



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PEMANASAN AWAL DAN PERBEDAAN
KETEBALAN PELAT TERHADAP KETAHANAN RETAK
DAN SIFAT MEKANIS BAJA TAHAN AUS CREUSABRO®
4800 DENGAN PENGELASAN SMAW *MULTILAYER***

SKRIPSI

**HERI MULTI JULIANDI HARAHAP
0806331613**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PEMANASAN AWAL DAN PERBEDAAN
KETEBALAN PELAT TERHADAP KETAHANAN RETAK
DAN SIFAT MEKANIS BAJA TAHAN AUS CREUSABRO[®]
4800 DENGAN PENGELASAN SMAW *MULTILAYER***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**HERI MULTI JULIANDI HARAHAHAP
0806331613**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan
Semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
Telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Heri Multi Juliandi Harahap

NPM : 0806331613

Tanda Tangan :



Tanggal : 5 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Heri Multi Juliandi Harahap

NPM : 0806331613

Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material

Judul Skripsi : Pengaruh Pemanasan awal dan Perbedaan Ketebalan Pelat Terhadap Ketahanan Retak dan Sifat Mekanis Baja Tahan Aus CREUSABRO[®] 4800 dengan Pengelasan SMAW *Multilayer*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Winarto M.Sc

Penguji 1 : Dr. Badrul Munir, S.T, M.Eng.Sc

Penguji 2 : Dwi Marta Nurjaya S.T., M.T

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 5 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas ridho-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Winarto, MSc, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan nasehat yang berharga sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Dr. Ir. Akhmad Herman Yuwono M.Phil.Eng., selaku Pembimbing Akademis
3. Bapak Ismadi Sabandi, Isa Ansori, dan Dedi di PT GAMMA BUANA PERSADA yang telah memberikan bantuan dalam proses pengelasan dan pengujian materia untuk pengerjaan skripsi ini.
4. Bapak Roziq Himawan, Ani Rahmat, dan Dwijo di P2TKN BATAN yang banyak memberi masukan dan bantuan pengujian material dalam pengerjaan skripsi ini.
5. PT Tira Austenit dan PT Alpha Austenit yang telah memberikan bantuan material dalam pengerjaan skripsi ini.
6. Rekan Terry Atmajaya di PT FSCM yang telah membantu dalam pengujian material untuk pengerjaan skripsi ini.
7. Teman-teman Angkatan 2008, khususnya yang telah bersama-sama mengerjakan tugas akhir yang telah memberikan bantuan selama pengerjaan skripsi ini.
8. Rona Khairol Pratama, Wahidun Adam dan Achsanul Rizqi, rekan seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir sekaligus sahabat yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Rekan Asisten Laboratoium Metalurgi Fisik, Bdul, Sigma, Vidya, Terry, Ndaw, Allam, dan Dimas yang selalu memberi motivasi dalam pengerjaan skripsi ini.

10. Teman-teman IMMM UI, Primadya Putra, Arif syahputra, Mhd Taher, Khairunnisa Rangkuti, Maulidta Masyithah, Novikha Sari, Ria Triska Handayani, dan Afuza atas support dan do'anya selama ini.
11. Teman-teman seangkatan Metalurgi dan Material 2008 yang telah memberikan rasa kekeluargaan dan kenyamanan selama masa kuliah
12. Teman-teman kosan Bukit Pisang, Noval Listiyanto, Didi Prayitno, Suprayogi, Reza Alfaiz, Andrea Coudillo, Septian Yulianda, Ade Kurniawan, Tezar Prima, Upil, Rizal yang telah 2 tahun bersama berbagi pengalaman baik susah maupun senang di kosan selama masa kuliah. Terutama saat bermain FIFA 12.
13. Tim Futsal Metalurgi FC, Dzulfiqar, Jones, Rojan, Ndaw, Ardilles, Kaka'ng, Bagus, Mendo, Seno, Afif, Haposan, Fajar, Danang, Adam, dan Fazar yang selalu mendukung penulis baik di dalam dan di luar lapangan.
14. Juventus FC Liverpool FC dan Spanyol, tim yang selalu memberi semangat baru bagi penulis dalam pengerjaan skripsi, *You'll Never Walk Alone*.
15. Senior dan junior Metalurgi yang banyak memberikan semangat.
16. Dan secara khusus kepada ayahanda Muhammad Tohar Harahap dan ibunda Duma Sari Pohan, serta saudara-saudara saya Mukhlis Harahap, Mukhsin Harahap, Iskandar Muda Harahap, Doli Indra Marito Harahap dan saudari saya Rizki Dewi Julianti Harahap yang telah banyak memberikan bantuan moral dan juga memberikan motivasi kepada penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis dan penulis juga berharap semoga skripsi ini membawa manfaat dalam pengembangan ilmu.

Depok, 17 Juni 2012

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Heri Multi Juliandi Harahap

NPM : 0806331613

Departemen : Metalurgi dan Material

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

“Pengaruh Pemanasan awal dan Perbedaan Ketebalan Pelat Terhadap Ketahanan Retak dan Sifat Mekanis Baja Tahan Aus CREUSABRO® 4800 dengan Pengelasan SMAW”

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 5 Juli 2012

Yang menyatakan



(Heri Multi Juliandi Harahap)

ABSTRAK

Nama : Heri Multi Juliandi Harahap
Program Studi : Metalurgi dan Material
Judul : Pengaruh Pemanasan awal dan Perbedaan Ketebalan Pelat Terhadap Ketahanan Retak dan Sifat Mekanis Baja Tahan Aus CREUSABRO® 4800 dengan Pengelasan SMAW *Multilayer*

Retak dingin merupakan salah satu permasalahan yang sering terjadi pada pengelasan baja tahan aus. Skripsi ini berisi tentang penelitian pengaruh pemanasan awal dan perbedaan ketebalan pelat Creusabro® 4800 dengan menggunakan pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) *Multilayer*. Elektroda yang digunakan adalah elektroda E 7018 dan MG NOX 35. Sampel yang digunakan terdiri dari delapan buah sambungan pelat baja CREUSABRO® 4800 dengan ketebalan 12 mm dan 16 mm yang dilas dengan variasi elektroda E 7018 dan MG NOX 35 sebagai *root* atau *cap* dengan sistem silang. Dua buah sampel ketebalan 12 mm dan dua buah sampel ketebalan 16 mm diberikan proses pemanasan awal yang dilakukan dengan menggunakan pemanas listrik dengan temperatur pemanasan awal 200⁰C. Kemudian, dua buah sampel ketebalan 12 mm dan dua buah sampel ketebalan 16 mm tidak diberikan perlakuan pemanasan awal. Berdasarkan hasil analisa data, retak dingin tidak muncul pada sampel yang dilas dengan pengelasan *multilayer* dengan perlakuan pemanasan awal dan tanpa perlakuan pemanasan awal. Perlakuan pengelasan *multilayer* dengan variasi *root* elektroda E 7018 dan MG NOX 35 memberikan sifat mekanis yang berbeda. Pemanasan awal memberikan efek menurunkan kekerasan tetapi menambahkan keuletan material. Laju keausan ditentukan oleh jenis elektroda yang digunakan. Dalam hal ini laju keausan elektroda E7018 lebih rendah. Karakteristik HAZ yang terbentuk oleh pengelasan *multilayer* ini sangat berbeda, dimana luas HAZ yang terbentuk ketika pengelasan *root* lebih luas daripada ketika pengelasan *cap*. Fasa yang terbentuk sepanjang daerah HAZ adalah fasa martensit. Begitu juga dengan inti las elektroda E 7018 dan MG NOX 35 yang terbentuk setelah pengelasan sangat berbeda ketika pengelasan *root* dan *cap*. Hal ini jugalah, yang berpengaruh terhadap sifat mekanis material hasil lasan.

Kata kunci : retak dingin, pemanasan awal, perbedaan ketebalan, sifat mekanis, SMAW, *multilayer*

ABSTRACT

Nama : Heri Multi Juliandi Harahap
Study Program : Metalurgi dan Material
Title : Effect of *Preheating* and Different Thickness Plate on Crack Resistance and Sifat mekanis of Creusabro 4800 Wear Resistance Steel Welded by *Multilayer* SMAW Process

Cold cracking is one of the problems that often occur in the welding of wear resistant steel. This thesis contains a study about the influence of preheating and the difference in thickness of the plate Creusabro ® 4800 using the Shielded Metal Arc Welding welding (SMAW) Multilayer. The electrodes used were electrode E 7018 and NOX MG 35. The sample used consisted of eight pieces of steel plate joint CREUSABRO ® 4800 with the thickness 12 mm and 16 mm are welded to the variation of the electrode E 7018 and NOX MG 35 as a *root* or a *cap* with cross-system. Two samples of thickness 12 mm and two samples of thickness 16 mm given preheating is performed using an electric heater with preheating temperature of 200 °C. Then, two samples of thickness 12 mm and two samples of 16 mm thickness are not given preheating treatment. Based on the results of data analysis, cold cracks do not appear on the welded samples with multilayer welding with preheating treatment and without pre-heating treatment. Treatment with a variety of *root* multilayer welding electrodes E 7018 MG NOX 35 provide different mechanical properties. Preheating gives effect to reduce the hardness but adds ductility of the material. Wear rate is influenced by the type of electrodes used. In this case the E7018 electrode wear rate is lower. Characteristics of the HAZ is formed by a multilayer welding is very different, where the wide HAZ is formed when welding *root* wider than *cap*. Phase formed along the HAZ was martensitic phase. Core welding electrodes E 7018 and NOX MG 35 is formed after the welding is very different when weld *root* and *cap*. It is also likely, which affects the mechanical properties of the weld material.

Keywords: cold cracking , preheating, the difference of thickness, mechanical properties, SMAW, Multilayer

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vi
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH.....	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	4
1.4 RUANG LINGKUP PENELITIAN.....	4
1.4.1 Material.....	4
1.4.2 Pengujian.....	5
1.4.3 Tempat Penelitian.....	5
BAB II DASAR TEORI	7
2.1 Baja Tahan Aus CREUSABRO® 4800.....	7
2.2 Mikrostruktur CREUSABRO® 4800 (Baja TRIP).....	9
2.3 Pengertian Pengelasan.....	10
2.4 Pengelasan <i>Shielded Metal Arc</i> (SMAW).....	10

2.4.1 Proses Pengelasan Manual	10
2.4.2 Variable Parameter	12
2.4.3 Elektroda	13
2.4.4 Kelebihan dan Kekurangan	13
2.5 Metalurgi Las	14
2.6 Tegangan Sisa (Tegangan sisa)	15
2.7 Pengertian Distorsi	19
2.8 Retak Dingin (Retak dingin)	22
2.9 Pemanasan Awal (Pemanasan awal)	23
2.9.1 Pengertian	23
2.9.2 Tujuan Pemanasan awal	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Diagram Alir Penelitian	27
3.2 Alat dan Bahan	28
3.2.1 Alat	28
3.2.2 Bahan	28
3.3 Persiapan Sampel	30
3.3.1 Pembuatan Kampuh Las	30
3.3.2 Inspeksi Awal dengan UT <i>Thickness</i>	31
3.3.3 Perlakuan Pemanasan Awal (Pemanasan awal)	31
3.3.4 Proses Pengelasan SMAW (<i>Shielded Metal Arc Welding</i>)	33
3.4 Pengujian dan Pengamatan Sampel	35
3.4.1 Pengamatan Visual, Radiografi dan Ultrasonic Test.	36
3.4.2 Pengamatan Metalografi	36
3.4.3 Pengujian Kekerasan di daerah Logam Las, Haz dan Logam Induk ...	37
3.4.4 Pengujian Kekuatan Tekuk (Bending Test)	38

3.4.5	Pengujian Keausan	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		40
4.1	Data dan Analisa Ketahanan Retak Hasil Pengujian Radiografi	40
4.1.1	Sampel Tanpa Perlakuan Pemanasan awal	40
	MG NOX 35, tanpa perlakuan pemanasan awal	42
4.1.2	Sampel Dengan Perlakuan Pemanasan awal 200°C	44
4.2	Data dan Analisa Ketahanan Retak hasil pengujian ultrasonik	46
4.2.1	sampel ketebalan 12 mm dan 16 mm tanpa pemanasan awal dan dengan pemanasan awal 200°C	46
4.3	Data dan Analisa Kekuatan tekuk	47
4.3.1	Sampel dengan ketebalan 12 mm	47
4.3.2	Sampel dengan ketebalan 16 mm	49
4.3.3	Sampel tanpa pemanasan awal	52
4.3.4	Sampel dengan pemanasan awal 200°C	53
4.4	Data dan Analisa Distribusi Nilai Kekerasan	53
4.4.1	Sampel dengan ketebalan 12 mm	53
4.4.2	Sampel dengan Ketebalan 16 mm	57
4.4.3	Perbandingan Kekerasan Sampel Dengan Ketebalan Yang Berbeda Tetapi Perlakuan Yang Sama	59
4.4.4	Perbandingan distribusi kekerasan arah vertikal sampel ketebalan 12 mm	62
4.4.5	Perbandingan distribusi kekerasan pada arah vertikal pengelasan <i>Multilayer</i> pada ketebalan sampel 16 mm	63
4.5	Data dan Analisa Uji Keausan	64
4.5.1	Laju Keausan Semua sampel	64
4.6	Data dan Analisa Mikrostruktur	67

4.6.1 Analisa Logam Induk Sampel yang di Pemanasan awal dan Tanpa Pemanasan awal	67
4.6.2 Analisa Inti Las pada Sampel Ketebalan 12 mm	69
4.6.3 Analisa Inti Las pada Sampel Ketebalan 16 mm	74
4.6.4 Analisa HAZ pada Sampel Ketebalan 12 mm	79
4.6.5 Analisa HAZ pada sampel dengan ketebalan 16 mm	84
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	89
DAFTAR REFERENSI.....	89
LAMPIRAN	93
LAMPIRAN 1.....	94
LAMPIRAN 2	96
LAMPIRAN 3	97
LAMPIRAN 4	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Contoh aplikasi material tahan aus untuk industri tambang dan alat berat (atas),	2
Gambar 2. 1 Perbandingan nilai kekerasan CREUSABRO® 4800 dengan baja 400 HB <i>water quenched</i> ^[3] .	7
Gambar 2. 2 Mekanisme <i>chip removal</i> pada baja 400 HB <i>water quenched</i> dan baja CREUSABRO 4800 ^[3] .	8
Gambar 2. 3 hubungan strength dan ductility dari <i>high strength steel</i> ^[4]	9
Gambar 2. 4 Ilustrasi mikrostruktur baja TRIP (kiri) dan Mikrostruktur Baja TRIP (kanan) ^[4] .	9
Gambar 2. 5 SMAW. (a) Skematik Alat Las; (b) Proses Pengelasan SMAW ^[5]	11
Gambar 2. 6 Arus Konstan. Keadaan Panjang Busur yang Berubah ^[5]	12
Gambar 2. 7 Polaritas DCEN (kiri) dan DCEP (kanan) pada proses SMAW ^[5] .	13
Gambar 2. 8 Daerah Pengelasan Pada Variasi Temperatur ^[6] .	15
Gambar 2. 9 Skema mekanisme terbentuknya tegangan sisa (tegangan sisa)pada material yang di las ^[6] .	17
Gambar 2. 10 Mekanisme penyusutan ^[7]	19
Gambar 2. 11 distorsi longitudinal ^[7]	20
Gambar 2. 12 distorsi melintang ^[7]	21
Gambar 2. 13 distorsi angular ^[7] .	21
Gambar 2. 14 jenis-jenis distorsi ^[8] .	22
Gambar 2. 15 Grafik temperatur pendinginan dari 300C ke 100 C (T300-100) terhadap. Koefisien Sensitifitas Retak (PW) ^[12]	23
Gambar 3. 1 Diagram Alir Eksperimen	27
Gambar 3. 2 Potongan sebelum pengelasan(kiri), Bentuk sambungan saat pengelasan (kanan)	31
Gambar 3. 3 Pemanasan awal dengan Electrical Heater	32
Gambar 3. 4 Infrared Thermometer	33
Gambar 3. 5 Pengujian Ultrasonik (a) kontak, (b) terendam ^[15]	36
Gambar 3. 6 Lokasi pengambilan Foto mikro dan uji kekerasan ^[16] .	37

Gambar 3. 7 Ilustrasi Pengujian keausan Metode Ogoshi	38
Gambar 4. 1 Hasil pengamatan radiografi sampel CR48-12-1-np	40
Gambar 4. 2 Hasil pengamatan radiografi sampel CR48-12-2-np	41
Gambar 4. 3 Hasil pengamatan radiografi sampel CR48-16-5-np	41
Gambar 4. 4 Hasil pengamatan radiografi sampel CR48-16-6-np	42
Gambar 4. 6 Hasil pengamatan radiografi sampel CR48-12-3-pr	44
Gambar 4. 7 Hasil pengamatan radiografi sampel CR48-12-4-pr	45
Gambar 4. 8 Hasil pengamatan radiografi sampel CR48-16-7-pr	45
Gambar 4. 9 Hasil pengamatan radiografi sampel CR48-16-8-pr	46
Gambar 4. 10 Grafik hasil uji tekuk sampel ketebalan 12 mm	48
Gambar 4. 11 Grafik hasil uji tekuk sampel ketebalan 16 mm	50
Gambar 4. 12 Grafik hasil uji tekuk sampel tanpa pemanasan awal pada ketebalan 12 mm dan 16 mm	52
Gambar 4. 13 Grafik hasil uji tekuk dengan perlakuan pemanasan awal 200° C pada ketebalan 12 mm dan 16 mm	53
Gambar 4. 14 Distribusi Kekerasan pada sampel CR48-12-1-np dan CR48-12-3-pr	55
Gambar 4. 15 Distribusi Kekerasan pada sampel CR48-12-2-np dan CR48-12-4-pr	56
Gambar 4. 16 Distribusi Kekerasan pada sampel CR48-16-5-np dan CR48-16-7-pr	58
Gambar 4. 17 Distribusi Kekerasan pada sampel CR48-16-6-np dan CR48-16-8-pr	59
Gambar 4. 18 Distribusi Kekerasan pada sampel CR48-12-1-np dan CR48-16-5-pr	60
Gambar 4. 19 Distribusi Kekerasan pada sampel CR48-12-4-np dan CR48-16-6-np	61
Gambar 4. 20 Distribusi Kekerasan pada sampel CR48-12-3-pr dan CR48-16-7-pr	61
Gambar 4. 21 Distribusi Kekerasan pada sampel CR48-12-4-np dan CR48-16-8-pr	62

Gambar 4. 22 Distribusi Kekerasan pada sampel ketebalan 12 mm dari arah vertikal.....	62
Gambar 4. 23 Distribusi Kekerasan pada sampel ketebalan 16 mm dari arah vertikal.....	63
Gambar 4. 24 Laju Keausan Semua sampel.....	66
Gambar 4. 25 Mikrostruktur logam dasar sampel tanpa pemanasan awal.....	67
Gambar 4. 26 Mikrostruktur logam dasar sampel tanpa pemanasan awal.....	67
Gambar 4. 27 Mikrostruktur logam dasar sampel.....	68
Gambar 4. 28 Mikrostruktur logam dasar sampel pemanasan awal.....	68
Gambar 4. 29 Mikrostruktur Inti Las Elektroda 7018 CR48-12-1-np.....	70
Gambar 4. 30 Mikrostruktur Inti Las Elektroda E 7018 sampel CR48-12-2-np...	70
Gambar 4. 31 Mikrostruktur Inti Las Elektroda E 7018 CR48-12-3-pr.....	71
Gambar 4. 32 Mikrostruktur Inti Las Elektroda E 7018 CR48-12-4-pr.....	71
Gambar 4. 33 Mikrostruktur Inti Las Elektroda MG NOX 35 CR48-12-1-np	72
Gambar 4. 34 Mikrostruktur Inti Las Elektroda MG NOX 35 sampel CR48-12-2-np.....	72
Gambar 4. 35 Mikrostruktur Inti Las Elektroda MG NOX 35 CR48-12-3-pr	73
Gambar 4. 36 Mikrostruktur Inti Las Elektroda MG NOX 35 CR48-12-4-pr	73
Gambar 4. 37 Mikrostruktur Inti Las Elektroda E 7018 CR48-16-5-np	74
Gambar 4. 38 Mikrostruktur Inti Las Elektroda E 7018 CR48-16-6-np	75
Gambar 4. 39 Mikrostruktur Inti Las Elektroda E 7018 CR48-16-7-pr.....	75
Gambar 4. 40 Mikrostruktur Inti Las Elektroda E 7018 CR48-16-8-pr.....	76
Gambar 4. 41 Mikrostruktur Inti Las Elektroda MG NOX 35 sampel CR48-16-5-np	77
Gambar 4. 42 Mikrostruktur Inti Las Elektroda MG NOX 35 sampel CR48-16-6-np	77
Gambar 4. 43 Mikrostruktur Inti Las Elektroda MG NOX 35 sampel CR48-16-7-pr.....	78
Gambar 4. 44 Mikrostruktur Inti Las Elektroda MG NOX 35 sampel CR48-16-8-pr.....	78
Gambar 4. 45 Mikrostruktur HAZ 1 sampel CR48-12-1-np.....	80
Gambar 4. 46 Mikrostruktur HAZ 2 sampel CR48-12-1-np.....	80

Gambar 4. 47 Mikrostruktur HAZ 1 sampel CR48-12-2-np.....	81
Gambar 4. 48 Mikrostruktur HAZ 2 sampel CR48-12-2-np.....	81
Gambar 4. 49 Mikrostruktur HAZ 1 sampel CR48-12-3-pr.....	82
Gambar 4. 50 Mikrostruktur HAZ 2 sampel CR48-12-3-pr.....	82
Gambar 4. 51 Mikrostruktur HAZ 1 sampel CR48-12-pr.....	83
Gambar 4. 52 Mikrostruktur HAZ 2 sampel CR48-12-4-pr.....	83
Gambar 4. 53 Mikrostruktur HAZ 1 sampel CR48-16-5-np.....	84
Gambar 4. 54 Mikrostruktur HAZ 2 sampel CR48-16-5-np.....	85
Gambar 4. 55 Mikrostruktur HAZ 1 sampel CR48-16-6-np.....	85
Gambar 4. 56 Mikrostruktur HAZ 2 sampel CR48-16-6-np.....	86
Gambar 4. 57 Mikrostruktur HAZ 1 sampel CR48-16-7-pr.....	86
Gambar 4. 58 Mikrostruktur HAZ 2 sampel CR48-16-7-pr.....	87
Gambar 4. 59 Mikrostruktur HAZ 1 sampel CR48-16-8-pr.....	87
Gambar 4. 60 Mikrostruktur HAZ 2 sampel CR48-16-8-pr.....	88



DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Komposisi Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO [®] 4800 (<i>in wt %</i>) ^[3]	4
Tabel 1. 2 Sifat mekanis Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO [®] 4800 ^[13]	5
Tabel 3. 1 Komposisi Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO [®] 4800 (<i>in wt %</i>) ^[3]	28
Tabel 3. 2 Sifat mekanis Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO [®] 4800 ^[13]	29
Tabel 3. 3 Ukuran Sampel CREUSABRO [®] 4800	29
Tabel 3. 4 Komposisi Kimia Elektroda E-7018 (<i>in wt %</i>)	30
Tabel 3. 5 Sifat Mekanis Elektroda E-7018	30
Tabel 3. 6 Komposisi Kimia MG NOX 35 (<i>in wt %</i>)	30
Tabel 3. 7 Sifat Mekanis MG NOX 35	30
Tabel 3. 8 Prosedur Pengelasan Halaman Pertama	34
Tabel 3.9 Prosedur Pengelasan halaman kedua.	36
Tabel 4. 3 Perhitungan Hasil Pengujian Ultrasonik	47
Tabel 4. 4 Hasil uji tekuk sampel Creusabro 4800 ketebalan 12 mm	48
Tabel 4. 7 Hasil uji tekuk sampel Creusabro 4800 16 mm	50
Tabel 4. 8 Distribusi Kekerasan CREUSABRO [®] 4800 ketebalan 12 mm	54
Tabel 4. 9 Distribusi Kekerasan CREUSABRO [®] 4800 ketebalan 16 mm	57
Tabel 4. 10 Perhitungan Laju Keausan Semua Sampel	64

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki berbagai sumber daya mineral yang sangat melimpah untuk dieksplorasi seperti emas, tembaga, nikel, timah, dan jenis lainnya. Pengoptimalan eksplorasi tambang ini perlu didukung oleh peralatan-peralatan yang memiliki kemampuan yang tinggi. Peralatan-peralatan yang banyak digunakan pada industri pertambangan terbuat dari material baja tahan aus. Hal ini disebabkan karena proses eksplorasi yang dilakukan berhubungan dengan mineral dan batuan yang memiliki kekerasan cukup tinggi. Di samping harus memiliki kekerasan yang tinggi, material tahan aus yang digunakan harus memiliki ketangguhan yang cukup baik.

Berbagai jenis material baja tahan aus telah dikembangkan dan diaplikasikan di industri pertambangan. Di antaranya adalah baja mangan, *Ni-Hard*, *high chromium-white iron*, *quenched and tempered steel* dan lain-lain. Kelemahan dari material-material tahan aus di atas adalah nilai kekerasannya yang terbatas serta umur pakainya yang relatif pendek. Untuk itu, dikembangkanlah material baja tahan aus dengan teknologi TRIP (*TRansformation Induced by Plasticity*). Baja TRIP biasanya memiliki sifat yang lebih keuletan ketika awal digunakan sehingga mudah untuk difabrikasi. Namun, nilai kekerasan baja TRIP meningkat cukup signifikan ketika digunakan pada kondisi dimana material mengalami deformasi plastis akibat kondisi abrasi^[1]. Karakteristik seperti itulah yang menyebabkan baja TRIP saat ini banyak digunakan sebagai material tahan aus. Adapun aplikasi baja ini banyak dipakai pada industri tambang maupun industri pembuatan komponen alat berat serta alat pertahanan yang saat ini digalakan di Indonesia.



