> .....	20
Gambar 2.15	Hubungan Temperatur Pendinginan ( $T_{300-100}$ ) terhadap Koefisien Sensitivitas Retak ( $P_w$ ) .....	21
Gambar 2.16	Nilai Difusi Hidrogen .....	22
Gambar 2.17.	Skema peralatan las semi otomatis .....	23
Gambar 2.18	Skema pergerakan <i>weld gun</i> .....	24
Gambar 2.19	Karakteristik dari sambungan ( <i>weld bead</i> ) yang buruk .....	25
Gambar 2.20	Karakteristik dari sambungan ( <i>weld bead</i> ) yang baik.....	25
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian .....	29
Gambar 3.2	Persiapan Bahan Sebagai Logam Induk Pengelasan .....	30
Gambar 3.3	Skematis Desain Konstruksi Lasan .....	31
Gambar 3.4	Gulungan Logam Pengisi .....	32
Gambar 3.5	(a) Mesin Las GMAW (b) <i>Heater Electric</i> dan <i>Ceramic Pad Heater</i> .....	33
Gambar 3.6	Persiapan Sebelum Pengelasan .....	34
Gambar 3.7	(a) Urutan Proses Pengelasan (b) Posisi Proses Pengelasan .....	34
Gambar 3.8	(a) Pengontrolan Laju Pendinginan dengan Udara (b) Pengontrolan Laju Pendinginan dengan <i>Blanket</i> .....	36
Gambar 3.9	(a) Pengontrolan Laju Pendinginan dengan <i>Heater Electric</i> (b) Pengaturan Laju Pendinginan pada Panel <i>Heater Electric</i> .....	36
Gambar 3.10	Data <i>Recorder</i> dari <i>Heater Electric</i> .....	37
Gambar 3.11	Pengukuran Temperatur dengan Cara Manual .....	37
Gambar 3.12	Pemeriksaan dengan Ultrasonik .....	38

Gambar 3.13	Skematis Gambar Daerah Distribusi Kekerasan yang Diuji .....	40
Gambar 4.1	Retak (Garis Putih) Terjadi Untuk Media Pendinginan Udara .....	43
Gambar 4.2	Retak (Garis Putih) Terjadi Untuk Media Pendinginan <i>Blanket</i> .....	43
Gambar 4.3	Tidak Ada Retakan Untuk Media Pendingina <i>Heater 1</i> .....	44
Gambar 4.4	Tidak Ada Retakan Untuk Media Pendinginan <i>Heater 2</i> .....	44
Gambar 4.5	Hasil Lasan Mengalami Retak pada Media Pendinginan Udara ....	45
Gambar 4.6	Hasil Lasan Mengalami Retak pada Media Pendinginan <i>Blanket</i> ....	46
Gambar 4.7	Hasil Lasan Tidak Mengalami Retak pada Media Pendinginan <i>Heater 1</i> .....	46
Gambar 4.8	Hasil Lasan Tidak Mengalami Retak pada Media Pendinginan <i>Heater 2</i> .....	47
Gambar 4.9	Struktur Mikro Logam Induk, SHT 780, Perbesaran 200X .....	47
Gambar 4.10	Struktur Mikro Daerah HAZ, Perbesaran 200X .....	48
Gambar 4.11	Struktur Mikro Daerah <i>Fusion Line</i> , Perbesaran 200X .....	48
Gambar 4.12	Struktur Mikro Daerah Logam Las, Perbesaran 200X .....	49
Gambar 4.13	Struktur Mikro Daerah Logam Induk, S45C, Perbesaran 200X.....	49
Gambar 4.13	Struktur Mikro Daerah <i>Back Plate</i> , SS400, Perbesaran 200X .....	50
Gambar 4.14	Struktur Makro Retak di Daerah <i>Fusion Line</i> , Perbesaran 50 X .....	51
Gambar 4.15	Struktur Mikro Retak di Daerah <i>Fusion Line</i> , Perbesaran 100 X ....	51
Gambar 4.16	Struktur Mikro Retak di Daerah <i>Fusion Line</i> , Perbesaran 200 X ....	52
Gambar 4.17	Struktur Mikro Retak di Logam Las, Perbesaran 200 X .....	52
Gambar 4.18	Permukaan Patahan dari Daerah Retak, Menunjukkan <i>Brittle Fracture</i> .....	53
Gambar 4.19	Permukaan Patahan dari Daerah Retak, Menunjukkan <i>Brittle fracture</i> .....	53

Gambar. 5.1. Grafik Laju Pendinginan dari Temperatur 300°C hingga 100°C ..... 54

Gambar 5.3 Distribusi Kekerasan pada Kedalaman 35 mm *Base Metal* ..... 57

Gambar 5.4 Distribusi Kekerasan pada Kedalaman 37 mm *Base Metal* ..... 57



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Besarnya Ukuran Diameter Kawat Las dengan Besar Arus Listrik dan Kecepatan Umpan Kawat Elektroda .....	24
Tabel 2.2.	Kandungan Gas Pelindung dan Pemakaiannya pada Pengelasan GMAW .....	26
Tabel 2.3	Rekomendasi Temperatur <i>Preheat</i> .....	28
Tabel 3.1	Data Sifat Mekanis Baja Konstruksi .....	31
Tabel 3.2	Hasil Uji Spektrometri .....	32
Tabel 3.3	Komposisi Kimia dan Karakteristik Logam Pengisi .....	32
Tabel 3.4	Pengkodean Spesimen Uji .....	39
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran Temperatur Pendinginan .....	42
Tabel 4.2	Kekerasan (Hv) pada Kedalaman 35 mm Pelat Induk .....	45
Tabel 4.3	Kekerasan (Hv) pada Kedalaman 37 mm Pelat Induk .....	45
Tabel 5.1	Data Waktu Pendinginan .....	55
Tabel 5.2	Hasil Pemeriksaan NDT dengan Ultrasonik .....	56