Gambar 1. 1 Contoh aplikasi material tahan aus untuk industri tambang dan alat berat

Adapun masalah serius dalam proses pengelasan baja ini adalah kerentanan tinggi terhadap retak dingin di HAZ karena sifat kemampukerasan material yang tinggi. Banyak produsen baja saat ini mencoba mengembangkan material baja berkekuatan tinggi namun memiliki daya tahan tinggi terhadap retak di HAZ [2]. Namun, permasalahan terjadinya retak dingin telah menjadi kendala utama dalam aplikasi baja kekuatan tinggi di lapangan.

Mengingat rentannya material baja tahan aus ini terhadap cacat las berupa retakan pada daerah sambungan lasnya, maka hal ini sangat mengganggu dalam proses produksi atau konstruksi baja tersebut karena harus meluangkan waktu untuk melakukan suatu perbaikan. Selain itu, terjadinya penurunan nilai kekerasan yang berhubungan langsung terhadap ketahanan aus dapat mengurangi umur pakai material baja tahan aus tersebut. Hampir semua orang yang telah berpengalaman dalam produksi konstruksi baja tahan aus sangat mengerti tentang fenomena terjadinya retak las dan penurunan nilai ketahanan aus, namun kesulitan dalam melakukan antisipasi. Hal ini disebabkan karena sulitnya untuk mempertahankan nilai kekerasan yang tinggi baja tersebut tanpa adanya retak las yang terjadi setelah proses pengelasan.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Penelitian dilakukan pada pelat baja tahan aus yang umumnya dipakai untuk fabrikasi alat berat dimana membutuhkan ketahanan aus yang cukup tinggi. Selain itu pelat baja yang biasanya digunakan untuk konstruksi alat berat memiliki

ketebalan yang relatif cukup tebal. Hal ini sangat berpotensi menimbulkan retakan pada daerah sambungan las akibat laju pendinginan yang cukup tinggi. Pelat baja yang tebal berperan sebagai suatu media konduktor yang dapat mentransfer panas yang timbul selama proses pengelasan sehingga terjadi laju pendinginan yang cepat dari logam cair.

Pada pengelasan pelat baja dengan tebal yang berbeda, jumlah *heat input* dan temperatur pemanasan awal yang berbeda akan menyebabkan laju pendinginan yang berbeda pula serta nilai kekerasan yang berbeda pula. Pengelasan pelat baja dilakukan dengan metoda pengelasan SMAW menggunakan prosedur las akan berpengaruh terhadap kedalaman penetrasi dari logam pengisi serta kemampuan terhadap proteksi dari gas-gas terlarut pada cairan logam. Metoda Pengelasan SMAW yang dilakukan adalah pengelasan *multilayer*. Pengelasan *multilayer* adalah pengelasan berganda, digunakan ketika keuletan yang maksimum suatu las baja diinginkan atau beberapa lapisan-lapisan diperlukan didalam mengelas logam tebal. Penelitian ini akan menggunakan dua elektroda yang berbeda dalam satu sambungan pengelasan dengan memvariasikan posisi elektroda sebagai *root* atau *cap* untuk setiap pengelasan. Kondisi pengelasan seperti ini akan termodifikasi, pengelasan lapisan kedua seakan memberikan efek *postheat* pada lapisan sebelumnya, dan juga pemanasan awal untuk lapisan sesudahnya.

Pada pengelasan baja dengan tebal pelat yang cukup tebal, besarnya pemanasan awal sangat mempengaruhi ketahanan retak dari pelat yang dilas.

Pemanasan awal bertujuan untuk mengurangi laju pendinginan dari logam pengisi, sementara itu pemanasan awal juga dilakukan terhadap kawat las hal ini bertujuan untuk mengurangi porositas yang terjadi. Hasil lasan dengan besar *heat input* dan pemanasan awal yang berbeda akan dilakukan pengujian mekanis seperti uji kekerasan, uji tekuk dan uji ketahanan aus untuk melihat performanya. Selain itu, juga dilakukan pengujian dengan metode NDT (*Non Destructive Testing*) dan pengamatan metalografi untuk mengamati struktur mikro yang terbentuk pada daerah logam induk, HAZ dan Inti las.

Setelah didapatkan seluruh data kemudian dilakukan analisa dan pembahasan berdasarkan kriteria besarnya *heat input* , pemanasan awal dan

pengelasan *multilayer* terhadap sifat mekanis maupun retakan yang terbentuk pada hasil lasan. Sehingga dari hubungan besarnya *heat input*, pemanasan awal, dan pengelasan *multilayer* terhadap sifat mekanis dan ketahanan retak tersebut akan dapat dipergunakan sebagai acuan dasar dalam mendisain parameter pengelasan untuk baja tahan aus.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kemampulan pada sambungan las tumpul pada berbagai ketebalan pelat baja tahan aus dengan menggunakan proses pengelasan SMAW *multilayer* yaitu pengelasan yang menggunakan dua buah elektroda dalam satu sambungan lasan. Parameter besarnya *heat input*, pemanasan awal pelat, ketebalan pelat dan pengelasan SMAW *multilayer* bertujuan untuk mengetahui hubungan antara besarnya *heat input*, pemanasan awal serta ketebalan pelat dan pengelasan *multilayer* terhadap sifat mekanis (ketangguhan, kekerasan dan keausan) serta ketahanan retak yang akan bermanfaat dalam disain konstruksi sehingga umur pakai material bisa lebih panjang serta waktu fabrikasi tepat waktu.

1.4 RUANG LINGKUP PENELITIAN

Ruang lingkup penelitian meliputi :

1.4.1 Material

Logam induk yang digunakan dalam penelitian ini adalah material pelat baja tahan aus jenis CREUSABRO[®] 4800 dengan komposisi kimia sebagai berikut:

Tabel 1. 1 Komposisi Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO[®] 4800 (*in wt %*)^[3].

C	Mn	Ni	Cr	Mo	S	Ti
0.40	1,30	0,45	0,7	0,20	0,002	0,60

Tabel 1. 2 Sifat mekanis Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO® 4800 ^[13].

Kekerasan (HB)	Tegangan Luluh (MPa)	UTS (MPa)	Pertambahan Panjang (%)	KCVL- 200C (J/Cm2)	E (GPa)
370	900	1200	12	45	205

1. Kawat las yang digunakan :
Elektroda E-7018 dan MG NOX 35
Diamater elektroda : 3,2 mm.
2. Parameter Las yang digunakan sesuai dengan WPS yang telah dibuat.

1.4.2 Pengujian

1. Visual dan X-Ray Radiografi *Test* (RT)
2. *Ultrasonic test* (UT)
3. Kekuatan Tekuk
4. Distribusi kekerasan Logam induk, HAZ dan Logam Las
5. Keausan
6. Mikrostruktur daerah logam induk, HAZ dan Inti Las

1.4.3 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Departmen Metalurgi dan Material, untuk pengelasan dan radiografi dilakukan di PT GAMMA BUANA PERSADA. Uji Ultrasonik dilakukan di P2TKN BATAN dan uji *micro vickers* dilakukan di PT FSCM.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan didasarkan pada fakta lapangan hasil penelitian yang dilakukan dengan perbandingan dengan sumber-sumber yang bersifat teoritis. Sistematikanya adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 DASAR TEORI

Menjelaskan teori mengenai tegangan sisa, retak dingin, distorsi, pemanasan awal dan pengelasan SMAW *multilayer*.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang metodologi penelitian proses preparasi sampel dari material yang diujikan hingga didapatkan kesimpulan dari penelitian.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang penjelasan data hasil pengujian dan analisa berdasarkan hasil pengujian

BAB 5 KESIMPULAN

Berisi tentang tentang kesimpulan dari hasil kegiatan penelitian dan analisa yang dilakukan berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian.

Referensi dan lampiran dimuat pada halaman-halaman terakhir dalam laporan penelitian ini.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Baja Tahan Aus CREUSABRO® 4800

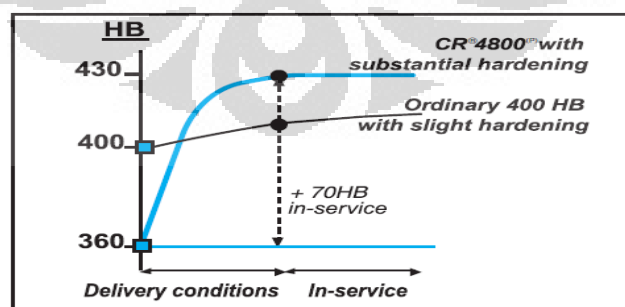
Baja CREUSABRO® 4800 merupakan jenis baja tahan aus yang diproduksi oleh Industeel Group. Baja ini tergolong ke dalam baja HSS (*Hight Strength Steels*) dan tidak memiliki *equivalent* di dalam ASTM ataupun *standard material* lainnya. Komposisi kimia baja CREUSABRO® 4800 adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Komposisi Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO® 4800 (*in wt %*)^[3].

C	Mn	Ni	Cr	Mo	S	Ti
0.40	1,30	0,45	0,70	0,20	0,002	0,60

Baja CREUSABRO® 4800 memiliki performa yang sangat baik ketika diaplikasikan pada kondisi abrasif. Hal ini disebabkan oleh :

- Mikro karbida dari *chromium*, *molybdenum*, dan *titanium* yang tersebar merata di dalam struktur mikro baja CREUSABRO® 4800.
- *Work hardening* selama pengaplikasian yang disebabkan oleh efek metalurgi yang biasa dikenal dengan istilah “TRIP effect” (*TRansformation Induced by Plasticity*).

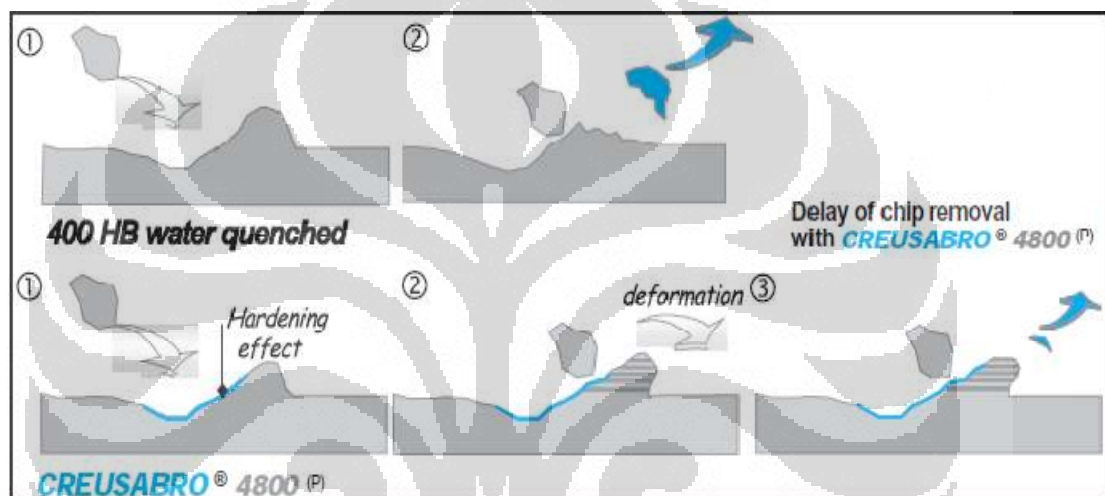


Gambar 2. 1 Perbandingan nilai kekerasan CREUSABRO® 4800 dengan baja 400 HB *water quenched*^[3].

Baja CREUSABRO® 4800 memiliki nilai kekerasan sebesar 360 HB, tetapi setelah digunakan pada kondisi abrasif nilai kekerasannya dapat meningkat

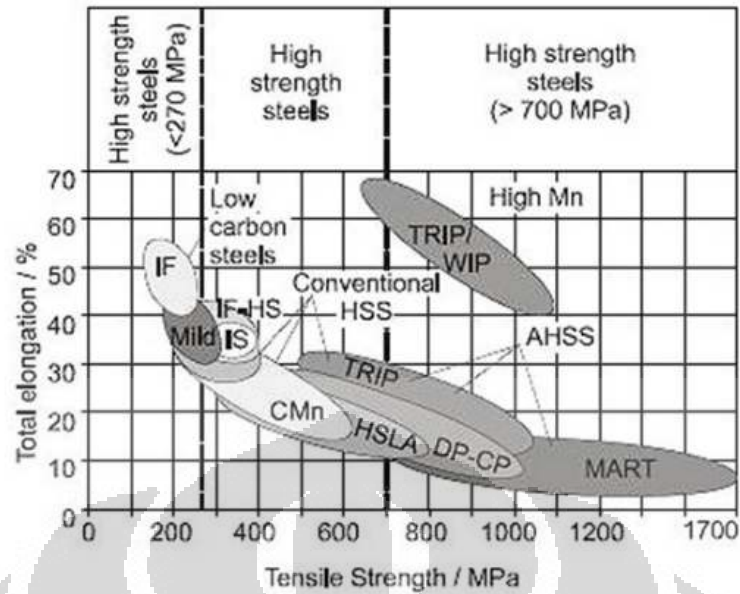
sampai 430 HB. Hal ini terjadi akibat fenomena TRIP (*TRansformation Induced by Plasticity*). Ketika mengalami deformasi plastis lokal, austenit sisa yang terdapat di dalam struktur mikro baja CREUSABRO® 4800 dapat bertransformasi menjadi fasa martensit yang lebih keras sehingga nilai kekerasan baja semakin meningkat.

Dibandingkan dengan baja 400 HB *water quenched*, baja CREUSABRO® 4800 memiliki kemampuan untuk berdeformasi plastis yang lebih baik. Hal ini dapat menunda terjadinya pelepasan partikel ketika mengalami beban kejut selama pengaplikasiannya.



Gambar 2. 2 Mekanisme *chip removal* pada baja 400 HB *water quenched* dan baja CREUSABRO® 4800^[3].

Pengembangan baja TRIP juga berhubungan dengan permintaan terhadap material yang tidak hanya kuat tetapi memiliki keuletan yang baik seperti pada Gambar 2.2. Penambahan unsur paduan seperti silikon dan alumunium memberikan keuletan yang lebih baik. Ditunjukkan bahwa pada nilai kekuatan yang tinggi yaitu 700 mpa baja TRIP memiliki elongasi yang lebih baik daripada *High Strenght Steel* lainnya.

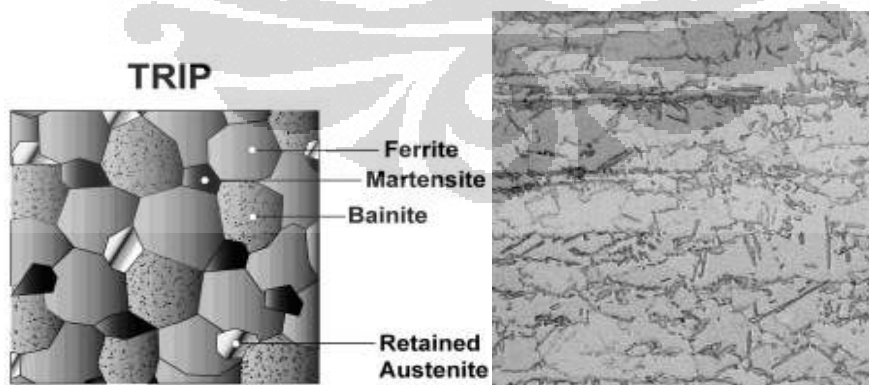


Gambar 2. 3 hubungan strenght dan ductility dari *high strenght steel* ^[4].

Tetapi jenis material CREUSABRO® 4800 ini memiliki kemampuan yang kurang baik karena sangat rentan terhadap retak dingin setelah dilakukan proses pengelasan.

2.2 Mikrostruktur CREUSABRO® 4800 (Baja TRIP)

Mikrostruktur dari baja TRIP terdiri dari austenit sisa yang berada dalam matriks ferrit. Fasa yang sangat keras seperti martensit dan bainit terbentuk ketika austenit sisa yang terbentuk berjumlah 5 % *volume*. Selama deformasi, austenit sisa secara progresif bertransformasi menjadi martensit dengan meningkatnya strain.



Gambar 2. 4 Ilustrasi mikrostruktur baja TRIP (kiri) dan Mikrostruktur Baja TRIP (kanan) ^[4].

2.3 Pengertian Pengelasan

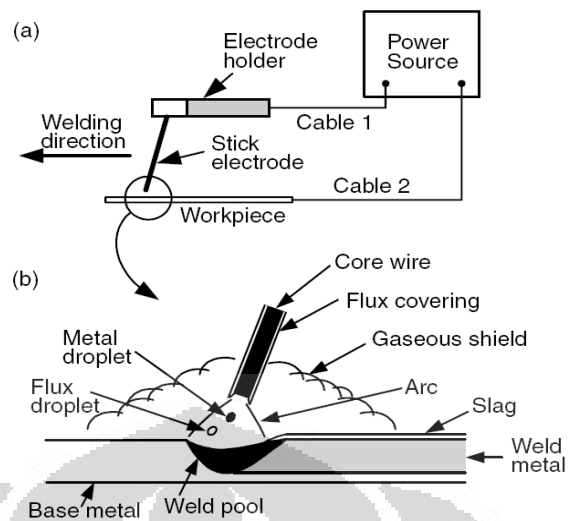
Pengelasan adalah metode paling umum yang sering digunakan dalam penyambungan pada struktur yang terbuat dari logam. Hampir semua konstruksi bangunan teknik dibangun dari beberapa bagian yang harus disambung menjadi satu kesatuan. Hal ini dilakukan untuk mempermudah proses manufaktur, proses perakitan, dan proses transportasi. Metode ini melibatkan pencairan sebagian logam melalui pemanasan dan ketika terjadi pendinginan diharapkan terjadi sambungan yang kuat.

Menurut AWS (*American Welding Society*), pengertian pengelasan adalah penyambungan yang terlokalisir dari suatu logam yang dihasilkan dengan cara pemanasan bahan pada temperatur tertentu dengan atau tanpa diberikan tekanan dengan atau tidak menggunakan logam pengisi.

2.4 Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

2.4.1 Proses Pengelasan Manual

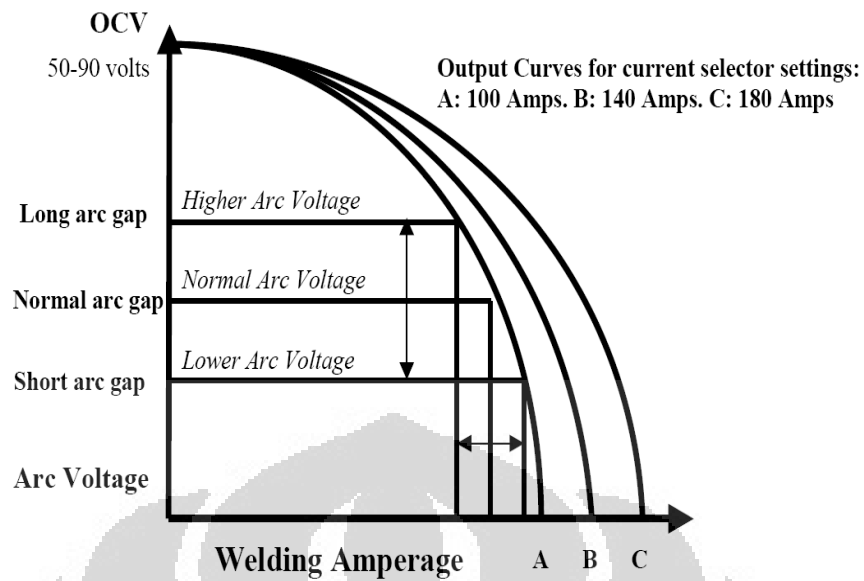
Shielded Metal Arc Welding merupakan proses mencairkan dan menggabungkan logam dengan memanaskannya menggunakan busur listrik, busur tercipta antara elektroda yang dilindungi *flux* dan logam. Proses SMAW biasa disebut dengan *stick welding*. Proses ini merupakan proses yang paling umum dan banyak digunakan pada bidang busur welding dan dapat mengelas berbagai logam dan *alloy*. SMAW adalah proses busur pengelasan yang memiliki arus yang konstan. Pada SMAW, *electrode holder* langsung dihubungkan ke sumber energi dengan menggunakan kabel dan benda kerja (logam yang akan dilas) dihubungkan dengan kabel lainnya ke sumber energi.



Gambar 2. 5 SMAW. (a) Skematik Alat Las; (b) Proses Pengelasan SMAW^[5]

Panas yang dihasilkan oleh busur menyebabkan kawat elektroda dan *flux* mencair sebagai *droplets* (Gambar 2.5 b). logam yang mencair berkumpul di kampuh las dan membeku menjadi *weld metal*. Sedangkan, *flux* ringan yang mencair akan mengapung di kampuh las dan membeku membentuk lapisan *slag* di atas *weld metal*. Sebaliknya, *flux* yang berat akan tetap berada di dalam kampuh las (tidak mengapung) dan membentuk inklusi.

Pada proses SMAW, panjang busur dikontrol sepenuhnya oleh juru las. Juru las berpengalaman dan mempunyai kemampuan yang baik untuk mengelas dapat mempertahankan panjang busur, namun tetap saja akan selalu ada variasi. Panjang busur yang meningkat akan memerlukan voltase untuk mempertahankan busur agar tetap stabil. Hal ini akan mengakibatkan nilai arus menurun. Grafik di bawah ini menggambarkan hubungan antara voltase (V) dan arus listrik (A) menunjukkan efek dari panjang busur. Gambar 2.6 dibawah, menyatakan bahwa perubahan tegangan yang besar hanya mengakibatkan sedikit perubahan amper.



Gambar 2. 6 Arus Konstan. Keadaan Busur *Length* yang Berubah ^[5]

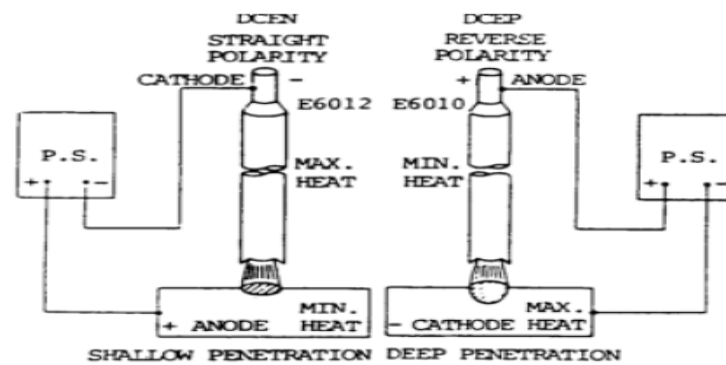
2.4.2 Variable Parameter

1. Voltase (V)

Open Circuit Voltage (OCV) adalah voltase yang diperlukan untuk menyalakan busur listrik dan akan berubah-ubah sesuai elektroda yang sedang digunakan. Pada umumnya, elektrodayang terlapisi membutuhkan OCV sekitar 70 – 90 volt. Tegangan busur pada proses pengelasan di ukur sedekat mungkin dengan busur. Ini hanya variabel yang berubah-ubah pada SMAW dengan perubahan panjang busur dan atau hubungan listrik yang kurang baik.

2. Arus dan Polaritas

Besarnya arus akan ditentukan berdasarkan pemilihan elektroda, diameter elektroda, tipe material, ketebalan, dan posisi pengelasan. Elektroda yang dipakai pada pengelasan SMAW termasuk *consumable electrode*. Saat elektroda diberi polaritas *Direct Current Electrode Negative* (DCEN), dimana elektroda berada pada kutub negatif dan benda kerja pada kutub positif. Panas maksimum terjadi di elektroda sehingga pelelehan elektroda sangat tinggi dan penetrasi las menjadi dangkal. Sebaliknya, Saat *electrode* diberi polaritas *Direct Current Electrode Positive* (DCEP), panas maksimum akan terjadi di benda kerja, sehingga menghasilkan penetrasi las yang dalam.



Gambar 2. 7 Polaritas DCEN (kiri) dan DCEP (kanan) pada proses SMAW [5].

2.4.3 Elektroda

Elektroda yang terlindungi oleh *flux*, mengandung berbagai macam unsur kimia dengan tujuan :

- Perlindungan

Ini menghasilkan *shielding gas* yang berfungsi untuk melindungi logam cair dari udara sekitar.

- Stabilitas busur

Menghasilkan stabilitas busur untuk menjaga agar busur tetap stabil. Senyawanya berupa potasium oksalat dan kalium karbonat.

- *Alloying*

Flux menghasilkan unsur *alloying*. Pada awalnya, unsur ini mengontrol komposisi, kemudian meningkatkan kecepatan deposisi. Dalam penggunaan elektroda, elektroda harus dipanaskan pada suhu 300 – 350 °C. ini bertujuan untuk menghilangkan kelembaban pada elektroda. Setelah satu jam, elektroda tersebut dimasukkan kedalam *holding oven* dengan suhu 120 – 150 °C.

2.4.4 Kelebihan dan Kekurangan

Kelebihan :

- Peralatan simpel dan murah
- Prosesnya dapat digunakan untuk berbagai posisi las
- Sangat *portable*

Kekurangan :

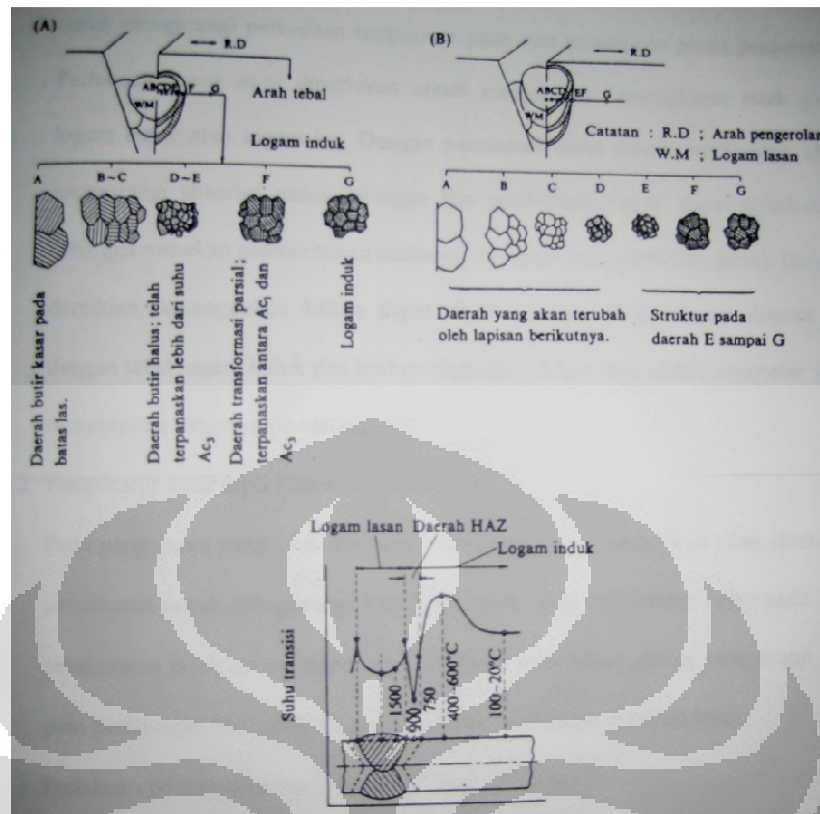
- Membutuhkan juru las dengan kemampuan tinggi
- Busur atau *slag inclusion* dapat terjadi
- Kurang terproteksi dari atmosfer dengan baik
- Asapnya berbahaya

2.5 Metalurgi Las

Untuk memahami proses pengelasan maka pengetahuan tentang metalurgi proses dan metalurgi fisik harus diketahui. Pada logam yang mengalami pengelasan, terjadi *heat input* dan peleburan yang ditandai dengan pelelehan logam pada daerah sambungan las. Panas yang bersumber dari busur listrik akan melelehkan logam induk dan kawat elektroda yang kemudian membeku dan membentuk ikatan pada daerah sambungan las. *Heat input* dan laju pembekuan pada sambungan logam akan mempengaruhi tegangan dan regangan serta transformasi fasa yang terjadi pada material di daerah sambungan yang dapat menyebabkan terjadinya pemuaian dan kontraksi pada material hasil pengelasan. Hal ini sangat mempengaruhi sifat mekanik material hasil pengelasan tersebut. Penerapan yang tepat dari prinsip metalurgi las dapat membantu juru las untuk menghindari terjadinya kesalahan-kesalahan selama proses pengelasan yang berujung pada rendahnya kualitas hasil pengelasan.

Akibat proses pemanasan dan pendinginan, maka pada daerah lasan akan terdapat *gradient temperature*. Daerah hasil pengelasan yang memiliki gradien temperatur tersebut dibagi menjadi empat bagian yaitu :

- a. Daerah peleburan
- b. Daerah Fusi
- c. Daerah HAZ
- d. Daerah logam induk



Gambar 2. 8 Daerah Pengelasan Pada Variasi Temperatur [6].

2.6 Tegangan Sisa

Tegangan sisa pada daerah yang berdekatan dengan daerah lasan merupakan suatu hal yang tidak dapat dihindari. Namun tegangan sisa ini dianggap tidak berbahaya selama material mendapatkan pembebanan statik dibawah tegangan luluh dari material tersebut. Apabila daerah lasan yang mengandung tegangan sisa mendapatkan pembebanan impak maka dikhawatirkan daerah lasan tersebut akan mengalami kegagalan . Dengan kata lain terbentuknya tegangan sisa akibat proses pengelasan menyebabkan material logam menjadi lebih getas . Hal ini tentunya harus dihindari atau diminimalisir karena salah satu kriteria dari hasil pengelasan yang bagus adalah material di daerah lasan memiliki keuletan yang cukup tinggi.

Tegangan sisa yang terbentuk akibat proses pengelasan pada material yang memiliki ketebalan cukup biasanya dapat dihilangkan dengan perlakuan panas pasca las. Selain itu, untuk meminimalisir terbentuknya tegangan sisa pada daerah

sambungan las dapat dilakukan dengan cara mengurangi kecepatan pendinginan logam pengisi dengan cara melakukan proses pemanasan awal. Proses pendinginan sesudah pengelasan menyebabkan perubahan dimensional pada daerah lasan akibat pengaruh temperatur dan perubahan fasa dari logam. Perubahan tersebut dapat menyebabkan retak pada daerah lasan dan daerah terpengaruh panas.

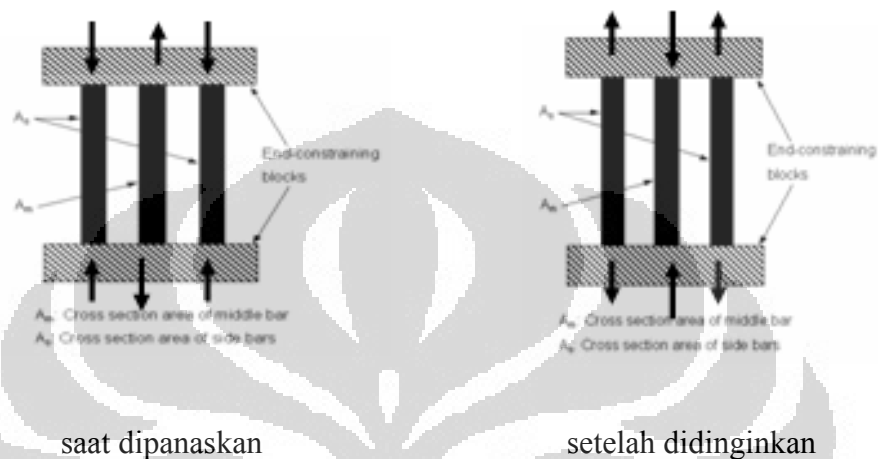
Mematuhi prosedur pengelasan dengan benar adalah hal yang sangat penting jika menginginkan sambungan las yang baik. Prosedur pengelasan dibuat dengan memperhatikan parameter-parameter seperti :

- Proses pengelasan yang digunakan (misal ; GMAW)
- Jenis Logam Induk (misal : HSLA)
- Bentuk sambungan (misal : *Groove, Fillet*)
- Jenis kawat las (misal : ER.70S-6, E71T-1)
- Besar Arus, Tegangan dan Polaritas yang di pakai
- *Heat treatment* (misal : Pemanasan awal, PWHT)

Dari parameter – parameter yang disebutkan diatas dapat dikatakan bahwa *heat input* harus benar-benar diperhatikan. *Heat input* menyebabkan terjadinya proses pemuaian, penyusutan bahan yang di las yang akhirnya akan mempengaruhi besar kecilnya tegangan sisa sambungan las. Tegangan sisa biasa juga disebut sebagai tegangan dalam . Adanya tegangan sisa akan menurunkan sifat-sifat teknik material atau suatu konstruksi seperti: ketahanan fatik (fatigue), ketahanan korosi dan distorsi serta sifat teknik lainnya. Material-material yang biasanya mempunyai tegangan sisa adalah material-material yang pada proses pembuatannya mengalami proses pengubahan bentuk seperti: *rolling, forging* dan pengelasan.

Untuk memahami terbentuknya tegangan sisa dari suatu sambungan las, maka dapat digambarkan seperti terlihat pada Gambar 2.9. Batang Am atau yang terletak di bagian tengah diasumsikan sebagai daerah las, sedangkan batang As diasumsikan sebagai daerah sekitar pengelasan yang tidak mengalami pengaruh panas. Pada saat pemanasan , batang Am mengalami pemuaian, namun di tahan oleh batang As, sehingga dapat dikatakan bahwa batang Am menghasilkan tegangan tekan, sedangkan batang As mengalami tegangan tarik. Saat didinginkan

kembali sampai temperature kamar, batang Am mengalami penyusutan namun ditahan oleh batang As. Pada saat ini batang Am berubah mengalami tegangan tarik, sementara batang As mengalami tegangan tekan. Pada temperatur kamar dapat dikatakan bahwa batang Am mempunyai tegangan dalam tarik, sementara batang As mempunyai tegangan dalam tekan.



Gambar 2. 9 Skema mekanisme terbentuknya tegangan sisa pada material yang di las^[6].

Proses perlakuan panas yang bertujuan untuk mengurangi dan menghilangkan tegangan sisa serta untuk mencegah terbentuknya fasa getas pada daerah, biasanya dapat dilakukan dengan proses berikut :

1. Pemanasan awal

Perlakuan panas ini dilakukan dengan cara memanaskan bagian logam yang akan dilas untuk mengurangi perbedaan temperatur pada saat *heat input* pengelasan. Perlakuan panas awal diperlukan untuk mengurangi kemungkinan retak pada logam induk atau logam las. Dengan pemanasan awal pada logam dasar yang akan disambung, dapat mengurangi kerentanan terhadap *thermal shock* dan dapat menekan terbentuknya fasa getas seperti martensit sehingga ketangguhan material dapat dipertahankan. Perbandingan deposit las dengan tebal logam induk serta karbon ekuivalen dalam baja adalah parameter yang menentukan besarnya temperatur pemanasan awal.

2. Temperatur antar lapis

Pada pengelasan yang lebih dari satu lapisan (*multilayer*) pada pelat tebal, dilakukan pemanasan untuk mengurangi kerentanan terhadap terjadinya retak. Jika temperatur lasan pada lapisan sebelumnya telah menurun maka dapat menyebabkan *heat input* yang terlalu tinggi pada pass berikutnya. Hal ini dapat menyebabkan retakan pada logam lasan.

3. Perlakuan panas paska las (Post Weld Heat Treatment)

Proses ini biasa disingkat dengan PWHT, yang biasanya dilakukan setelah pengelasan selesai. Tujuan PWHT adalah untuk mempertahankan temperatur di daerah lasan, sehingga pendinginan berlangsung dengan lambat. Pelepasan tegangan, difusi hidrogen, dan pembentukan martensit temper pada daerah hasil pengelasan dan daerah terpengaruh panas atau HAZ akan terjadi. Dengan demikian kualitas hasil pengelasan dapat dipertahankan.

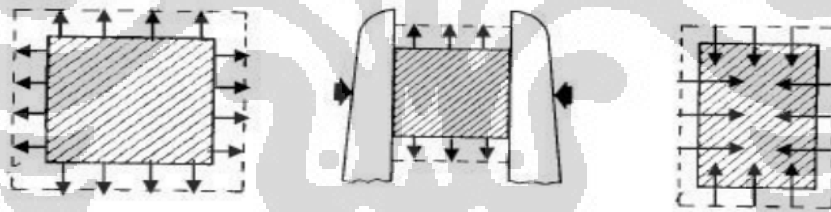
Kebutuhan pemanasan awal dan akhir dari suatu proses pengelasan, tergantung dari kemampulan dari suatu logam. Secara umum kemampulan baja menurun dengan meningkatnya kemampukerasan logam, sebab kemampukerasan mempromosikan terbentuknya mikrostruktur yang sangat rentan terhadap retak. Semakin tinggi kemampukerasan suatu material baja, berarti lebih memungkinkan terbentuknya fasa martensit yang getas dan rentan terhadap retak ketika terjadi penyusutan di daerah lasan. *Carbon Equivalent* (CE) sering dipakai untuk mengestimasi kemampulan baja karbon dan paduannya.

$$CE(\%) = \%C + 1/6\%Mn + 1/5 (\%Cr+\%Mo+\%V) + 1/15(\%Si+\%Ni+\%Cu) \dots(1)$$

Baja dengan CE lebih kecil dari 0,35% biasanya tidak membutuhkan pemanasan awal maupun pemanasan akhir. Sedangkan baja dengan CE antara 0,35% sampai dengan 0,55% hanya membutuhkan pemanasan awal, dan untuk baja dengan CE lebih besar dari 0,55% membutuhkan pemanasan awal dan pemanasan akhir.

2.7 Pengertian Distorsi

Distorsi merupakan perubahan bentuk akibat adanya tegangan dalam logam las yaitu tegangan memanjang dan tegangan melintang. Dalam hal ini distorsi ini disebabkan oleh ekspansi yang tidak merata dari logam las selama periode pemanasan dan pendinginan. Bila logam cair ini dibiarkan membeku secara bebas maka volume dari logam cair tersebut akan mengalami penyusutan secara bebas^[7]. Bila sebuah logam dipanaskan secara merata maka akan terjadi ekspansi atau pengembangan ke segala arah dan setelah terjadi pendinginan maka akan terjadi kontraksi secara merata sampai dimensi semula. Bila suatu batang mendapat tahanan selama dipanaskan maka ekspansi ke arah lateral tidak akan terjadi namun volume ekspansi harus terjadi sehingga batang akan mengalami ekspansi ke arah vertikal. Bila batang tersebut kembali ke temperatur kamar maka kontraksi tetap terjadi ke segala arah secara merata sehingga batang sekarang menjadi berubah bentuk dari bentuk semula^[7]. Ilustrasi mekanisme penyusutan dapat terlihat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 distorsi pada pengelasan.



Gambar 2. 10 Mekanisme penyusutan^[7]

Secara umum, ada beberapa faktor yang memberikan kesempatan lebih besar untuk terjadinya distorsi, antara lain:

- a) Koefisien ekspansi termal yang tinggi
- b) Yield strength yang tinggi
- c) Konduktivitas termal yang rendah
- d) Modulus elastisitas rendah

Menurut parameter pengelasan, juga terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya distorsi:

- a) Tipe penyampungan dan preparasi
- b) Urutan pengelasan

- c) Prosedur pengelasan
- d) Pengelasan bersambung atau pengelasan terputus – putus
- e) Jumlah pass pengelasan
- f) Tegangan alami yang terdapat di dalam struktur las
- g) Pre- dan post-weld heating
- h) Arus, kecepatan las dan jarak busur.

Jenis – Jenis Distorsi

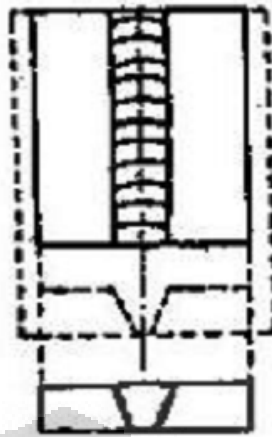
Ada 3 tipe utama distorsi:

- a. Distorsi longitudinal terjadi ketika kontraksi terjadi di sepanjang daerah pengelasan yang menyebabkan kontraksi longitudinal distorsi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.



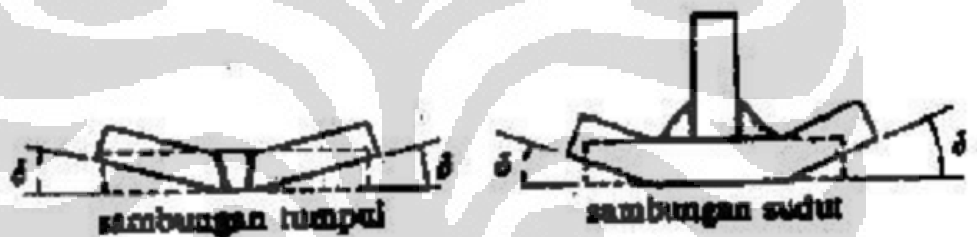
Gambar 2. 11 distorsi longitudinal ^[7].

- b. Distorsi transversal atau penyusutan tegak lurus (melintang) dengan bidang pengelasan dan hal tersebut dapat menimbulkan tegangan sisa yang tinggi yang dapat menyebabkan retak. Iustrasi penyusutan melintang dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 distorsi melintang^[7].

- c. Distorsi angular yang disebabkan oleh tegangan tekuk yang dihasilkan dari pemanasan dan pendinginan yang tidak merata di sepanjang bidang material yang disambung seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13.

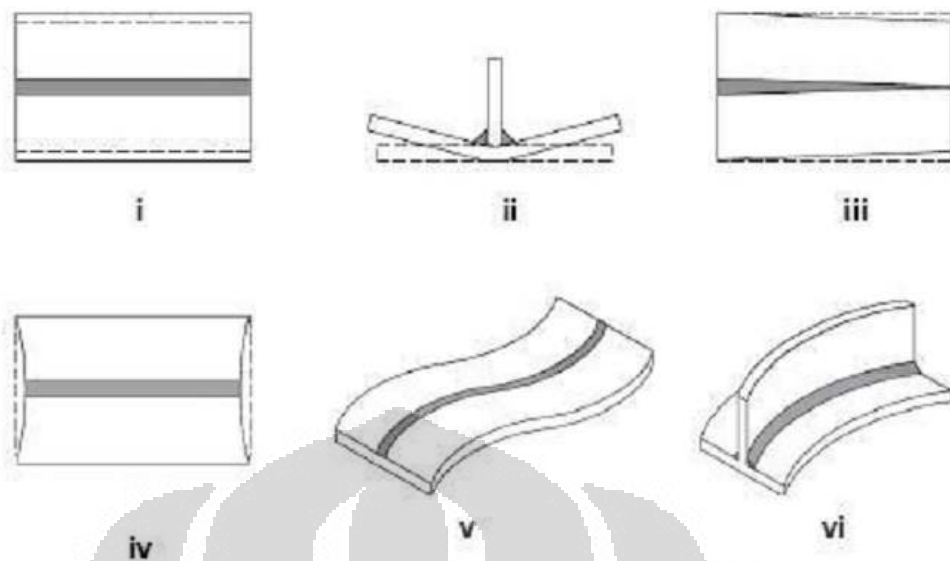


Gambar 2. 13 distorsi angular^[7].

Masubuchi membagi tipe distorsi menjadi enam kategori^[8]:

- a. Penyusutan transversal
- b. Distorsi angular
- c. Distorsi rotasi
- d. Penyusutan longitudinal
- e. Distorsi buckling
- f. Distorsi tegangan tekuk longitudinal

Adapun ilustrasi dari jenis-jenis distorsi yang disebutkan diatas dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 jenis-jenis distorsi [9].

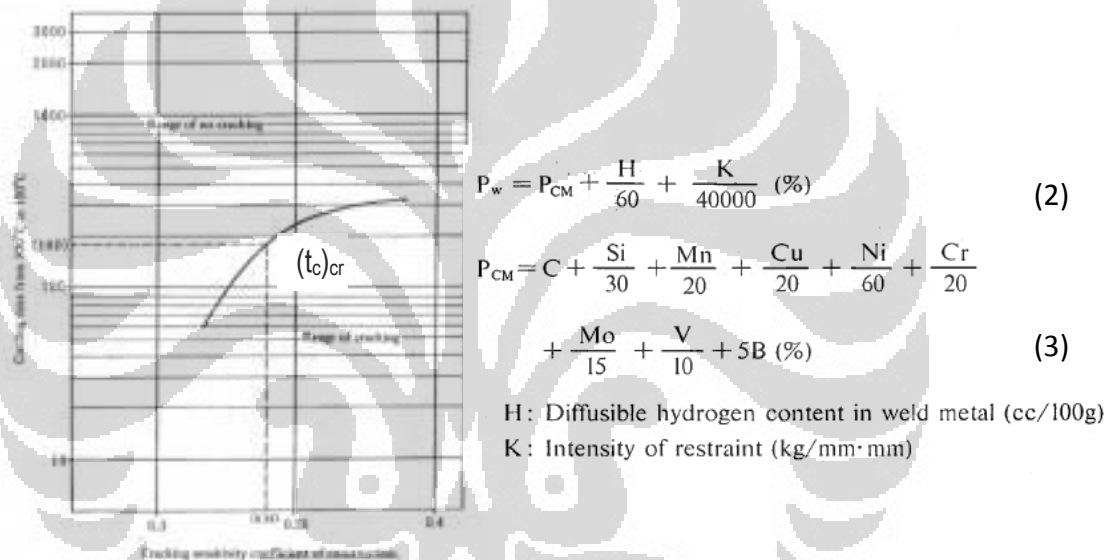
2.8 Retak Dingin

Retak dingin pada beberapa literatur dikenal beberapa istilah seperti retak akibat induksi gas hidrogen (*hydrogen induced cracking*), retak tertunda (*delay cracking*) dan retak dibawah kampuh (*underbead cracking*) [10]. Retak dingin adalah retak yang terjadi pada suhu di bawah 150°C dan retak ini muncul mulai dari beberapa menit hingga beberapa hari. Selain itu, retak dingin tergantung pada tiga faktor yang berinteraksi yaitu: (i) adanya kelarutan gas hidrogen dalam baja, (ii) terbentuknya tegangan sisa yang tinggi, dan (iii) adanya struktur keras seperti martensit [10].

Beberapa penelitian untuk penentuan prosedur pengelasan dalam rangka menghindari retak pada konstruksi baja telah dilakukan oleh beberapa peneliti [1012]. Terjadinya retak las pada umumnya dipengaruhi oleh berbagai faktor termasuk tebal pelat baja, jenis logam pengisi, metode atau proses pengelasan, prosedur las, kondisi lingkungan atmosfer dan desain las yang digunakan. Dalam rangka untuk mencegah retak las, pemanasan awal diberikan sebagai solusi yang sederhana. Namun, banyak faktor mempengaruhi metoda pemanasan awal ini karena adanya kompleksitas dari struktur pengelasan.

Beberapa studi dalam menentukan metode pemanasan telah diusulkan oleh Ito dan Bessyo dengan menggunakan kriteria retak las (P_w) [11]. Kriteria retak las

(P_w) dapat memperkirakan terjadinya retak dari hubungan beberapa parameter seperti (1) komposisi kimia dari pelat baja (P_{CM}), (2) kandungan gas hidrogen di logam lasan (H) dan (3) konstanta regangan material (K). Waktu pendinginan kritis selama pengelasan diindikasikan oleh $(t_c)_{cr}$, yang merupakan waktu minimum pendinginan dari suhu 300 °C sampai 100 °C. Jika waktu pendinginan bagian pengelasan yang sebenarnya lebih besar dari waktu kritis $(t_c)_{cr}$, maka retak tidak akan terjadi. Oleh karena itu, dalam rangka untuk mencegah terjadinya retak, perlu untuk memilih kondisi prosedur las sedemikian rupa sehingga pendinginan saat pengelasan bagian-bagian yang lasan lebih besar dari $(t_c)_{cr}$.



Gambar 2. 15 Grafik temperatur pendinginan dari 300C ke 100 C (T300-100) terhadap. Koefisien Sensitifitas Retak (P_w)^[13]

2.9 Pemanasan Awal

2.9.1 Pengertian.

Pemanasan awal dalam AWS Standard didefinisikan sebagai “panas yang diberikan kepada material induk atau substrat untuk mencapai atau menjaga pada temperatur pemanasan”. Temperatur pemanasan awal didefinisikan sebagai “temperatur dari material induk yang besarnya disekitar temperatur las sebelum dilakukan pengelasan”^[11].

2.9.2 Tujuan Pemanasan awal

Ketika dilakukan pengelasan pada material dan pada saat kondisi tertentu, pemanasan awal atau *post weld heat treatment* (PWHT) terkadang diperlukan. Beberapa tipe perlakuan panas ini pada umumnya dibutuhkan pada saat memastikan kesatuan pengelasan dan juga dapat untuk mencegah atau menghilangkan sifat-sifat yang tidak diinginkan pada saat selesai dilakukan pengelasan. Segala bentuk dari perlakuan panas pasti berdampak pada biaya, seperti perlengkapan ekstra, waktu, dan penanganan yang lebih. Untuk beberapa alasan tersebut, maka perlakuan panas harus dipertimbangkan secara seksama apakah menguntungkan atau tidak. Pada kasus tertentu, perlakuan panas menjadi suatu hal yang wajib dan harus dilakukan karena alasan tertentu^[6].

Adapun pengaruh pemanasan pemanasan awal terhadap kecepatan pendinginan sambungan las sama seperti pengaruh *heat input* yaitu, untuk material yang sama, semakin tinggi nilai pemanasan awal atau *heat input* maka kecepatan pendinginan makin rendah, demikian juga sebaliknya. Kecepatan pendinginan ditentukan beberapa faktor seperti : ketebalan material yang dilas , panas jenis (*specific heat*), berat jenis (*density*) dan daya hantar panas (*thermal conductivity*)^[6].

Pemanasan awal dapat dilakukan dengan menggunakan gas *burners*, *oxy-gas flames*, *electric blankets*, pemanasan induksi, atau dengan dipanaskan di dapur. Untuk hasil yang bagus sangat penting untuk memanaskan secara merata di daerah sekitar yang akan dilakukan pengelasan. Ketika pemanasan yang tidak merata, maka pendinginan yang lambat akan dapat memberikan dampak tegangan sisa, distorsi, atau perubahan secara metalurgi lainnya yang tidak diinginkan^[6].

Ketika melakukan pemanasan awal, seluruh permukaan sambungan yang akan dilas dipastikan diberikan panas merata ke seluruh ketebalan material sampai ke temperature yang diinginkan. Untuk mendapatkan temperatur yang merata ke semua ketebalan material adalah dengan mengarahkan sumber panas ke salah satu bagian material dan mengukur temperatur yang terjadi di bagian lainnya yang berlawanan^[6].

Pada aplikasi khusus, temperatur pemanasan awal harus dikontrol secara tepat. Dalam situasi ini dapat dikontrol dengan menggunakan alat seperti thermocouple sebagai indikator dari temperatur^[6].

Beberapa Alasan dilakukannya pemanasan awal:

a) Untuk menghilangkan uap air dari daerah pengelasan.

Pemanasannya biasanya diarahkan kepada permukaan material dengan temperatur yang relatif rendah, hanya beberapa derajat diatas titik didih air. Hal ini akan membuat permukaan material kering dan mengangkat kontaminan yang tidak diinginkan yang bias menyebabkan porositas, *hydrogen embrittlement*, atau retak karena pengaruh hidrogen selama proses pengelasan^[6].

b) Mengontrol laju pendinginan.

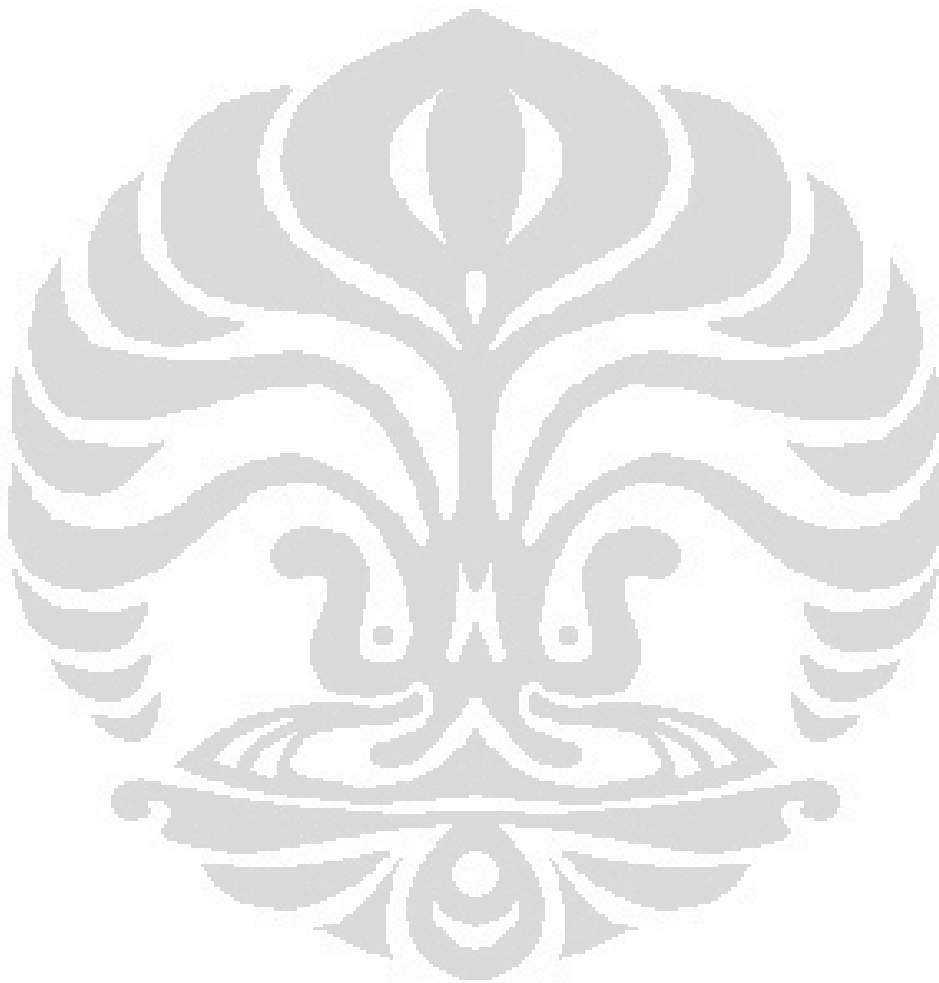
Semua proses pengelasan busur menggunakan sumber panas yang memiliki temperatur tinggi. Perbedaan temperatur yang curam terjadi antara sumber panas yang terlokalisasi dengan material induk yang akan dilas. Perbedaan temperatur ini menyebabkan perbedaan ekspansi termal, kontraksi yang tinggi dan tegangan yang tinggi pada daerah las. Mengurangi perbedaan temperatur yang sangat jauh dapat digunakan dengan cara pemanasan awal atau pemanasan sebelum dilakukan pengelasan yang dapat meminimalisir beberapa masalah dan dapat menyeragamkan pendinginan^[6].

c) Menurunkan tegangan sisa dan distorsi

Ketika pemanasan awal tidak diaplikasikan maka perbedaan temperatur yang tinggi antara daerah las dengan material induk dapat menyebabkan pendinginan yang sangat cepat sehingga memungkinkan terjadinya distorsi karena pendinginan yang tidak merata, apabila material memiliki kemampukerasan yang baik atau kadar karbon yang cukup besar maka akan mempermudah terbentuknya fasa martensit yang rentan terhadap retak^[13].

Untuk menentukan temperatur pemanasan awal ditentukan oleh 3 faktor :

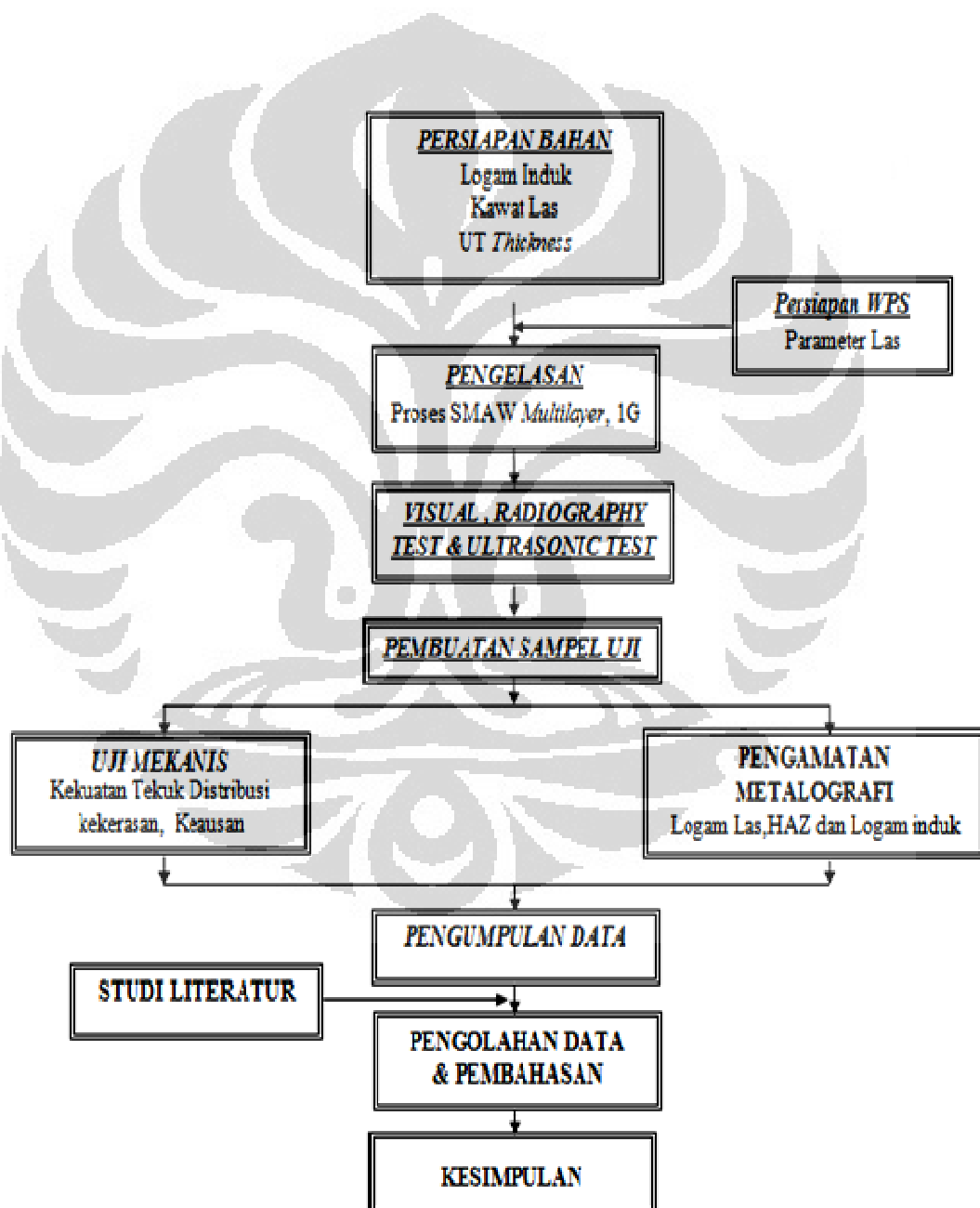
1. Komposisi dan Kekerasan Logam.
2. Kemungkinan dilakukannya *post weld heat treatment*.
3. Ukuran dan dimensi dari material yang akan dilas.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Eksperimen

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Adapun peralatan yang digunakan selama penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Satu set mesin las SMAW
- Penggaris
- Busur
- Gerinda Tangan
- *Cutting Machine*
- Pemanas Listrik
- Termometer *Infrared*
- *Vicker Hardness Testing Machine*
- Mikroskop Optik
- Mikroskop pengukur
- Alat uji Radiografi
- Alat uji Ultrasonik
- Alat uji Tekuk
- Alat uji Aus Ogoshi

3.2.2 Bahan

1. Logam Induk

Logam induk yang digunakan dalam penelitian ini adalah material pelat baja tahan aus jenis CREUSABRO[®] 4800 dengan komposisi kimia sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Komposisi Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO[®] 4800 (*in wt %*) ^[3].

C	Mn	Ni	Cr	Mo	S	Ti
0,40	1,30	0,45	0,70	0,20	0,002	0,60

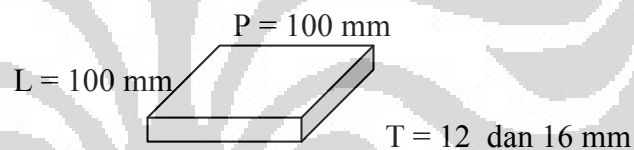
Tabel 3. 2 Sifat mekanis Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO[®] 4800^[3].

Kekerasan (HB)	Tegangan Luluh (MPa)	UTS (MPa)	EL (%)	KCVL-200C (J/Cm2)	E (GPa)
370	900	1200	12	45	205

Ukuran material yang digunakan ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Ukuran Sampel CREUSABRO[®] 4800

Material	Dimensi (mm)
CREUSABRO [®] 4800	100 X 100 X 12 dan 100 x 100x 16



Panjang (P) : 20 cm, Lebar (L) : 5 cm, Tebal (T) : 12 mm dan 16 mm

2. Logam Pengisi (Filler Metal)

Logam pengisi yang digunakan adalah :

- Elektoda E-7018

Elektroda ini biasanya digunakan pada pengelasan baja karbon. Elektroda ini tergolong ke dalam *low hydrogen electrode*.

Tabel 3. 4 Komposisi Kimia Elektroda E-7018 (*in wt %*)

C	Mn	Si	S	P
≤ 0,12	1,6	≤ 0,75	≤ 0,035	≤ 0,04

Tabel 3. 5 Sifat Mekanis Elektroda E-7018

AWS A5.1-91	Tegangan Tarik MPa	Tegangan Luluh Mpa	Pertambahan Panjang %	Test Value J
E7018	572	504	30	50-180

- MG NOX 35 (AWS E307)

Elektroda ini biasanya digunakan pada pengelasan *Stainless Steel* dan *dissimilar metal*. Komposisi kimia dan sifat mekanis elektroda ini adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 6 Komposisi Kimia MG NOX 35 (*in wt %*)

C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo
0,08	0,49	0,008	0,018	4,03	9,67	20,10	1,15

Tabel 3. 7 Sifat Mekanis MG NOX 35

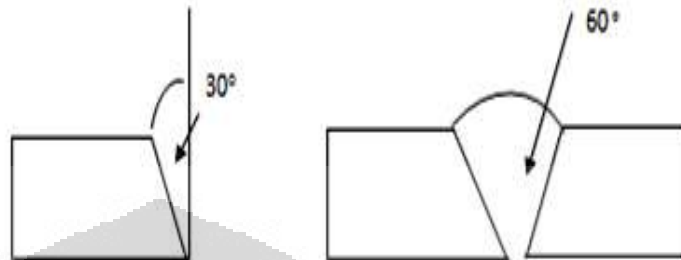
Tegangan Luluh (MPa)	Kekuatan Tarik (MPa)	Pertambahan Panjang (%)	Kekerasan (HV)
442	598	45.0%	200 ~ 475

3.3 Persiapan Sampel

3.3.1 Pembuatan Kampuh Las

Logam induk dipreparasi dengan *bevel* yang besarnya 30° seperti terlihat dibawah ini. Sehingga bentuk sambungan saat pengelasan

berbentuk *Butt Joint Single V* dengan sudut 60° . Preparasi *bevel* pada logam induk dilakukan dengan menggunakan gerinda tangan dan pengukuran dimensinya menggunakan busur dan penggaris.



Gambar 3. 2 Potongan sebelum pengelasan(kiri), Bentuk sambungan saat pengelasan (kanan)

Setelah dibuat kampuh las, selanjutnya logam induk di-*tack weld* untuk menjaga agar gap atau jarak antar pelat sesuai dengan WPS yang telah dibuat. Selain itu, *tack weld* juga bertujuan untuk meminimalisir terjadinya distorsi akibat proses pengelasan.

3.3.2 Inspeksi Awal dengan UT *Thickness*

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa material yang akan digunakan tidak terdapat cacat dengan mengetahui pengurangan ketebalan apabila terdapat cacat di dalam material tersebut.

3.3.3 Perlakuan Pemanasan Awal

Dalam penelitian ini terdapat dua variasi sampel berdasarkan temperatur pemanasan awalnya, yaitu sampel tanpa pemanasan awal dan sampel dengan pemanasan awal sebesar 200°C . Jumlah sampel ini berjumlah 8 buah, 4 buah sampel terdiri dari 2 buah sampel dengan ketebalan 12 mm dan 2 buah sampel dengan ketebalan 16 untuk dilakukan pemanasan awal sampai suhu 200°C dan 4 buah lagi yang terdiri dari 2 buah sampel dengan ketebalan 12 mm dan 2 buah sampel dengan ketebalan 16 mm tidak dilakukan proses pemanasan awal.

Peralatan pemanasan awal material induk menggunakan pemanas listrik, dimana memanfaatkan aliran panas dari panas yang dihasilkan oleh

listrik. Pada Gambar 3.3 diperlihatkan deskripsi pemanasan material induk dengan menggunakan electrical heater.



Gambar 3. 3 Pemanasan awal dengan Electrical Heater

Proses pemanasan awal material induk dilakukan dengan cara menempatkan material langsung di atas heater listrik. Pemanasan dilakukan selama kurang lebih 50-60 menit dengan suhu 250°C yang ditutup dengan *wool* untuk menjaga temperatur pemanasan agar tetap bertahan di kisaran 200°C , pemanasan ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh bagian pelat memiliki temperatur yang seragam serta untuk menghilangkan *moisture* yang mungkin terdapat dipermukaan pelat yang akan dilas. Pengukuran temperatur pada pelat yang telah dilakukan pemanasan awal dilakukan dengan menggunakan *infrared thermometer*.



Gambar 3. 4 Infrared Thermometer

3.3.4 Proses Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Seluruh sampel akan di lakukan proses pengelasan manual dengan metode SMAW baik yang dilakukan pemanasan awal dan yang tanpa pemanasan awal. Pengelasan ini akan menggunakan dua elektroda saat pengelasan yang dikenal dengan istilah *multilayer*. Pengelasan dilakukan sesuai dengan prosedur pengelasan yang telah ditentukan sebelumnya.

Tabel 3. 8 Prosedur Pengelasan Halaman Pertama

Company Name			
Welding Procedure Specification No.	01/WPS	Date	27 Maret 2012
Supporting PQR No.(s)	01/PQR	Date	27 Maret 2012
Welding Process(es)	SMAW	Type(s)	Manual

JOINTS (QW-402)		Details	
Joint Design	GROOVE		
Backing	WITHOUT		
Backing Material (Type)	~		
<input type="checkbox"/> Metal	<input type="checkbox"/> Nonfusing Metal		
<input type="checkbox"/> Nonmetallic	<input type="checkbox"/> Other		
Note: Weld detail shown above is only reference, engineering design drawing shall take precedence for production welding			
BASE METALS (QW-403)			
P-No.	11 B	Group No.	~ to P-No. 11 B Group No. ~
OR			
Specification type and grade	~		
To Specification type and grade	~		
OR			
Chem. Analys and Mech. Prop.	N/A		
To Chem. Analys and Mech. Prop.	N/A		
Thickness Range :			
Base Metal :	Groove	12mm thru 16mm	Fillet ~
Other			
FILLER METALS (QW-404)			
Spec. No. (SFA)	SFA-5.1		
AWS No. (Class)	E 7018 & E 307		
F-No.	4		
A-No.	1		
Size of Filler Metals	3.2 mm		
Weld Metal			
Thickness Range :			
Groove	12 mm		
Fillet			
Electrode- Flux (Class)	E 7018 & E 307		
Flux Trade Name	Tira Austenite (or equivalent)		
Consumable Insert	N/A		
Other			

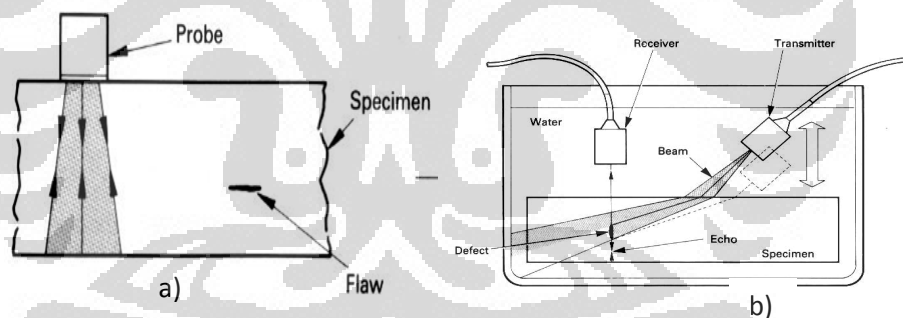
Tabel 3.9 Prosedur Pengelasan Halaman Kedua

		WPS No. MG-09/WPS		Rev. 0				
POSITIONS (QW-405) Position(s) of groove 1G Welding Progression : _____ Down N/A Position(s) of Fillet ALL		POST WELD HEATTREATMENT (QW-407) Temperature Range N/A Time Range N/A						
PREHEAT (QW-406) Preheat Temp. Min. No & 200° C Interpass Temp. Max. 225° C Preheat Maintenance N/A		GAS (QW-408) Percent Composition Gas(es) (Mixture) Flow Rate Shielding N/A Trailing N/A Backing N/A						
ELECTRICAL CHARACTERISTIC (QW-409) Current AC or DC DC Polarity EP Amps (Range) 110 ~ 120 A Volts (Range) 20 ~ 30 Tungsten Electrode Size and Type N/A Mode of Metal Transfer for GMAW N/A Electrode Wire feed speed range N/A								
TECHNIQUE (QW-410) String or Weave Bead STRING & WEAVING (MAX 2.5X CORE DIA.) Orifice or Gas Cup Size N/A Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc) WIRE BRUSH & GRINDING (NON MAGNETIC MATERIAL) Method of Back Gouging GRINDING (NON MAGNETIC MATERIAL) Oscillation N/A Contact Tube to Work Distance N/A Multiple or Single Pass (per side) MULTIPLE Multiple or Single Electrodes MULTIPLE Travel Speed (Range) 150 ~ 250 mm Peening N/A Other _____ _____ _____								
Weld Layer(s)	Process	Filler Metal		Current		Volt Range	mm/min Travel Speed Range	Other (eg. Remark, Comments, Hot Wire, Addition, Technique, Torch Angle, Etc.)
		Class	Dia.	Type Polar.	Amp. Range			
1st / Root	SMAW	E 7018	3,2	DCEP	65 ~ 130	20 ~ 30	150 ~ 250	
Fill	SMAW	E 7018	3,2	DCEP	65 ~ 130	20 ~ 30	150 ~ 250	
Fill	SMAW	E 7018	3,2	DCEP	65 ~ 130	20 ~ 30	150 ~ 250	
Fill	SMAW	E 307	3,2	DCEP	65 ~ 130	20 ~ 30	150 ~ 250	
Fill	SMAW	E 307	3,2	DCEP	65 ~ 130	20 ~ 30	150 ~ 250	
Cap	SMAW	E 307	3,2	DCEP	65 ~ 130	20 ~ 30	150 ~ 250	

3.4 Pengujian dan Pengamatan Sampel

3.4.1 Pengamatan Visual, Radiografi dan *Ultrasonic Test*.

Setelah proses pengelasan selesai, semua sambungan las diperiksa secara Visual dengan berpedoman pada aturan yang tercantum dalam Standar AWS D1.1. Kemudian dilanjutkan dengan pemeriksaan radiografi untuk melihat apakah bagian dalam sambungan las sambungan las tersebut baik atau tidak menurut AWS D1.1. Jika hasilnya baik, proses penelitian dilanjutkan dengan melakukan persiapan pembuatan benda uji tekuk dan kekerasan serta metalografi, kemudian masing-masing benda uji diberi kode. Kemudian apabila ditemukan cacat hasil pengelasan dilakukan pengujian Ultrasonik untuk mengetahui posisi dan kedalam cacat menggunakan gelombang ultrasonik yang diberikan pada obyek melalui sumber (probe), dimana pantulan gelombang akan mengindikasikan ada atau tidaknya cacat. Hal ini bertujuan agar dalam pengambilan material untuk pengujian dapat menghindari bagian yang cacat.

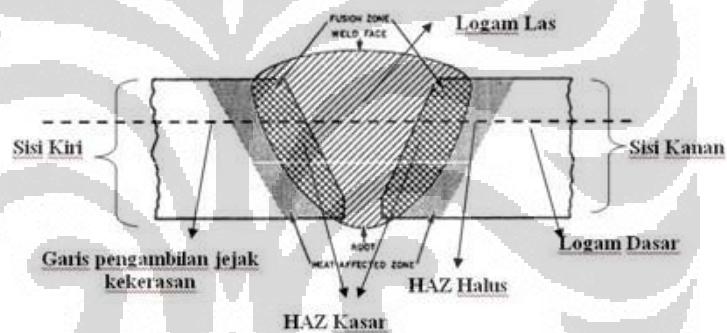


Gambar 3. 5 Pengujian Ultrasonik (a) kontak, (b) terendam ^[15]

3.4.2 Pengamatan Metalografi

Sebelum dilakukan pengujian struktur mikro, sampel terlebih dahulu dipotong. Pemotongan sampel dilakukan dengan menggunakan gerinda potong abrasif dengan menambahkan air terus menerus selama pemotongan dengan tujuan untuk menjaga agar struktur mikro dan tegangan sisa di dalam sampel tidak rusak selama proses pemotongan. Bagian awal yang dipotong adalah bagian ujung sampel sebesar 2 cm dari ujung sampel, hal ini diatur dalam AWS D1.1.

Setelah didapatkan sampel yang baik, kemudian sampel yang akan diuji mikrostrukturnya diambil dari sampel awal yang telah dipotong. Setelah dipotong kemudian sampel di amplas. Setelah dilakukan pengamplasan sampai benar-benar halus maka dilakukan proses pemolesan pada alat poles *ferrous* di Laboratorium Metalografi dan HST Departemen Metalurgi dan Material FTUI. Setelah itu proses pemolesan selesai, maka dilakukan proses etsa dengan menggunakan larutan Nital 2%. Sampel dicelupkan dalam larutan selama 10 detik kemudian dibilas dengan menggunakan air lalu dikeringkan. Pengamatan struktur mikro untuk melihat permukaan hasil lasan secara mikro serta fasa-fasa logam yang terdapat pada hasil lasan. Pengambilan struktur mikro dilakukan pada daerah logam las, HAZ dan logam induk.



Gambar 3. 6 Lokasi pengambilan foto mikro dan uji kekerasan [16].

3.4.3 Pengujian Kekerasan di daerah Logam Las, Haz dan Logam Induk

Pengujian kekerasan ini bertujuan untuk mengamati distribusi kekerasan dari logam las hingga ke logam induk. Hal ini karena kekerasan pada sampel las banyak dipengaruhi oleh distribusi panas yang masuk selama proses pengelasan. Metode yang digunakan dalam pengujian adalah metode penjejakan *vickers*. Pengujian menggunakan standar ASTM E 92. Pada pengujian ini nilai yang diperoleh dari penjejakan adalah diagonal jejak yang kemudian dikonversi menjadi besaran kekerasan material dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{VHN} = \frac{1,854 P}{d^2} \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

P : beban (*gram force*)

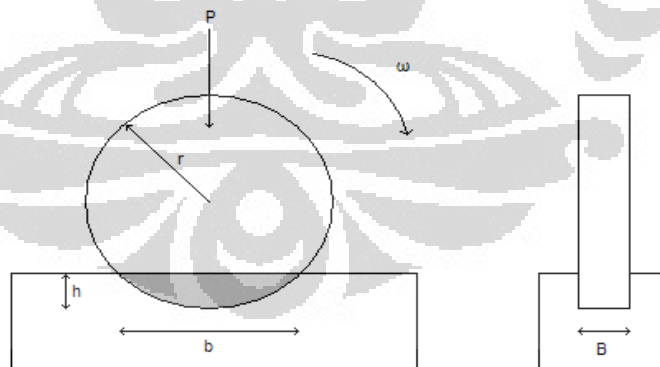
d : diameter jejak (μm)

3.4.4 Pengujian Kekuatan Tekuk (Bending Test)

Pengujian tekuk dilakukan dengan berpedoman pada aturan yang tercantum dalam standard JIS-Z2248. Tujuan dilakukannya pengujian tekuk ini adalah untuk mengetahui kekuatan sambungan las dari masing-masing spesimen. Diharapkan dari hasil pengujian tekuk ini dapat diambil suatu kesimpulan yaitu perbedaan antara hasil pengelasan dengan variasi pemanasan awal dan perbedaan ketebaln pelat dan pengelasan *multilayer* terhadap kekuatan hasil lasan.

3.4.5 Pengujian Keausan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui keausan permukaan hasil lasan dengan variasi elektroda yang digunakan sebagai *cap*. Skema pengujian keausan dengan metode Ogoshi ialah sebagai berikut :



Gambar 3. 7 Ilustrasi pengujian keausan metode ogoshi

Dengan B adalah tebal revolving disc (mm), r jari-jari disc (mm), b lebar celah material yang terabrasi (mm), maka dapat diturunkan besarnya volume material yang terabrasi (W) :

$$W = B.b^3/12r \dots\dots\dots(5)$$

Laju keausan (V) dapat ditentukan sebagai perbandingan volume terabrasi (W) dengan jarak luncur x (setting pada mesin uji)

$$V = W/x = B.b^3/12r.x \dots\dots\dots(6)$$

3.4.6 Pengkodean Sampel

Keterangan nomor sampel :

1. CR48-12-1-np : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 12 mm, tanpa pemanasan awal, dan dilas dengan *root* E7108 dan *cap* MG NOX 35.
2. CR48-12-2-np : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 12 mm, tanpa pemanasan awal, dan dilas dengan *root* MG NOX 35 dan *cap* E 7018
3. CR48-12-3-pr : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 12 mm ,dengan pemanasan awal 200°C, dan dilas dengan *root* E7108 dan *cap* MG NOX 35.
4. CR48-12-4-pr : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 12 mm, dengan pemanasan awal 200°C, dan dilas dengan *root* E7108 dan *cap* MG NOX 35.
5. CR48-16-5-np : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 16 mm, tanpa pemanasan awal, dan dilas dengan *root* E7108 dan *cap* MG NOX 35.
6. CR48-16-6-np : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 16 mm, tanpa pemanasan awal, dan dilas dengan *root* MG NOX 35 dan *cap* E 7018
7. CR48-16-7-pr : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 16 mm ,dengan pemanasan awal 200°C, dan dilas dengan *root* E7108 dan *cap* MG NOX 35.
8. CR48-16-8-pr : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 16 mm, dengan pemanasan awal 200°C, dan dilas dengan *root* E7108 dan *cap* MG NOX 35.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

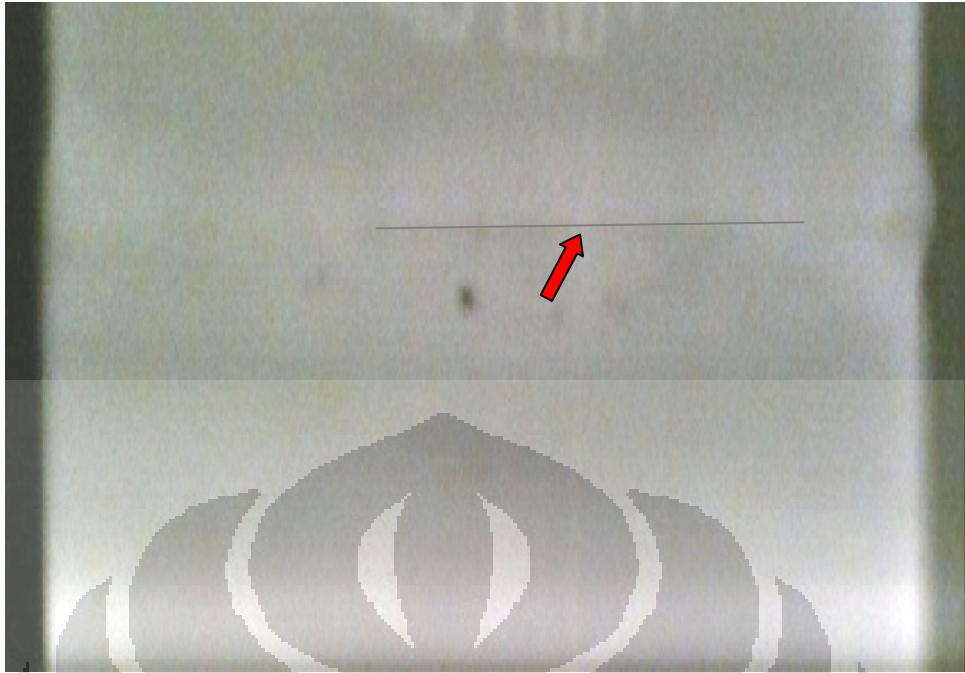
4.1 Data dan Analisa Ketahanan Retak Hasil Pengujian Radiografi

4.1.1 Sampel Tanpa Perlakuan Pemanasan awal

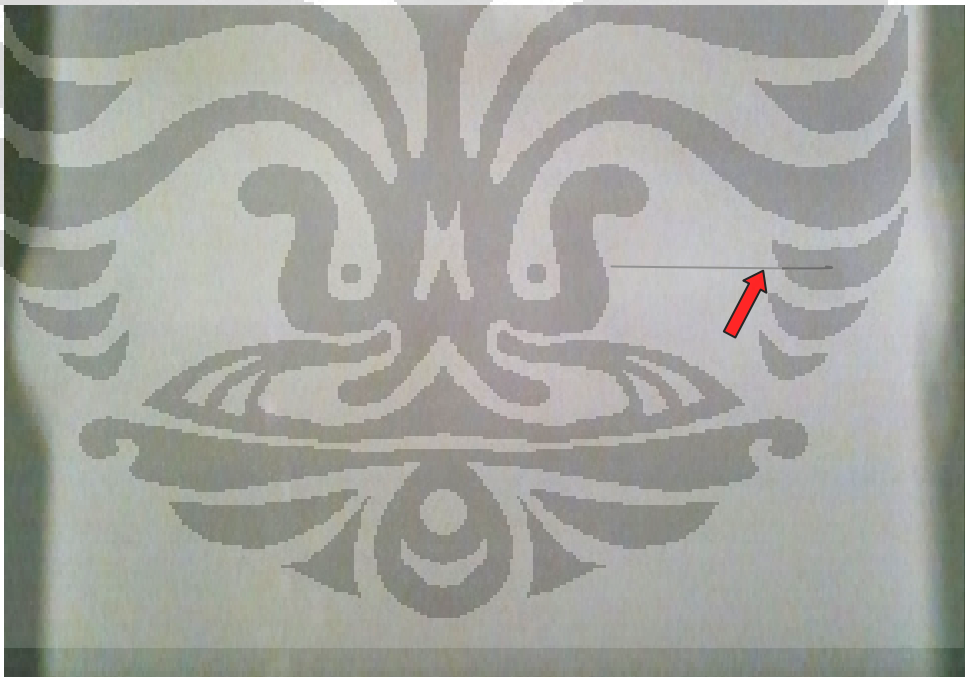
Hasil pengamatan radiografi terhadap sampel hasil pengelasan dengan elektroda E 7018 dan elektroda MG NOX 35 dengan pengelasan SMAW *multilayer* tanpa perlakuan pemanasan awal dapat dilihat pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 berikut ini :



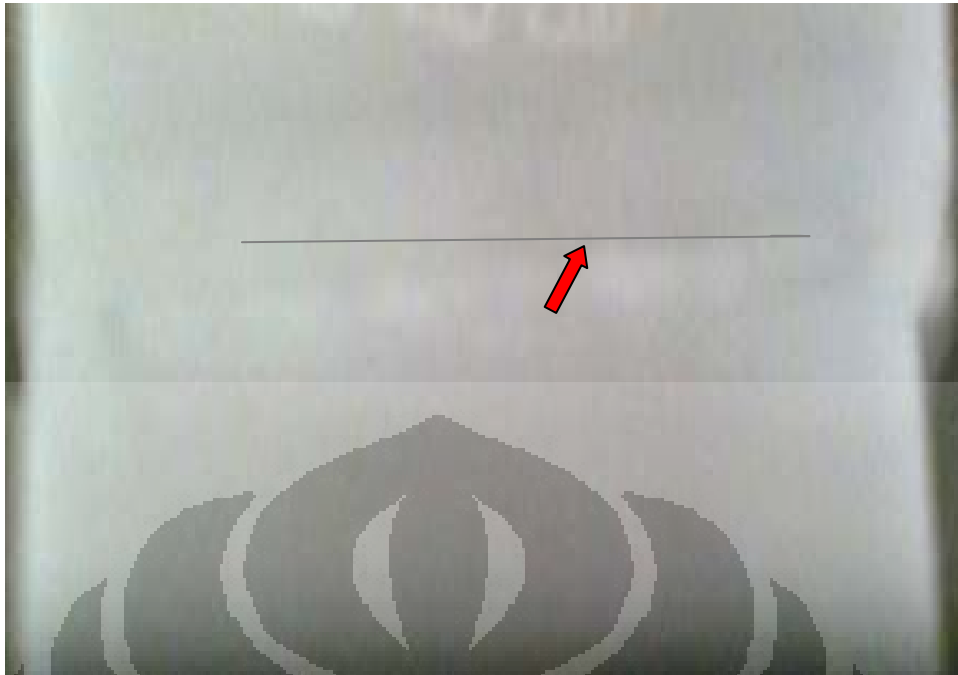
Gambar 4. 1 Hasil pengamatan radiografi sampel CR48-12-1-np



Gambar 4. 2 Hasil pengamatan radiografi sampel CR48-12-2-np



Gambar 4. 3 Hasil pengamatan radiografi sampel CR48-16-5-np



Gambar 4. 4 Hasil pengamatan radiografi sampel CR48-16-6-np

Berdasarkan hasil pengamatan radiografi pada sampel dengan *root* elektroda E 7018 dan *root* elektroda MG NOX 35 yang tidak mendapatkan perlakuan pemanasan awal dan *interpass temperature* pada temperature ruang dapat dilihat bahwa keempat sampel dengan ketebalan 12 mm dan 16 mm tidak terjadi retak sepanjang daerah lasan. Cacat-cacat pengelasan yang ditemukan pada hasil lasan seperti *Lack of Fusion* pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.3, cacat *Incomplete Penetration* pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.4. Cacat ini biasanya diakibatkan oleh kesalahan juru las yang tidak menjalankan prosedur pengelasan dengan baik.

Pada penelitian sebelumnya munculnya retak dingin pada sampel dengan elektroda E 7018 tanpa pengelasan *multilayer*, tanpa pemanasan awal dan *interpass temperature* pada temperatur ruang. Hal ini menyebabkan karena laju pendinginan yang sangat cepat yang dapat menyebabkan :

- Tegangan sisa yang besar pada daerah lasan
- Nilai kekerasan yang cukup tinggi pada hasil lasan.

Tetapi dengan pengelasan *multilayer* dengan menggunakan *root* Elektroda E7018 retak dingin dapat dihindari karena efek *multilayer* saat pengelasan. Lapisan

Setelah pengelasan *root* dengan elektroda E7018 adalah Elektroda MG NOX 35 yang merupakan jenis *Austenitic Stainless Steel*. *Layer* atas ini memberikan efek tempering terhadap lapisan sebelumnya dan PWHT terhadap lapisan setelahnya sehingga menambah ketangguhan dari daerah lasan. Selain itu, kelarutan hidrogen yang rendah pada elektroda MG NOX 35 menghindarkan terjadinya retak dingin.

Sampel Gambar 4.1 dan Gambar 4.3 adalah pengelasan yang menggunakan Elektroda E 7018 sebagai *root layer*. Elektroda E7018 merupakan elektroda yang mengandung unsur kimia seperti C, Mn, Si, P dan S dengan komposisi sesuai dengan yang tertera pada Tabel 3.4

Dengan Melakukan pengelasan *Multilayer root* yang menggunakan Elektroda E7018 akan memberikan efek tempering terhadap martensit yang terbentuk selama pengelasan dengan elektroda MG NOX 35 di atasnya. Sehingga Martensit yang terbentuk lebih ulet dan retak dingin dapat dihindari.

Sementara itu, sampel Gambar 4.2 dan Gambar 4.4 dilas dengan elektroda MG NOX 35 sebagai *root* dan Elektroda E7018 tanpa perlakuan pemanasan awal dan *interpass temperature* pada suhu kamar tidak mengalami retak dingin juga. Hal ini disebabkan karena elektroda MG NOX 35 merupakan jenis *austenitic stainless steel* yang memiliki komposisi yang tertera pada Tabel 3.6

Dari komposisi kimia tersebut, kita dapat melihat bahwa fasa yang mungkin terbentuk pada hasil lasan dengan menggunakan kawat las tersebut adalah fasa austenit dengan karbida dari Cr dan Mo. Hal ini disebabkan karena Ni berperan sebagai penstabil fasa austenit dan Cr serta Mo berperan sebagai pembentuk karbida. Austenit merupakan fasa dengan ketangguhan yang cukup baik, artinya adalah fasa austenit memiliki kombinasi antara kekuatan dan keuletan yang cukup baik.

Ketika pengelasan dilakukan tanpa perlakuan pemanasan awal tentunya menghasilkan tegangan sisa yang sangat tinggi. Namun, dengan adanya kombinasi antara kekuatan dan keuletan dari fasa yang dihasilkan oleh elektroda MG NOX 35 ini dapat mencegah terjadinya retak dingin pada hasil las-lasan.

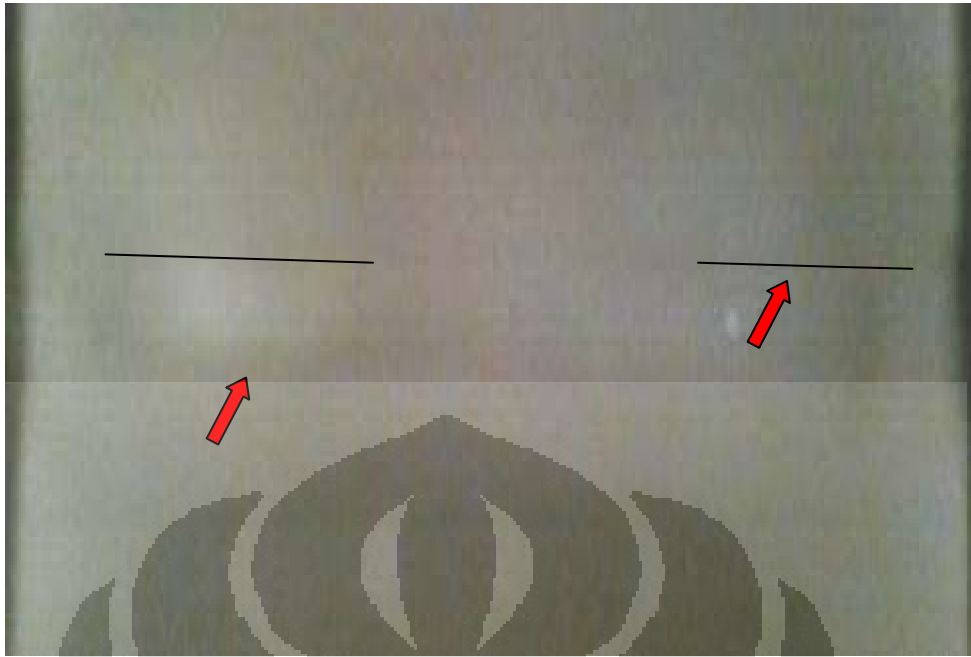
4.1.2 Sampel Dengan Perlakuan Pemanasan awal 200°C

Hasil pengamatan radiografi terhadap sampel hasil pengelasan dengan elektroda E 7018 dan elektroda MG NOX 35 dengan variasi *root* pengelasan *multilayer* dengan perlakuan pemanasan awal sebesar 200°C dapat dilihat pada Gambar 4.5 ,Gambar 4.6, Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 berikut ini :

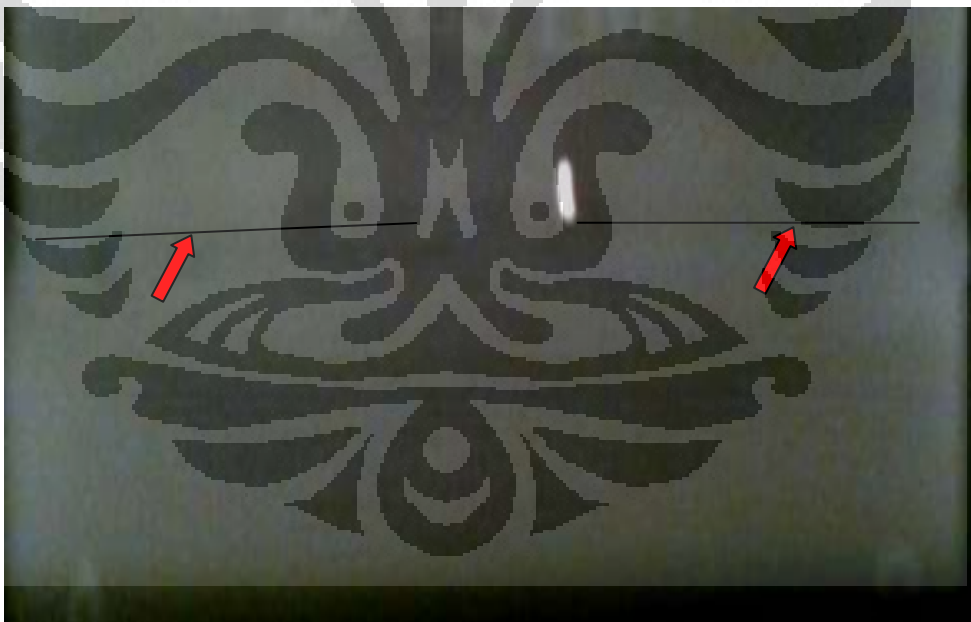
Sama seperti sampel yang tidak di pemanasan awal Cacat-cacat pengelasan yang ditemukan pada hasil lasan seperti *Lack of Fusion* pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6, sedangkan cacat *Incomplete Penetration* pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8. Cacat ini biasanya diakibatkan oleh kesalahan juru las yang tidak menjalankan prosedur pengelasan dengan baik.



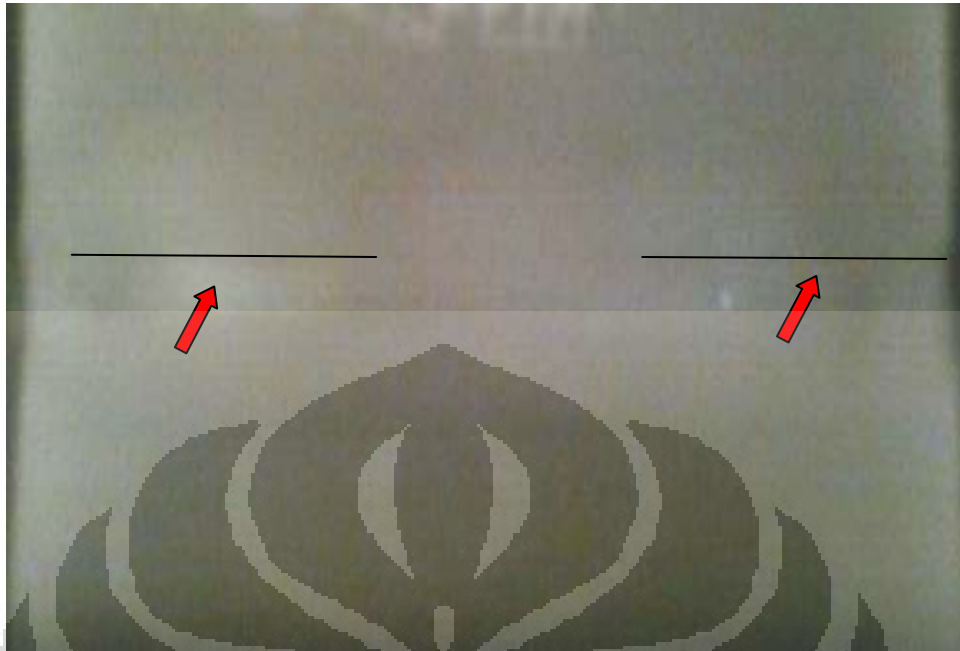
Gambar 4. 5 Hasil pengamatan radiografi sampel CR48-12-3-pr



Gambar 4. 6 Hasil pengamatan radiografi sampel CR48-12-4-pr



Gambar 4. 7 Hasil pengamatan radiografi sampel CR48-16-7-pr



Gambar 4. 8 Hasil pengamatan radiografi sampel CR48-16-8-pr

Pada sampel dengan perlakuan pemanasan awal dan *interpass temperature* sebesar 200 °C tidak terdapat retak dingin baik yang menggunakan elektroda E 7018 ataupun yang menggunakan elektroda MG NOX 35 sebagai *root*. Tegangan sisa yang terbentuk pada sampel dengan perlakuan pemanasan awal dan *interpass temperature* sebesar 200°C jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan sampel tanpa pemanasan awal. Hal ini disebabkan karena laju pendinginan logam pengisi pada sampel dengan perlakuan pemanasan awal lebih lambat jika dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan pemanasan awal.

4.2 Data dan Analisa Ketahanan Retak Hasil Pengujian Ultrasonik

4.2.1 Sampel Ketebalan 12 mm Dan 16 mm Tanpa Pemanasan Awal dan dengan Pemanasan Awal 200°C

Berikut ini adalah Tabel hasil pengujian ultrasonik dimana dengan menggunakan perhitungan dapat ditentukan apakah terdapat cacat atau tidak. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui posisi berupa panjang dan kedalaman cacat yang terjadi yang pada radiografi tidak bisa ditentukan. Sehingga

dalam pengambilan sampel untuk pengujian sifat mekanis dapat diambil bagian yang tidak terdapat cacat.

Tabel 4. 1 Perhitungan Hasil Pengujian Ultrasonik

No	Ketebalan (mm)	Kesimpulan	Panjang (mm)	Kedalaman (mm)
1	12	Cacat Planar	17	8
		Cacat Planar	15	12
2	12	Cacat Planar	14	11,16
		Cacat Planar	12	9,54
3	12	Cacat Planar	15	11,8
		Cacat Planar	12	9,47- 11,36
4	12	Cacat Planar	4	4,25- 11,06
5	16	Cacat Planar	9	4,9-7,61
6	16	Cacat Planar	12	5,7 - 14,6
7	16	Cacat Planar	10	4,8-12,22
8	16	tidak ada cacat	8	4,41 -15,65

Dari hasil perhitungan Tabel 4.1, hampir semua sampel terdapat cacat, yang mana cacat ini merupakan cacat akibat kesalahan kesalahan juru las yang berupa cacat *lack of fusion* dan *Incomplete Penetration* akibat tidak mematuhi prosedur yang ada pada prosedur pengelasan.

4.3 Data dan Analisa Kekuatan tekuk

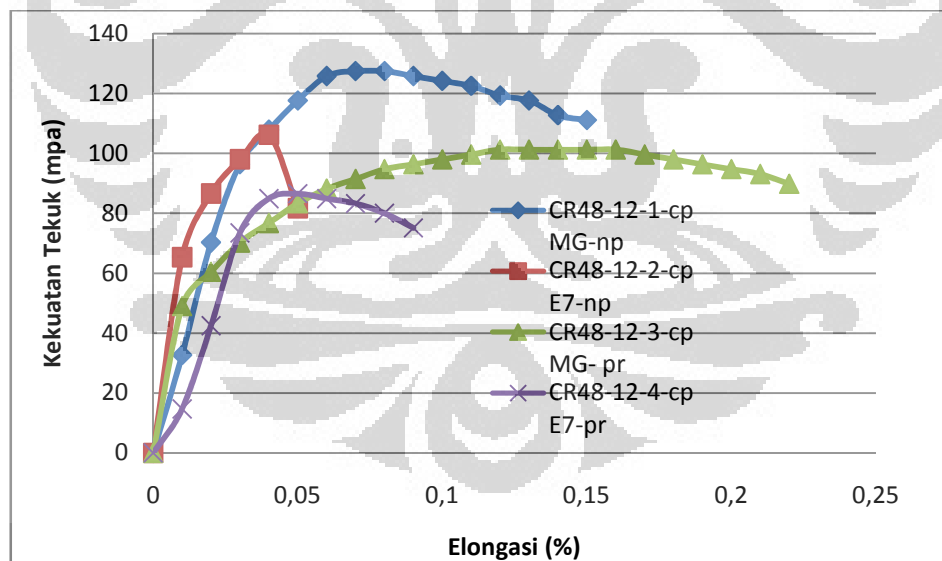
4.3.1 Sampel dengan Ketebalan 12 mm Tanpa Perlakuan Pemanasan Awal

Uji tekuk dilakukan pada sampel hasil pengelasan pelat baja tahan aus CREUSABRO 4800 dengan mengacu kepada standar JIS Z 2248. Tujuan dilakukannya pengujian ini adalah untuk mengetahui sifat ketangguhan dan keuletan dari material setelah dilakukan pengelasan, terutama ketangguhan dan keuletan pada daerah kumpuh las. Ketangguhan merupakan kombinasi antara kekuatan dan keuletan dari suatu material. Dalam istilah metalurgi ketangguhan

didefinisikan sebagai kemampuan material untuk menyerap energi sampai mengalami perpatahan. Sementara itu, keuletan ditentukan oleh besarnya deformasi palatis yang dapat dialami oleh material ketika diberi pembebanan. Parameter dari keuletan hasil lasan dilihat dari sejauh mana pelat hasil lasan dapat dibengkokkan sampai terjadi perpatahan. Semakin besar sudut pembengkokkan dari sampel uji maka sampel tersebut semakin ulet.

Tabel 4. 2 Hasil Uji Tekuk Sampel Creusabro 4800 Ketebalan 12 mm

Kode Sampel	Pemanasan awal	Beban tekuk maks. (kg)	Keterangan
CR48-12-1-np	No	3900	60° patah
CR48-12-2-np	No	3250	15° patah
CR48-12-3-pr	200°C	3100	70° patah
CR48-12-4-pr	200°C	2650	30° patah



Gambar 4. 9 Grafik hasil uji tekuk sampel ketebalan 12 mm

Hasil pengujian tekuk sampel Creusabro ketebalan 12 mm dengan pengelasan *multilayer* SMAW dengan perlakuan pemanasan awal 200 °C dan tanpa pemanasan awal ditunjukkan pada Tabel 4.2. Beban tekuk maksimal paling tinggi dimiliki oleh sampel tanpa pemanasan awal dan *interpass temperature*

temperatur ruang dengan kode sampel CR48-12-1-np. Sebaliknya, beban tekuk maksimal paling rendah dimiliki oleh sampel dengan kode sampel CR48-12-4-pr dengan perlakuan pemanasan awal dan *interpass temperature* pada temperature 200°C. Sementara itu, sudut *bending* yang paling tinggi dimiliki oleh sampel dengan kode sampel CR48-12-3-pr yang diberikan perlakuan pemanasan awal dan *interpass temperature* sebesar 200°C. Sudut *bending*-nya adalah 70° artinya keuletan sampel ini lebih tinggi daripada keempat sampel ketebalan 12 mm. Sampel dengan sudut *bending* paling rendah dimiliki oleh sampel dengan kode sampel CR48-12-2-np tanpa perlakuan pemanasan awal dan *interpass temperature* pada temperatur ruang.

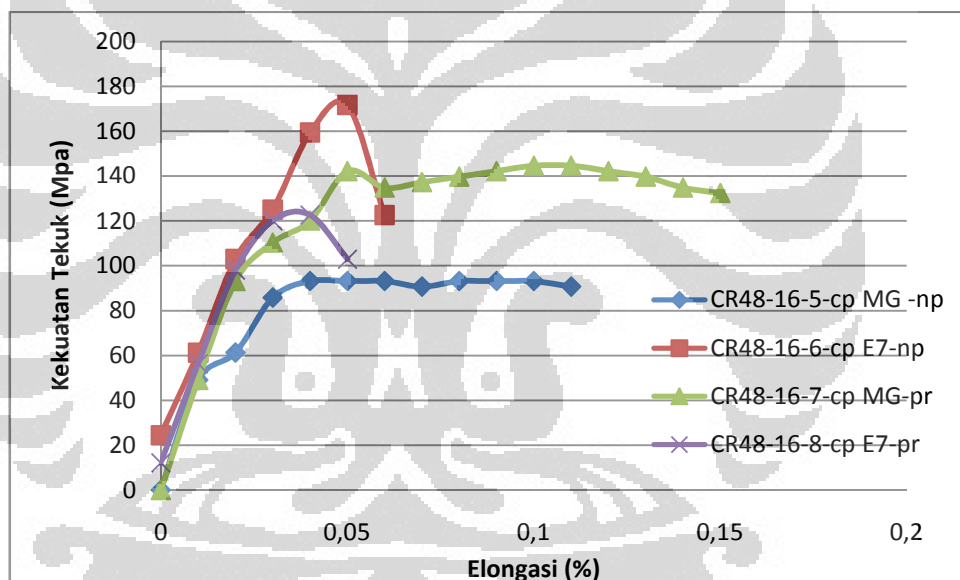
Berdasarkan kurva hasil uji tekuk pada Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa *strain* atau regangan sampel tanpa perlakuan pemanasan awal lebih kecil jika dibandingkan dengan sampel dengan perlakuan pemanasan awal 200 °C. *Strain* merupakan salah satu parameter keuletan dari suatu material. Semakin besar *strain* dari suatu material, semakin ulet material tersebut. Kemudian Sampel yang dilas dengan elektroda MG NOX 35 sebagai *cap* memiliki keuletan yang lebih baik daripada sampel yang *cap* nya dilas dengan E 7018. Hal ini berdasarkan teori elongasi elektroda MG NOX 35 lebih besar daripada elongasi elektroda E 7018. Hal ini tertera pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.7

4.3.2 Sampel dengan Ketebalan 16 mm

Bending test atau uji tekuk dilakukan pada sampel mengacu kepada standar JIS Z 2248. Pengujian dilakukan dengan menguji tekuk pada *Face* sehingga pengujian ini lebih fokus terhadap ketangguhan *cap*-nya. Selain itu, untuk melihat pengaruh pemanasan awal terhadap ketangguhan pada hasil las-lasan.

Tabel 4. 3 Hasil Uji Tekuk Sampel Creusabro 4800 16 mm

Kode Sampel	Pemanasan awal	Beban tekuk maks. (kg)	Keterangan
CR46-16-5-np	No	3800	60° patah
CR48-16-6-np	No	7000	20° patah
CR48-16-7-pr	200°C	5900	60° patah
CR48-16-8-pr	200°C	5000	15° patah



Gambar 4. 10 Grafik hasil uji tekuk sampel ketebalan 16 mm

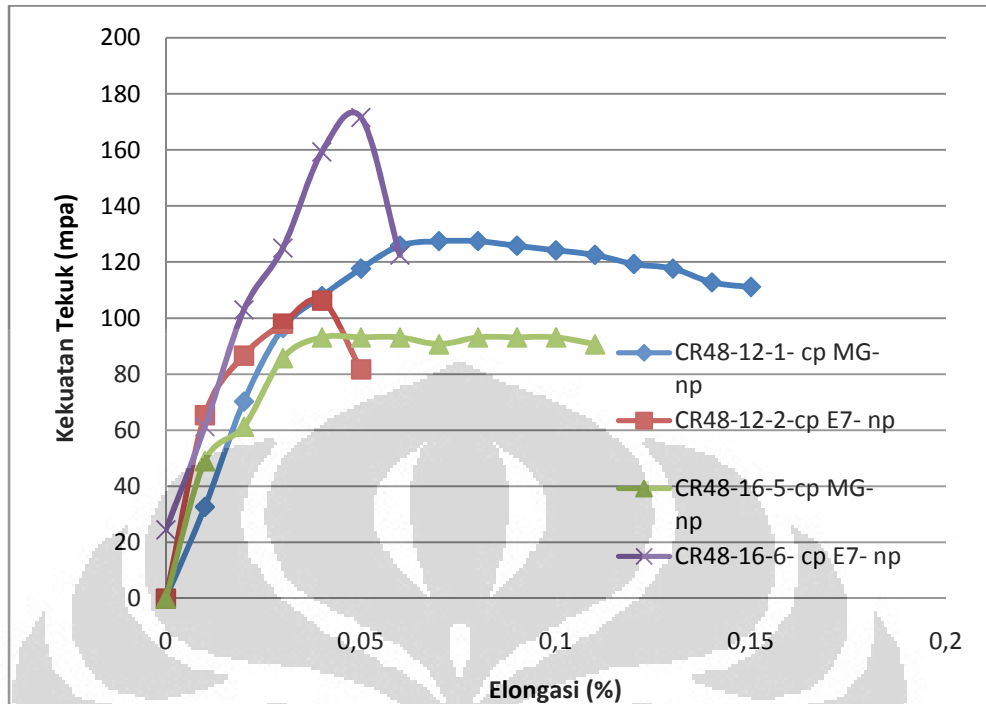
Hasil pengujian tekuk sampel ketebalan 16 mm ditunjukkan pada Tabel 4.3. Beban tekuk maksimal paling tinggi dimiliki oleh sampel dengan kode CR48-16-6-np tanpa perlakuan pemanasan awal dan *interpass temperature* suhu ruang. Sebaliknya, beban tekuk maksimal paling rendah dimiliki oleh sampel dengan kode CR48-16-5-np tanpa perlakuan pemanasan awal dan *interpass temperature* pada temperatur ruang. Sementara itu, sudut *bending* yang paling tinggi dimiliki oleh sampel dengan kode CR48-16-7-pr dengan perlakuan pemanasan awal dan *interpass temperature* 200°C. Sampel dengan sudut *bending* paling rendah dan

kekuatan tekuk maksimal paling rendah dimiliki oleh sampel dengan kode CR48-16-8-pr dengan perlakuan pemanasan awal dan *interpass temperature* 200°C.

Berdasarkan kurva hasil uji tekuk pada Gambar 4.10, dapat dilihat bahwa *strain* atau regangan sampel tanpa perlakuan pemanasan awal lebih kecil jika dibandingkan dengan sampel dengan perlakuan pemanasan awal 200 °C. *Strain* merupakan salah satu parameter keuletan dari suatu material. Semakin besar *strain* dari suatu material, semakin ulet material tersebut. Kemudian Sampel yang *cap* nya dilas dengan elektroda MG NOX 35 memiliki keuletan yang lebih baik daripada sampel yang *cap* nya dilas dengan E 7018.

Berdasarkan teori tersebut dapat disimpulkan bahwa sampel yang dilas dengan *cap* elektroda MG NOX 35 yang dilakukan proses pemanasan awal memiliki keuletan yang lebih besar jika dibandingkan dengan sampel yang tidak mendapatkan perlakuan pemanasan awal. Hal ini disebabkan oleh laju pendinginan yang lebih lambat pada sampel pemanasan awal menghasilkan struktur yang butir austenit yang lebih besar dan cenderung bersifat lebih ulet sehingga ketika dilakukan pengujian bending deformasi plastis yang terjadi jauh lebih besar jika dibandingkan dengan sampel yang tidak mendapatkan perlakuan pemanasan awal. Hasil pengujian bending yang diperoleh berkebalikan dengan sampel yang dilas menggunakan elektroda *cap* E 7018. Berdasarkan teori, elongasi MG NOX 35 lebih kecil dari pada Elektroda E 7018.

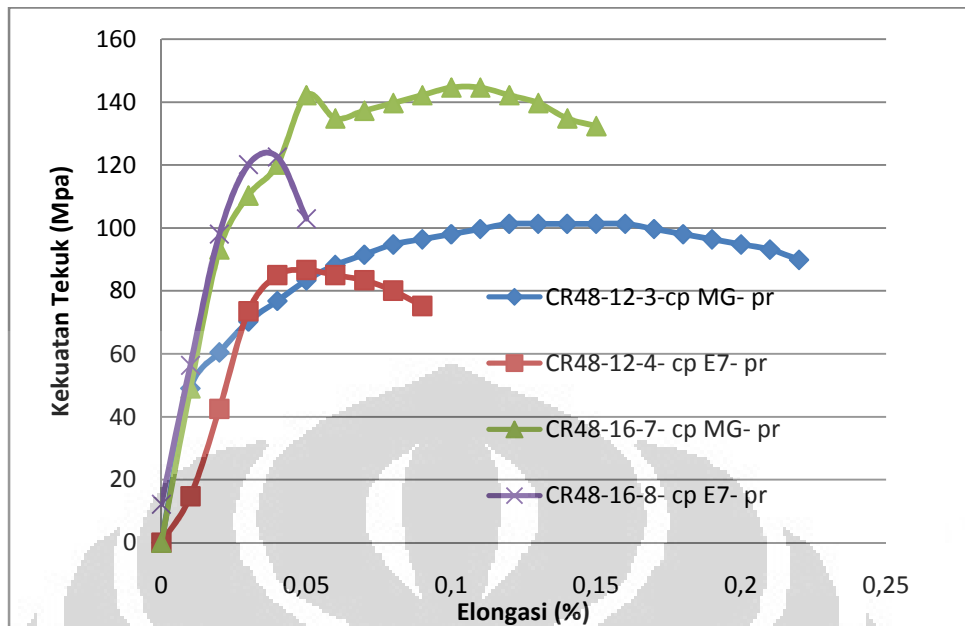
4.3.2 Sampel tanpa pemanasan awal



Gambar 4. 11 Grafik hasil uji tekuk sampel tanpa pemanasan awal pada ketebalan 12 mm dan 16 mm

Gambar 4.11 di atas menunjukkan bahwa sampel dengan *cap* E 7018 dengan ketebalan 16 mm memiliki kekuatan paling tinggi tetapi memiliki elongasi yang rendah. Elongasi paling tinggi dimiliki oleh sampel yang dilas dengan *cap* MG NOX 35 dengan ketebalan 12 mm. Selain itu, memiliki kekuatan yang relatif baik juga. Dapat disimpulkan bahwa sampel yang dilas dengan elektroda MG NOX 35 memiliki elongasi yang tinggi karena secara teori logam lasan memiliki fasa austenit yang elongasinya tinggi serta ketangguhan yang baik.

4.3.3 Sampel dengan pemanasan awal 200°C



Gambar 4. 12 Grafik hasil uji tekuk dengan perlakuan pemanasan awal 200° C pada ketebalan 12 mm dan 16 mm

Dari Gambar 4.12 grafik diatas disimpulkan bahwa kekuatan tekuk paling tinggi dimiliki oleh sampel dengan *cap* Elektroda MG NOX 35 dengan ketebalan 16 mm. Sedangkan elongasi paling tinggi dimiliki oleh sampel *cap* MG NOX 35 ketebalan 12 mm. Sedangkan pemanasan awal memberikan penambahan keuletan, karena saat pendinginan terjadi pertumbuhan butir yang dapat meningkatkan keuletan material.

4.4 Data dan Analisa Distribusi Nilai Kekerasan

4.4.1 Sampel dengan Ketebalan 12 mm

Hasil pengujian kekerasan terhadap sampel hasil pengelasan dengan variasi *root* elektroda E 7018 dan MG NOX 35 pada ketebalan 12 mm dengan perlakuan pemanasan awal dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut ini :

Tabel 4. 4 Distribusi Kekerasan CREUSABRO® 4800 Ketebalan 12 mm

No	Lapisan	Logam Induk (HV)	HAZ (HV)	Kampuh Las (HV)	HAZ (HV)	Logam Induk (HV)	Kampuh las 1 (HV)	Interface (HV)	Kampuh Las 2 (HV)
1	1	393,3	430	181,5	464,3	416	399,6	207,3	210,3
	2	392,5	476,5	241	443,2	443,2			
2	1	441,8	435,9	406,5	395	435	441,23	429,3	286,7
	2	432,7	374	284	410	469			
3	1	496,8	440,1	317,8	375,9	475	376,8	281,5	228,2
	2	467	252,2	249,2	245,7	456			
4	1	466	397,7	350,3	355,7	384,1	293,7	240,6	288,75
	2	416	354,8	265,4	371	393,7			

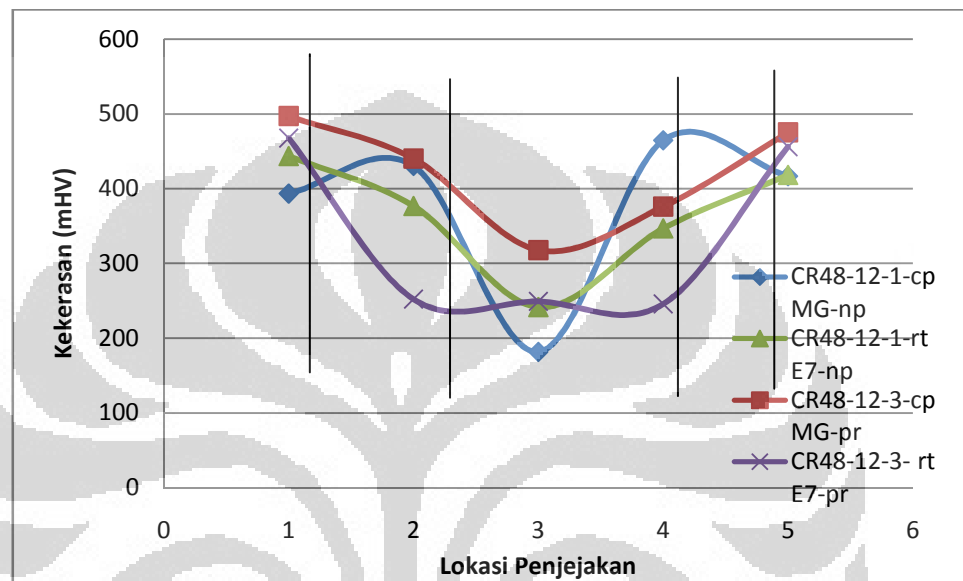
Keterangan nomor sampel :

1. CR48-12-1-np : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 12 mm, tanpa pemanasan awal, dan dilas dengan *root* E7108 dan *cap* MG NOX 35.
2. CR48-12-2-np : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 12 mm, tanpa pemanasan awal, dan dilas dengan *root* MG NOX 35 dan *cap* E 7018
3. CR48-12-3-pr : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 12 mm ,dengan pemanasan awal 200°C, dan dilas dengan *root* E7108 dan *cap* MG NOX 35.
4. CR48-12-4-pr : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 12 mm, dengan pemanasan awal 200°C, dan dilas dengan *root* E7108 dan *cap* MG NOX 35.

Pengujian nilai kekerasan pada sampel hasil pengelasan dengan metode SMAW ini dilakukan dengan menggunakan alat uji *vickers* pada beberapa titik yang meliputi daerah logam Induk, HAZ dan *weld metal*. Karena Pengelasan ini dilakukan dengan pengelasan SMAW *multilayer* maka pengujian dilakukan pada arah vertikal untuk mengetahui distribusi kekerasan dari *cap* sampai *root* Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan pemanasan awal dan

interpass temperature dengan variasi *root* elektroda E 7018 dan MG NOX 35 terhadap nilai kekerasan yang dihasilkan.

Gambar 4.13 menunjukkan distribusi kekerasan pada sampel dengan *root* elektroda E7018 dan *cap* MG NOX 35 tanpa perlakuan pemanasan awal dan dengan perlakuan pemanasan awal 200 ° C.



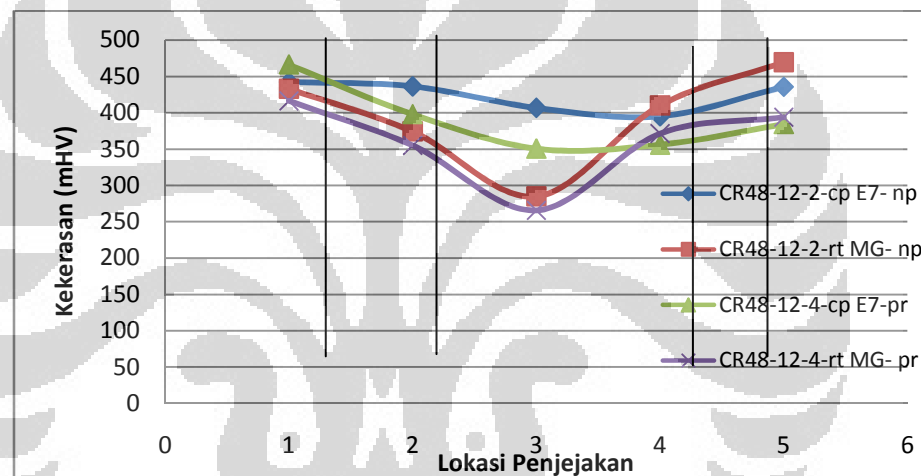
Gambar 4. 13 Distribusi Kekerasan pada sampel CR48-12-1-np dan CR48-12-3-pr

Pengamatan dilakukan dengan menarik dua garis horizontal, yang pertama untuk mengamati kekerasan sepanjang garis yang melewati *cap* (bagian atas) dan yang kedua untuk mengamati garis yang melewati *root* (bagian bawah). Kemudian dua sampel dengan *root* dan *cap* yang sama dengan perlakuan yang berbeda akan dibandingkan kekerasannya.

Dapat dilihat bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat di daerah material dasar dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 500 VHN pada *layer cap* dan nilai kekerasan terendah terdapat pada daerah *weld metal* pertama dengan nilai kekerasan sebesar 180 VHN. Kekerasan yang paling tinggi pada daerah logam dasar ini disebabkan oleh komposisi kimia dari CREUSABRO 4800 itu sendiri. Material CREUSABRO 4800 merupakan jenis baja HSLA (*High Strength Low Alloy*) dengan paduan Nikel, Titanium, *Chromium*, dan *Molybdenum* di dalamnya. Titanium, *Chromium* dan *Molybdenum* merupakan pembentuk karbida yang cukup keras sehingga nilai kekerasan pada *base metal* sangat tinggi.

Secara teori kekerasan sampel tanpa perlakuan pemanasan awal lebih tinggi karena terjadi penghalusan butir selama pendinginan yang membuat kekerasannya meningkat. Pada bagian *root* kekerasan CR-48-12-1-np lebih tinggi daripada kekerasan CR48-12-3-pr, tetapi pada bagian *cap* kekerasan CR48-12-3-pr lebih tinggi hal ini dikarenakan perlakuan membuat laju pendinginan semakin lambat dan karbida terbentuk dengan pendinginan yang lebih lama itu dan berkumpul di HAZ.

Gambar 4.14 menunjukkan distribusi kekerasan pada sampel dengan *root* elektroda MG NOX 35 dan elektroda E 7018 sebagai *cap* tanpa perlakuan pemanasan awal dan dengan perlakuan pemanasan awal.



Gambar 4. 14 Distribusi Kekerasan pada sampel CR48-12-2-np dan CR48-12-4-pr

Berdasarkan data hasil pengujian kekerasan pada sampel dengan menggunakan Elektroda MG NOX sebagai *root* pada Gambar 4.14, dapat dilihat bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat di daerah material dasar dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 450 VHN ada bagian *layer root* CR48-12-2-np dan nilai kekerasan terendah terdapat pada daerah *weld metal layer root* CR48-12-4-pr dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 260 VHN.

Nilai kekerasan yang paling rendah pada daerah kampuh las juga disebabkan oleh komposisi dari kawat las yang digunakan. Elektroda E 7018 yang digunakan merupakan jenis baja karbon rendah dengan nilai kekerasan yang tidak terlalu tinggi. Sementara itu, Nilai kekerasan Kampuh las Elektroda MG NOX

juga kecil karena banyak Cr yang tertarik ke daerah batas butir yang membuat nilai kekerasannya turun.

Laju pendinginan logam cair merupakan suatu hal yang sangat mempengaruhi sifat mekanis suatu material. Semakin tinggi laju pendinginan logam cair maka ukuran butir material yang dihasilkan akan semakin halus. Material dengan komposisi kimia yang sama tetapi dengan ukuran butir yang berbeda akan memiliki sifat mekanis yang berbeda. Berdasarkan persamaan *Hall-Petch*, diameter butir berbanding terbalik dengan kekuatan tarik, sedangkan kekuatan tarik sebanding dengan kekerasan suatu material.

4.4.2 Sampel dengan Ketebalan 16 mm

Hasil pengujian kekerasan terhadap sampel hasil pengelasan dengan ketebalan 16 mm dengan variasi perlakuan pemanasan awal dan variasi *root* dan *cap* dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut ini :

Tabel 4.5 Distribusi Kekerasan CREUSABRO® 4800 Ketebalan 16 mm

Kode sampel	Lapisan	Logam Induk (HV)	HAZ (HV)	Kampuh Las (HV)	HAZ (HV)	Logam Induk (HV)	Kampuh las 1 (HV)	Interface (HV)	Kampuh Las 2 (HV)
5	1	409	405	295,1	253,3	447,1	383,8	215,8	234,2
	2	447,1	432,8	292,2	382,36	391,2			
6	1	421,9	441,6	355,5	444,1	449,8	340,4	403,9	289,4
	2	480,5	386,7	272,2	458,3	446,1			
7	1	360,6	356,6	263	408,5	381	352,5	362,9	232,2
	2	375,1	363,4	361,4	364,9	381			
8	1	434,4	479,9	414,3	466,8	394,9	451,7	417	299,3
	2	463,2	468,4	328	349	424,7			

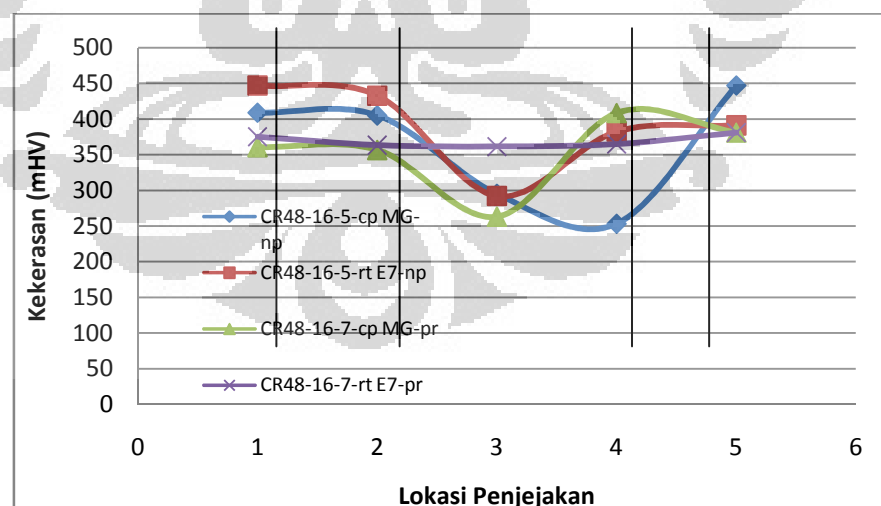
Keterangan nomor sampel :

1. CR48-16-5-np : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 16 mm, tanpa pemanasan awal, dan dilas dengan *root* E7108 dan *cap* MG NOX 35.
2. CR48-16-6-np : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 16 mm, tanpa pemanasan awal, dan dilas dengan *root* MG NOX 35 dan *cap* E 7018

3. CR48-16-7-pr : Sampel ketebalan CREUSABRO 4800 16 mm ,dengan pemanasan awal 200°C, dan dilas dengan *root* E7108 dan *cap* MG NOX 35.
4. CR48-16-8-pr : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 16 mm, dengan pemanasan awal 200°C, dan dilas dengan *root* E7108 dan *cap* MG NOX 35.

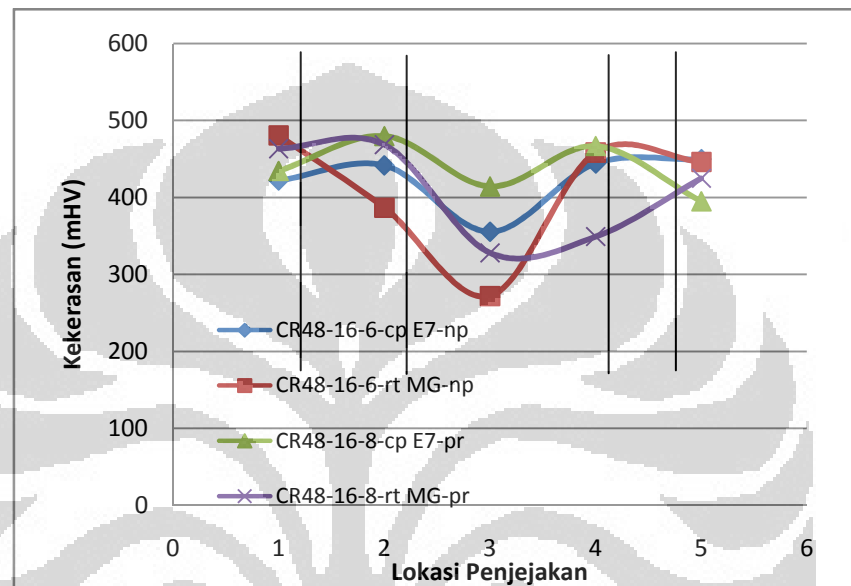
Tabel 4.5 menunjukkan nilai distribusi kekerasan dari sampel CREUSABRO[®] 4800 ketebalan 16 mm menggunakan variasi *root* elektroda NOX 35 dan elektroda MG NOX 35 dengan perlakuan pemanasan awal yang berbeda..Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan pemanasan awal dan *interpass temperature* pengelasan *multilayer* terhadap nilai kekerasan yang dihasilkan. Selain itu, pengujian juga dilakukan untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan pada logam dasar. HAZ dan kumpuh las (*weld metal*) setelah dilakukan pengelasan.

Gambar 4.15 menunjukkan distribusi kekerasan pada sampel dengan *root* elektroda E7018 dan *cap* MG NOX 35 tanpa perlakuan pemanasan awal dan dengan perlakuan pemanasan awal.



Gambar 4. 15 Distribusi Kekerasan pada sampel CR48-16-5-np dan CR48-16-7-pr Kekerasan tertinggi berada pada material induk yang mencapai 450 VHN yaitu pada *root layer* CR48-16-5-np.pada *root layer* CR48-16-5-np memiliki kekerasan

yg lebih tinggi dari pada CR48-16-7-pr. Hal ini sesuai dengan teori yang berhubungan dengan kecepatan pendinginan. Sedangkan pada bagian *cap layer* CR48-16-5-np memiliki kekerasan yang lebih rendah daripada CR48-16-7-pr. Hal ini akibat dengan lambatnya pendinginan, karbida yang terbentuk di batas butir jumlahnya banyak dan membuat daerah kampuh las memiliki kekerasan yang rendah.



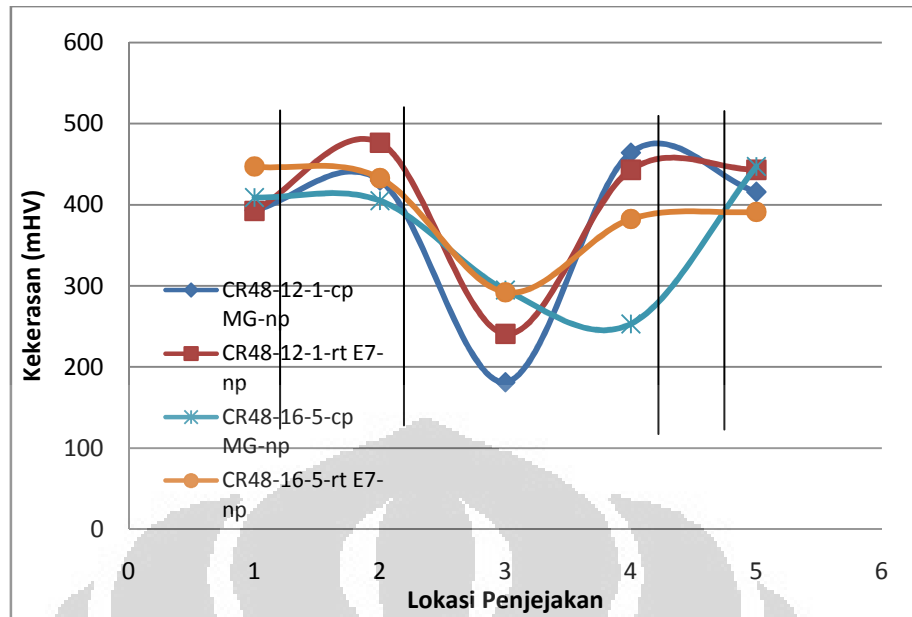
Gambar 4. 16 Distribusi Kekerasan pada sampel CR48-16-6-np dan CR48-16-8-pr

Gambar 4.16 menunjukkan distribusi kekerasan pada sampel dengan *root* elektroda MGNOX 35 dan *cap* E 7018 tanpa perlakuan pemanasan awal dan dengan perlakuan pemanasan awal 200 ° C.

Kekerasan paling tinggi berada pada logam induk dengan nilai kekerasan 500 VHN. Pada kedua bagian sampel yang di pemanasan awal memiliki kekerasan yang lebih tinggi, hal ini dikarenakan dengan panas yang lebih besar dan laju pendinginan yang lambat membuat karbida terbentuk dan menyebar di bagian HAZ halus serta perubahan fasa pada kampuh las.

4.4.3 Perbandingan Kekerasan Sampel dengan Ketebalan yang Berbeda tetapi Perlakuan Yang Sama

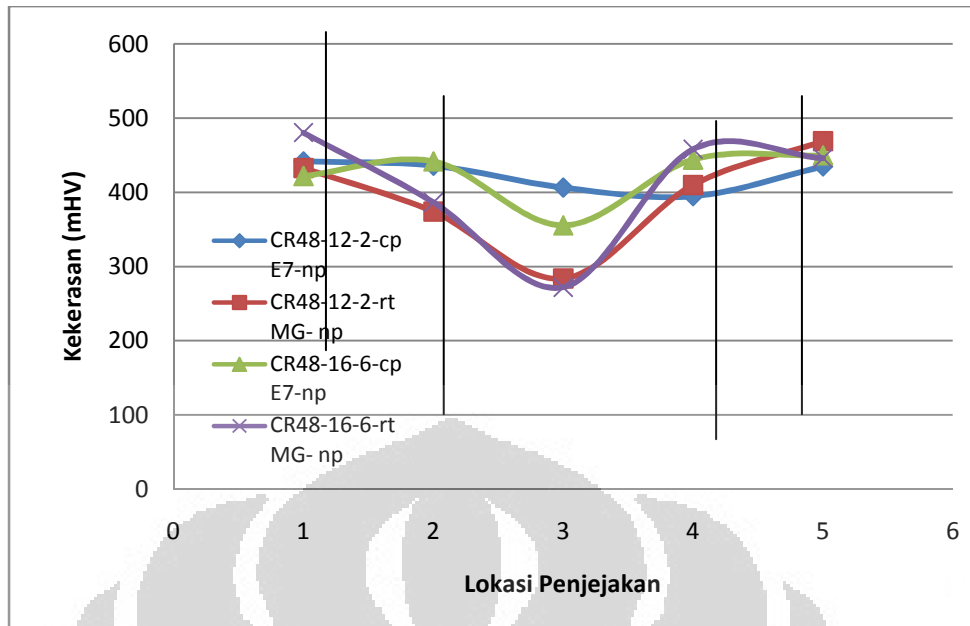
Gambar 4.17 dibawah menggambarkan perbandingan kekerasan sampel yang memiliki ketebalan yang berbeda tetapi perlakuannya sama.



Gambar 4. 17 Distribusi Kekerasan pada sampel CR48-12-1-np dan CR48-16-5-pr

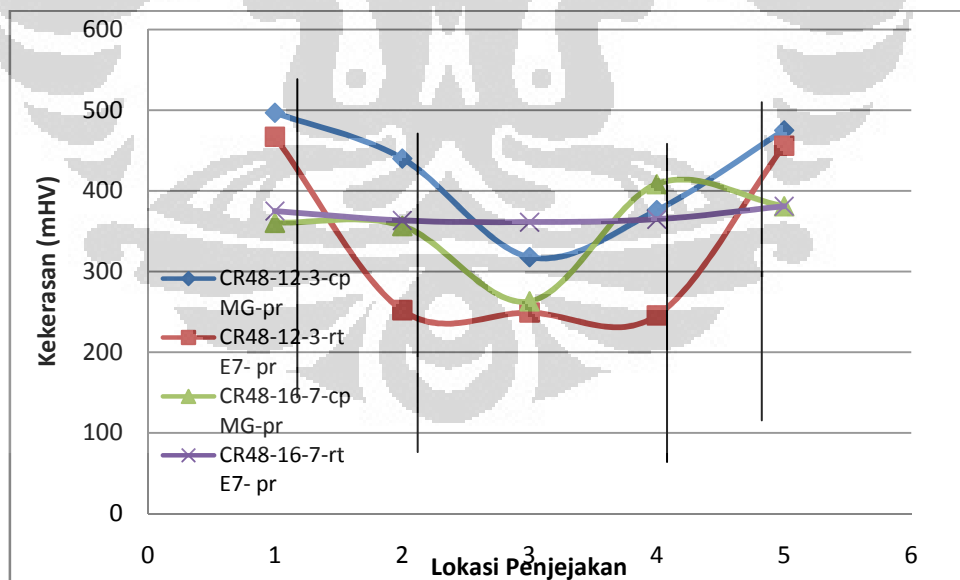
Sampel dengan ketebalan 12 mm memiliki kekerasan lebih tinggi di bagian HAZ tetapi di bagian kampuh las sangat rendah kekerasannya. Hal ini dikarenakan kecepatan pendinginan ketebalan yang lebih cepat di bagian HAZ tetapi pada bagian kampuhnya sendiri relatif lebih lambat menyusun diri, sehingga kekerasannya lebih rendah. Dapat dilihat juga bahwa bagian *cap* memiliki kekerasan yang lebih tinggi akibat laju pendinginan yang lebih tinggi.

Gambar 4.18 dibawah menggambarkan perbandingan kekerasan sampel yang memiliki ketebalan yang berbeda tetapi perlakuannya sama.



Gambar 4.18 Distribusi Kekerasan pada sampel CR48-12-4-np dan CR48-16-6-np

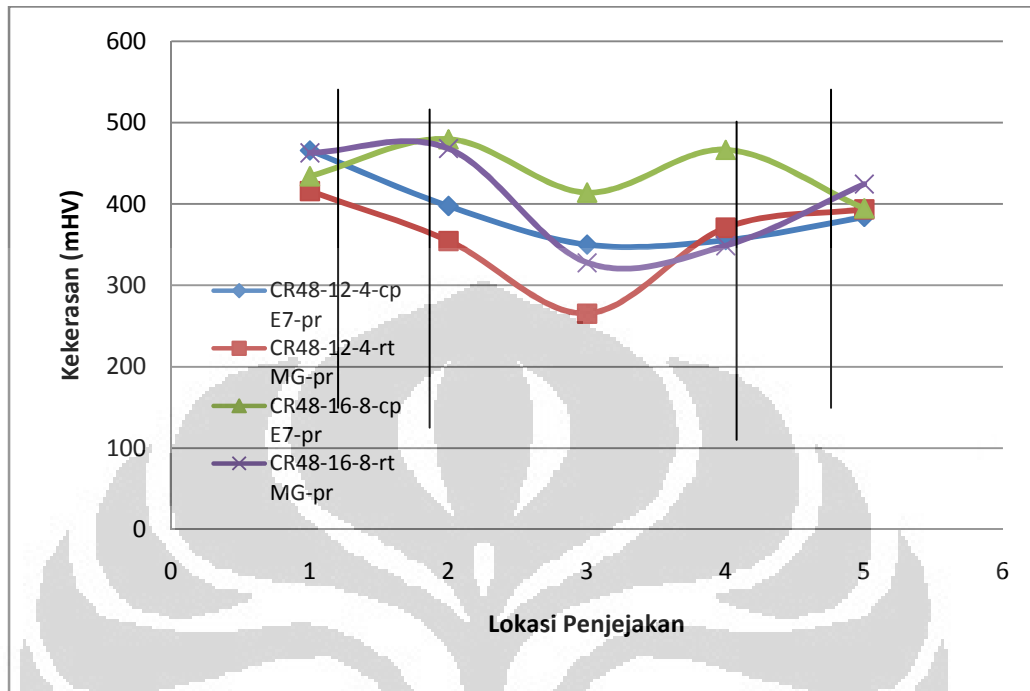
Kekerasan yang hampir sama pada kedua ketebalan tetapi, pada material dengan tebal 16 mm kekerasan di HAZ sedikit lebih tinggi daripada sampel dengan tebal 12 mm. Gambar 4.19 dibawah menggambarkan perbandingan kekerasan sampel yang memiliki ketebalan yang berbeda tetapi perlakuannya sama.



Gambar 4.19 Distribusi kekerasan pada sampel CR48-12-3-pr dan CR48-16-7-pr

Dapat dilihat kekerasannya tidak terdistribusi merata, pada beberapa bagian tidak mewakili kekerasan yang seharusnya. Secara teori kekerasan material yang lebih

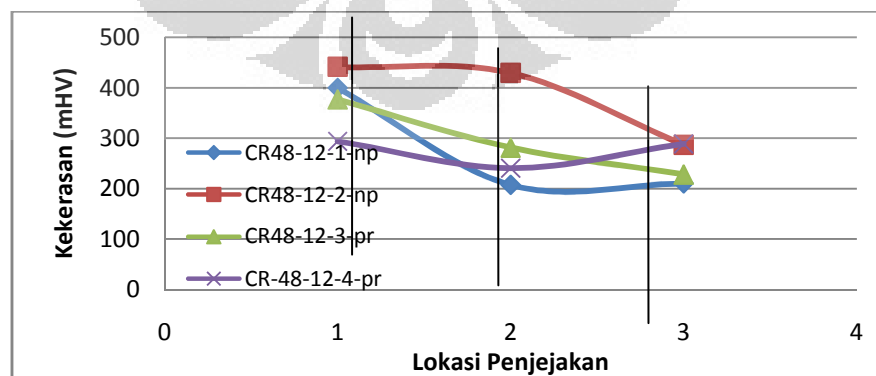
tebal harusnya lebih tinggi. Dilihat dari grafik, persebaran kekerasan pada sampel dengan ketebalan 16 mm lebih baik.



Gambar 4.20 Distribusi Kekerasan pada sampel CR48-12-4-np dan CR48-16-8-pr

Dilihat dari Gambar 4.20 kekerasan sampel yang lebih tebal lebih tinggi karena pengaruh dari kecepatan pendinginan material yang lebih tebal. Akibatnya kekerasan pada bagian HAZ dan kampuh las lebih tinggi pada sampel ketebalan 16 mm.

4.4.4 Perbandingan Distribusi Kekerasan Arah Vertikal Sampel Ketebalan 12 mm



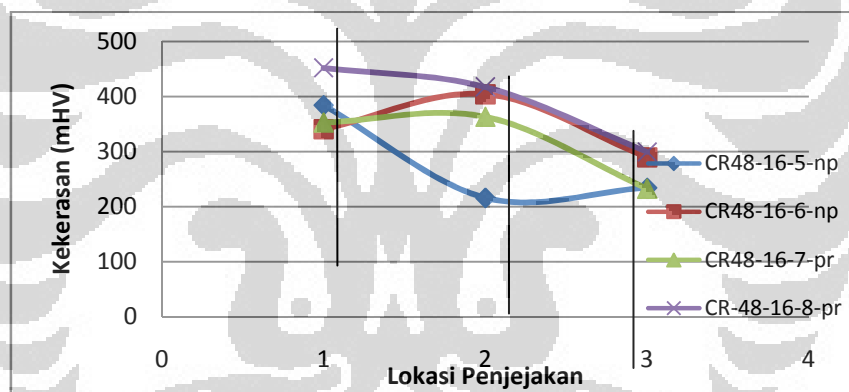
Gambar 4. 21 Distribusi kekerasan pada sampel ketebalan 12 mm dari arah vertikal

Gambar 4.21 diatas adalah distribusi kekerasan yang melewati kampuh las satu, interface dan kampuh las dua untuk melihat kecenderungan kekerasan sampel.

Dapat dilihat bahwa, kekerasan cenderung menurun dari arah atas ke bawah pada sampel dengan ketebalan 12 mm. Bahkan dengan *root* yang berbeda, kecenderungan ini tetap terjadi. Hal ini terjadi karena biasanya pada pengelasan *root* diperlukan panas yang lebih tinggi. Sehingga ketika pendinginan perlahan austenit yang tersisa yang merupakan fasa yang kekerasannya rendah masih banyak tersisa.

4.4.5 Perbandingan distribusi kekerasan pada arah vertikal pengelasan *Multilayer* pada ketebalan sampel 16 mm

Berikut ini adalah distribusi kekerasan yang melewati kampuh las satu, interface dan kampuh las dua untuk melihat kecenderungan kekerasan sampel.



Gambar 4. 22 Distribusi kekerasan pada sampel ketebalan 16 mm dari arah vertical

Dapat dilihat bahwa, kekerasan cenderung menurun dari arah atas ke bawah pada sampel dengan ketebalan 16 mm. Bahkan dengan *root* yang berbeda, kecenderungan ini tetap terjadi. Hal ini terjadi karena biasanya pada pengelasan *root* diperlukan panas yang lebih tinggi. Sehingga ketika pendinginan perlahan austenit yang tersisa yang merupakan fasa yang kekerasannya rendah masih banyak tersisa.

4.5 Data dan Analisa Uji Keausan

4.5.1 Laju Keausan Semua sampel

Perhitungan laju keausan pada Tabel 4.6 adalah dengan dengan konsep mengitung volume yang terabrasif selama pengujian. Kemudian, Laju keausan dihitung dengan membagi volume yang terabrasi dengan jarak luncurnya.

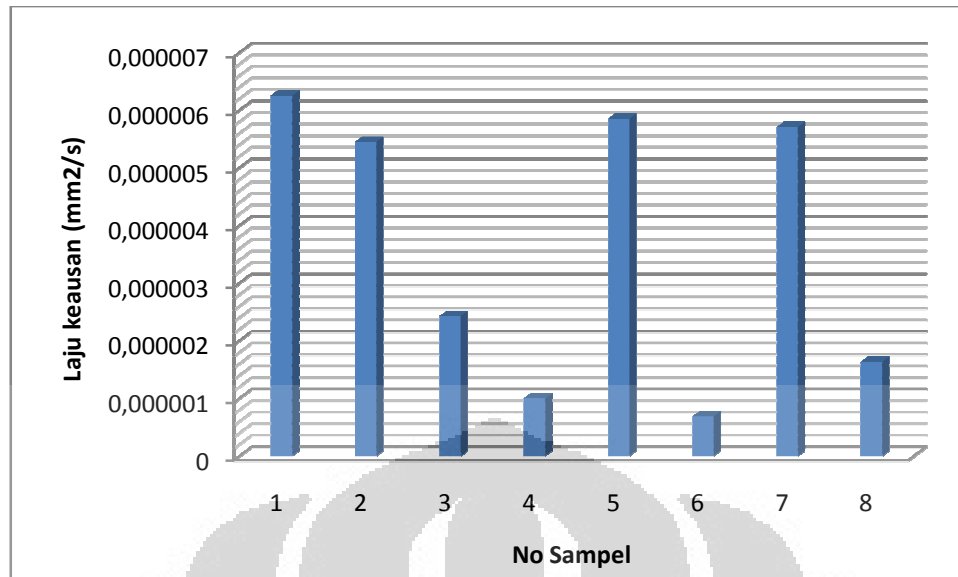
Tabel 4. 6 Perhitungan Laju Keausan Semua Sampel

Kode sampel	b1 (mm)	b2 (mm)	b3 (mm)	b rata2 (mm)	W (mm3)	v (mm2/s)
1	2,886	3,491	3,667	3,348	0,625468	6,25468E-06
2	3,08	3,38	3,134	3,198	0,54511	5,4511E-06
3	2,586	1,889	2,85	2,441667	0,24261	2,4261E-06
4	1,668	1,882	1,902	1,817333	0,100035	1,00035E-06
5	3,883	2,514	3,425	3,274	0,584904	5,84904E-06
6	1,625	1,624	1,564	1,604333	0,068823	6,88228E-07
7	3,868	3,133	2,743	3,248	0,57108	5,7108E-06
8	1,889	2,359	2,176	2,141333	0,163645	1,63645E-06

Keterangan nomor sampel :

1. CR48-12-1-np : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 12 mm, tanpa pemanasan awal, dan dilas dengan *root* E7108 dan *cap* MG NOX 35.
2. CR48-12-2-np : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 12 mm, tanpa pemanasan awal, dan dilas dengan *root* MG NOX 35 dan *cap* E 7018
3. CR48-12-3-pr : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 12 mm ,dengan pemanasan awal 200°C, dan dilas dengan *root* E7108 dan *cap* MG NOX 35.
4. CR48-12-4-pr : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 12 mm, dengan pemanasan awal 200°C, dan dilas dengan *root* E7108 dan *cap* MG NOX 35.
5. CR48-16-5-np : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 16 mm, tanpa pemanasan awal, dan dilas dengan *root* E7108 dan *cap* MG NOX 35.
6. CR48-16-6-np : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 16 mm, tanpa pemanasan awal, dan dilas dengan *root* MG NOX 35 dan *cap* E 7018
7. CR48-16-7-pr : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 16 mm ,dengan pemanasan awal 200°C, dan dilas dengan *root* E7108 dan *cap* MG NOX 35.
8. CR48-16-8-pr : Sampel CREUSABRO 4800 ketebalan 16 mm, dengan pemanasan awal 200°C, dan dilas dengan *root* E7108 dan *cap* MG NOX 35.

Dari perhitungan Tabel 4.10 diatas dapat dibuat sebuah grafik yang menghubungkan laju keausan semua sampel.

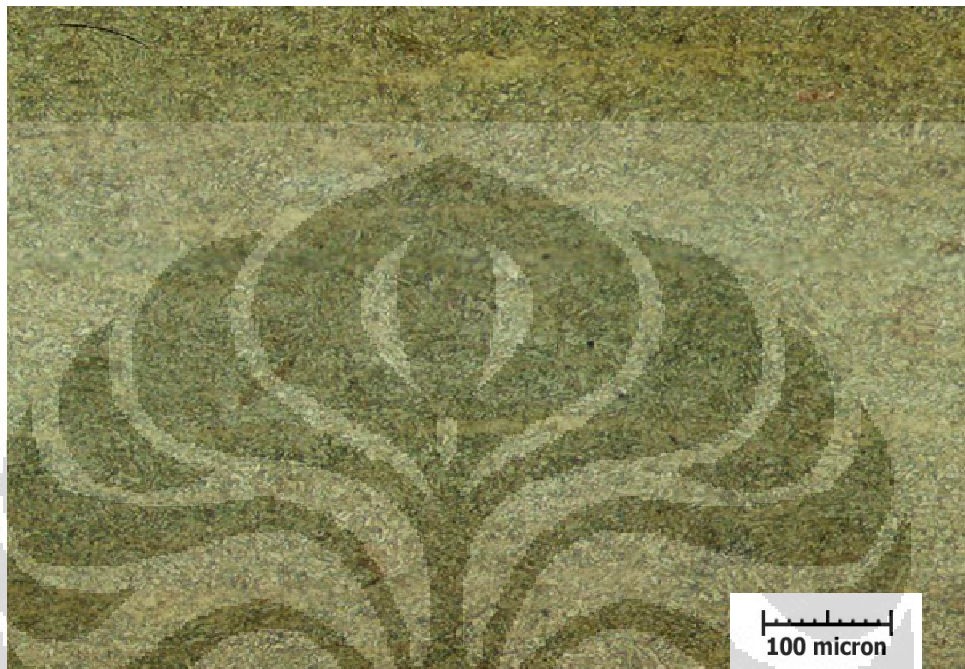


Gambar 4. 23 Laju keausan semua sampel pada bagian cap

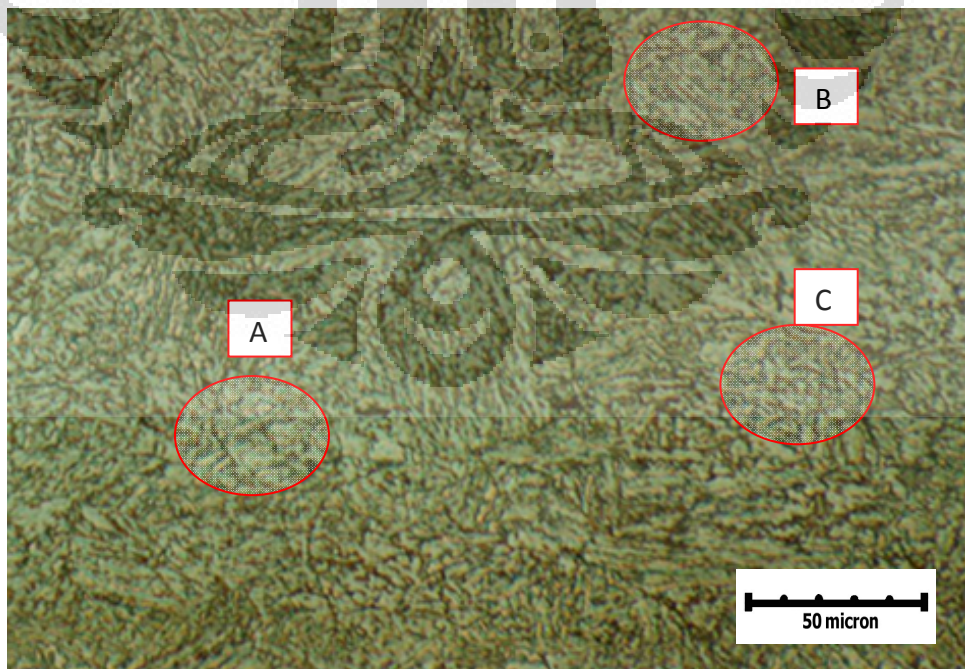
dilihat dari Gambar 4.23 diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa faktor paling berpengaruh dalam ketahanan aus permukaan material pada sampel ini adalah jenis elektroda yang dipakai pada bagian *cap*. Dapat dilihat bahwa, laju keausan sampel bernomor ganjil lebih tinggi daripada sampel bernomor genap. Sampel bernomor ganjil memakai elektroda MG NOX 35 sebagai *cap*, sedangkan sampel bernomor genap memakai elektroda E 7018 sebagai *cap*. Dapat ditarik kesimpulan bahwa laju keausan elektroda E 7018 lebih rendah daripada elektroda MG NOX 35 karena elektroda E 7018 memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada MG NOX 35. Hal ini dibuktikan juga dari uji kekerasan yang telah dilakukan.

4.6 Data dan Analisa Mikrostruktur

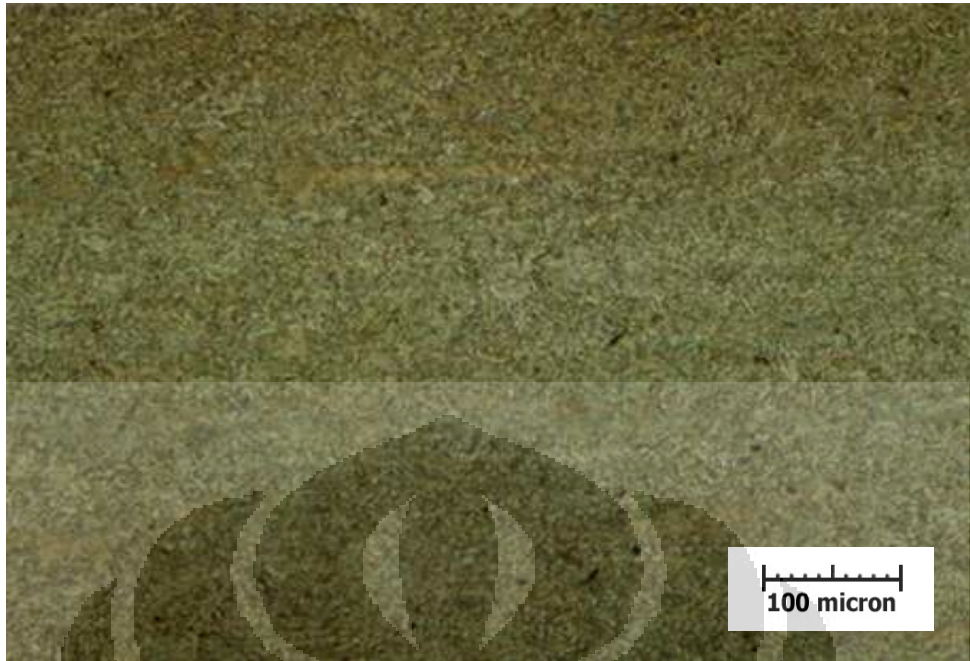
4.6.1 Analisa Logam Induk Sampel yang di Pemanasan awal dan Tanpa Pemanasan Awal



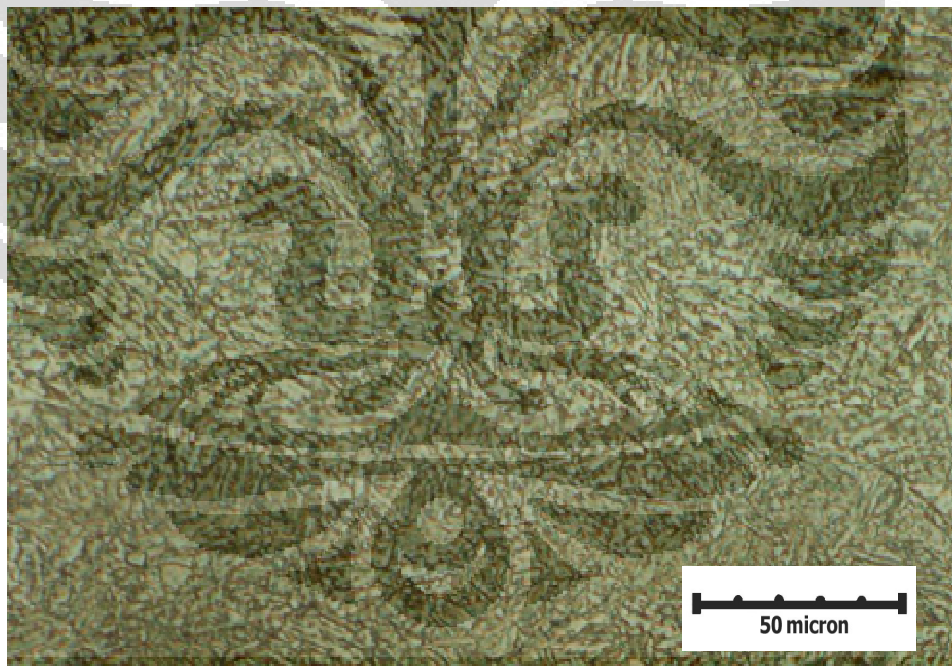
Gambar 4. 24 Mikrostruktur logam dasar sampel tanpa pemanasan awal



Gambar 4. 25 Mikrostruktur logam dasar sampel tanpa pemanasan awal



Gambar 4. 26 Mikrostruktur logam dasar sampel



Gambar 4. 27 Mikrostruktur logam dasar sampel pemanasan awal

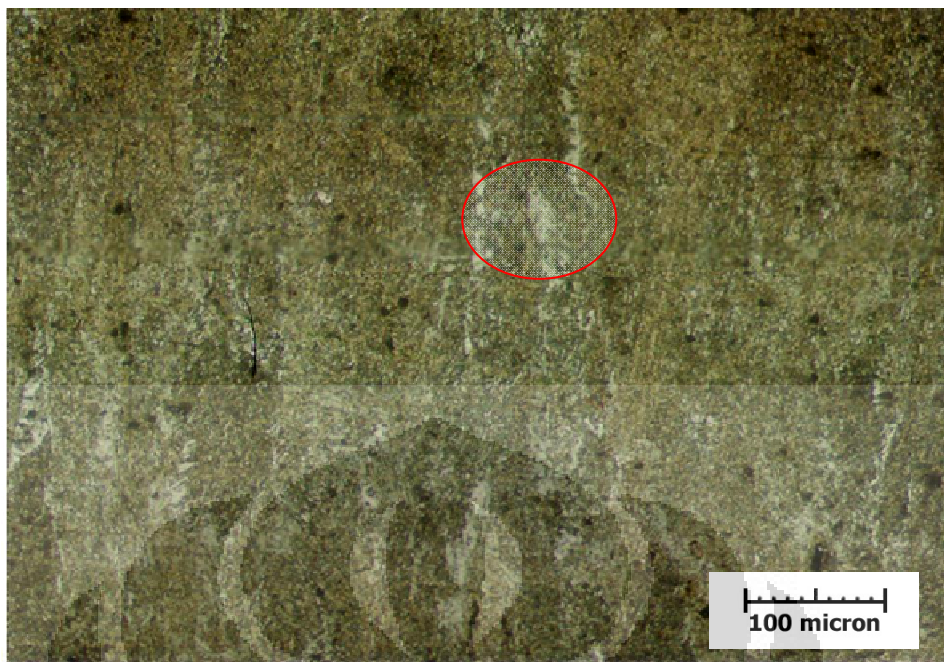
Sebelum dilakukan pengambilan foto mikro, sampel di etsa dengan menggunakan larutan nital 2% selama 7 – 15 detik. Pengamatan struktur mikro dilakukan pada sampel dengan variasi perlakuan pemanasan awal . Berdasarkan hasil foto mikro dapat di amati bahwa secara umum struktur mikro logam dasar dari masing-masing sampel relatif sama. Berdasarkan literatur dari material

tersebut, disebutkan bahwa fasa pada baja Creusabro 4800 ini terdiri dari bainit, martensit, austenite sisa dan mikrokarbida ^[1]. Berdasarkan pengamatan mikrostruktur yang dilakukan yaitu Gambar 4.25, fasa yang terlihat pada baja Creusabro 4800 tersebut didominasi oleh fasa ferrit yang diberi tanda “A” pada gambar sebagai matriksnya, fasa bainit yang diberi tanda “C”, fasa martensit yang diberi tanda “B”, dan austenit sisa yang berwarna putih yang jumlahnya sedikit. Sedangkan karbida tidak bisa kelihatan secara jelas dengan perbesaran 500 x.

Dilihat dari foto mikro, Perbedaan antara logam induk tanpa pemanasan awal dan logam induk dengan pemanasan awal adalah susunan fasa martensit yang lebih rapat serta bainit yang terbentuk lebih banyak daripada sebelum diberikan perlakuan pemanasan awal.

4.6.2 Analisa Inti Las pada Sampel Ketebalan 12 mm

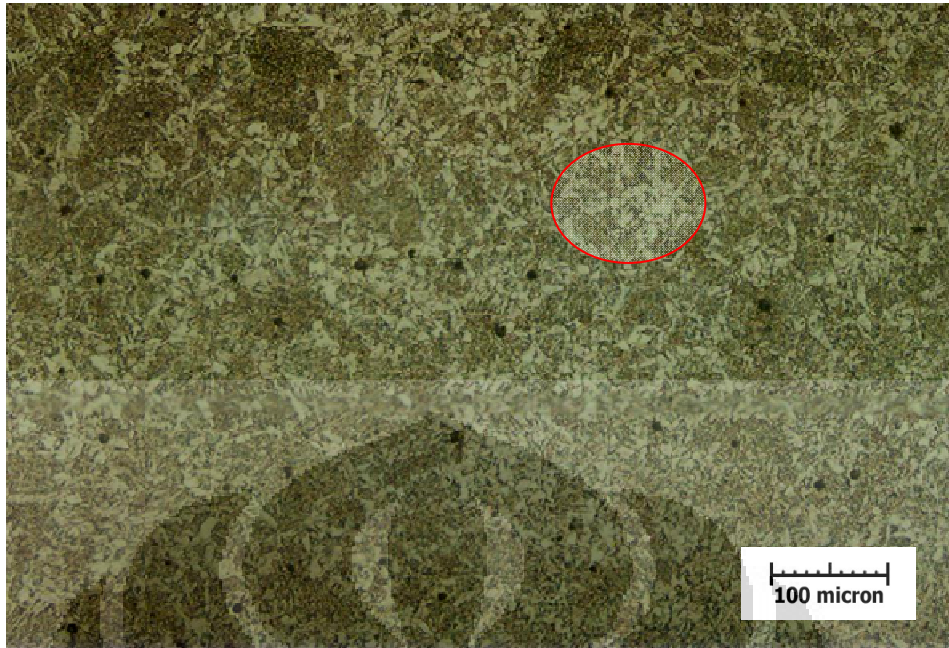
Mikrostruktur daerah kumpuh las pada masing-masing sampel yang memiliki variasi perlakuan pemanasan awal juga berbeda. Secara umum, fasa yang terdapat pada daerah kumpuh las adalah *acicular* ferrit –perlit seperti yang ditandai pada Gambar 4.28, Gambar 4.29, Gambar 4.30 dan Gambar 4.31. Namun, pada sampel yang mendapatkan perlakuan pemanasan awal 200°C struktur yang terbentuk lebih kasar jika dibandingkan pada sampel tanpa perlakuan pemanasan awal. Adanya perbedaan bentuk struktur mikro tersebut sekali lagi disebabkan karena laju pendinginan yang berbeda. Struktur yang berbentuk jarum (halus) pada sampel tanpa perlakuan pemanasan awal disebabkan karena laju pendinginan yang sangat cepat. Sebaliknya, struktur kasar yang dihasilkan pada sampel dengan perlakuan pemanasan awal disebabkan karena laju pendinginannya yang relatif lebih lambat sehingga struktur yang dihasilkan lebih kasar.



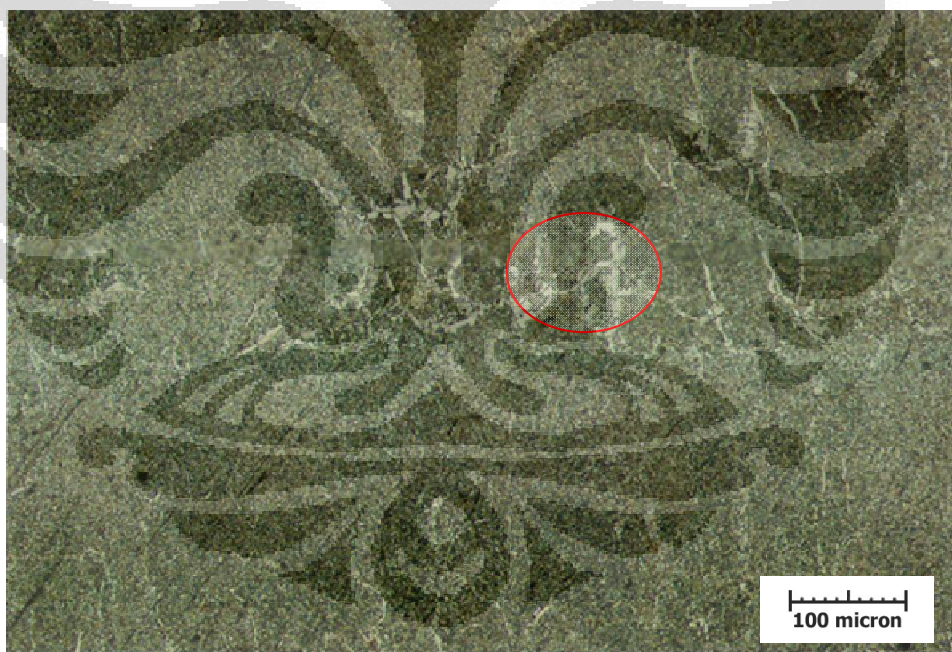
Gambar 4. 28 Mikrostruktur Inti Las Elektroda 7018 CR48-12-1-np



Gambar 4. 29 Mikrostruktur Inti Las Elektroda E 7018 sampel CR48-12-2-np



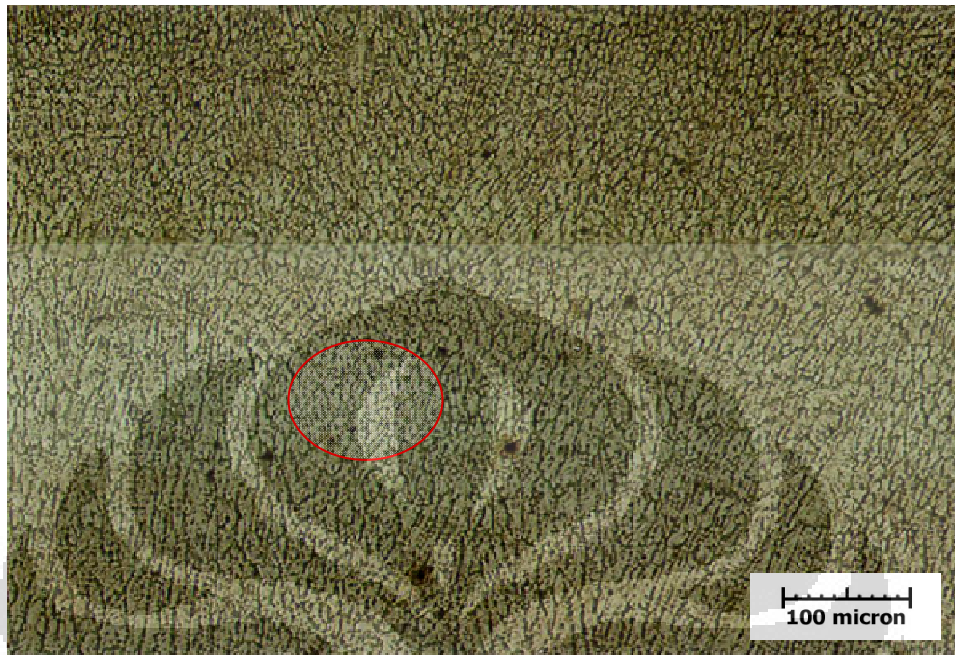
Gambar 4.30 Mikrostruktur Inti Las Elektroda E 7018 CR48-12-3-pr



Gambar 4. 31 Mikrostruktur Inti Las Elektroda E 7018 CR48-12-4-pr

Gambar 4.28 dan gambar 4.29 menunjukkan dominasi martensit, bainit dan sedikit austenit sisa akibat pendinginan yang cepat. Sampel ini dilas tanpa perlakuan pemanasan awal sedangkan pada Gambar 4.30 dan Gambar 4.31 yang merupakan sampel yang di berikan perlakuan pemanasan awal terlihat ferrit dan perlite serta austenit sisa mendominasi struktur yang ada. Karena dengan waktu

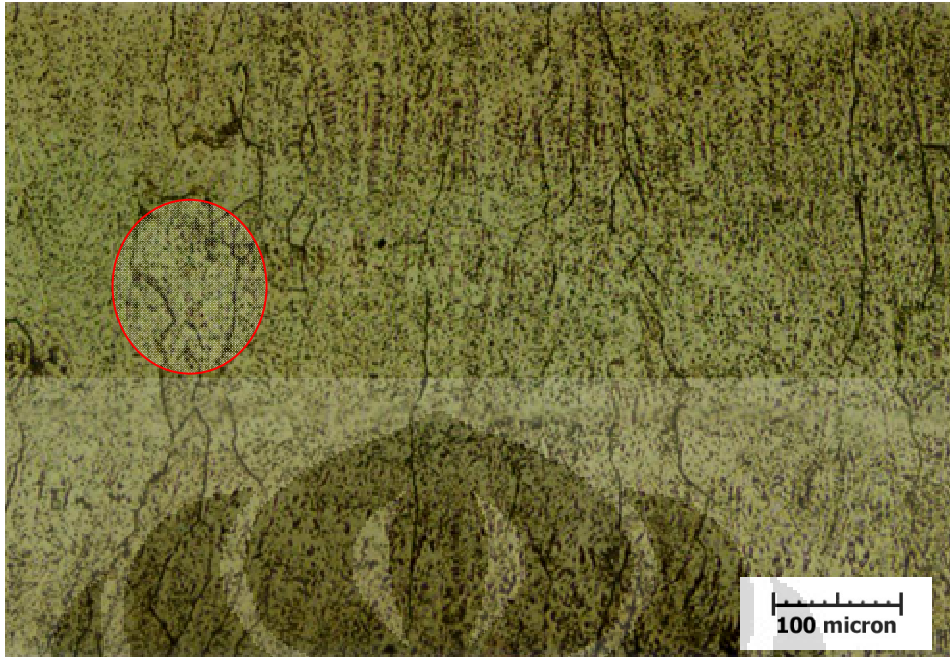
pendinginan yang lebih lambat butir ferrite dan perlit sempat untuk tumbuh. Hanya ada sedikit bainit dan martensit dalam strukturnya.



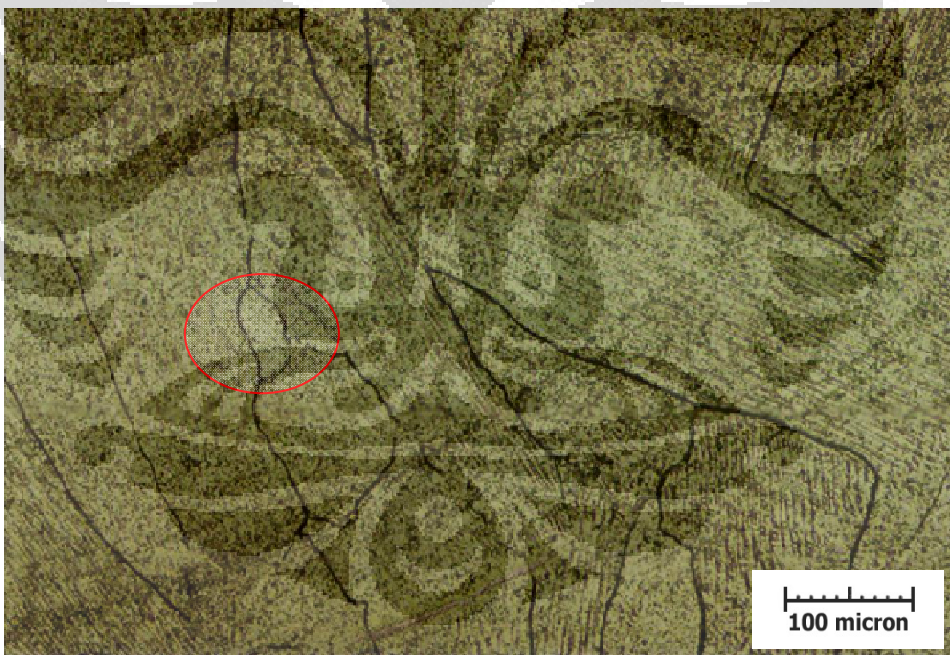
Gambar 4.32 Mikrostruktur Inti Las Elektroda MG NOX 35 CR48-12-1-np



Gambar 4.33 Mikrostruktur Inti Las Elektroda MG NOX 35 sampel CR48-12-2-np



Gambar 4. 34 Mikrostruktur Inti Las Elektroda MG NOX 35 CR48-12-3-pr



Gambar 4. 35 Mikrostruktur Inti Las Elektroda MG NOX 35 CR48-12-4-pr

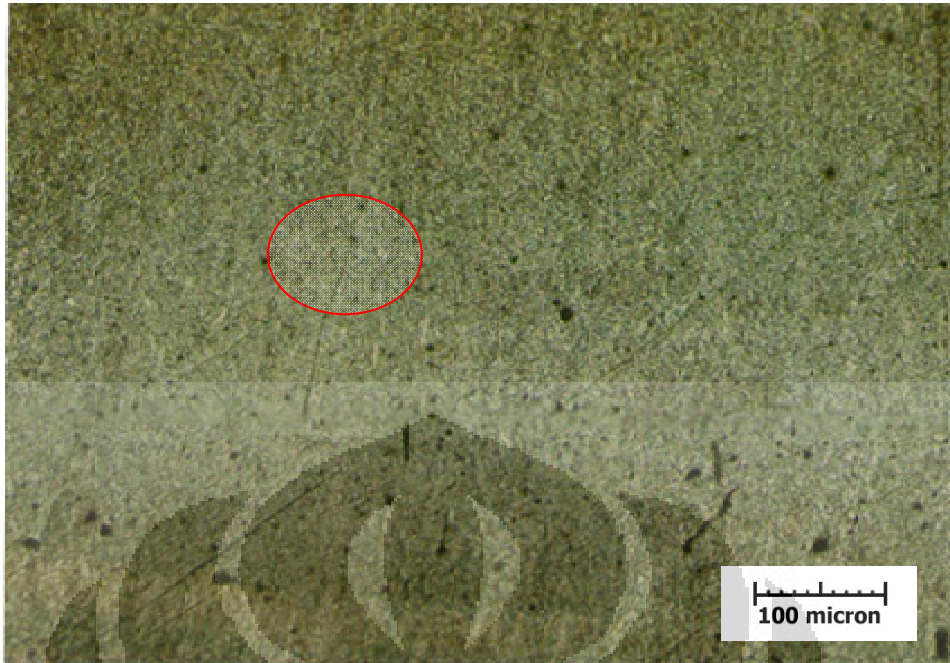
Dari hasil analisa Gambar 4.32 dan Gambar 4.33, mikrostruktur Inti las pada sampel tanpa pemanasan awal terlihat butir-butir austenit yang kecil yaitu yang diberikan tanda lingkaran serta karbida yang berada pada batas butir. yang terbentuk akibat pendinginan yang cepat, sedangkan pada Gambar 4.34 dan Gambar 4.35, butir austenit ukurannya cukup besar sehingga terlihat batas butir

yang jelas seperti yang telah diberi tanda. Karbida yang tersusun dibatas butir lebih sedikit karena laju pendinginan yang lebih lambat membuat waktu butir austenit untuk tumbuh lebih lama sehingga tidak terbentuk karbida di batas butir.

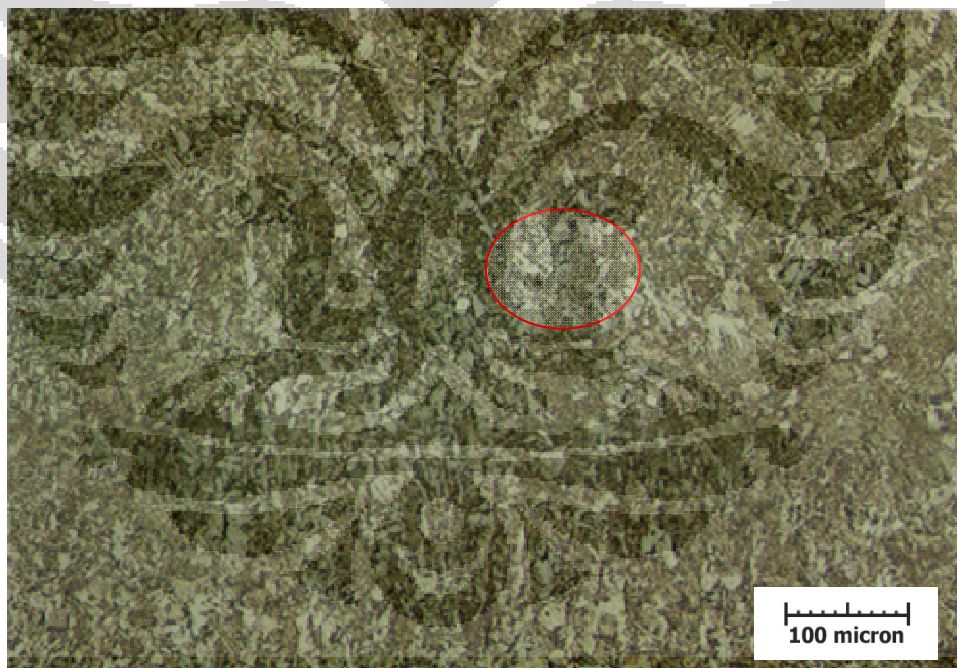
4.6.3 Analisa Inti Las pada Sampel Ketebalan 16 mm



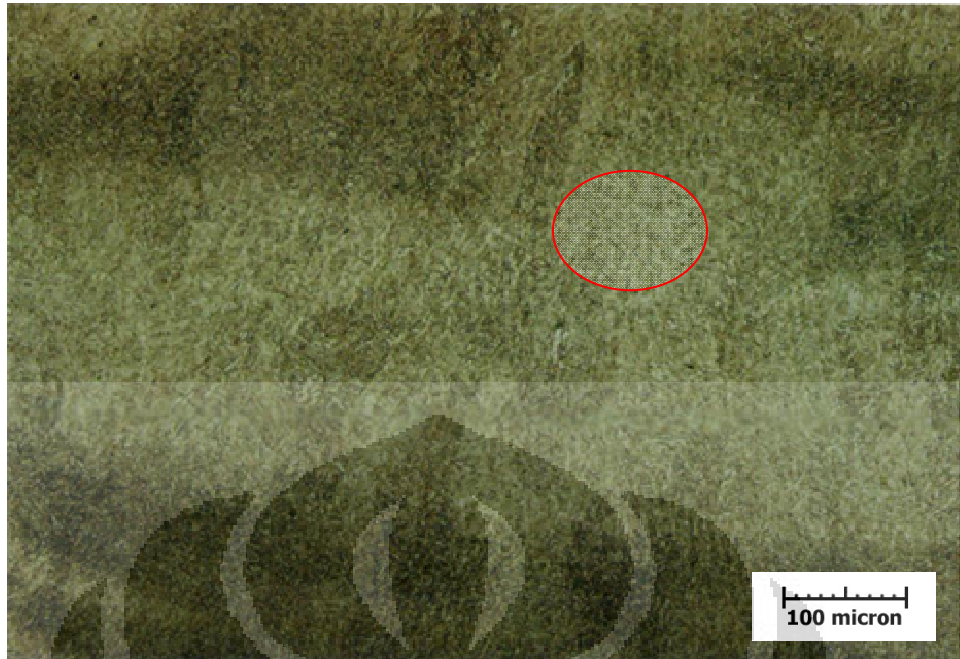
Gambar 4. 36 Mikrostruktur Inti Las Elektroda E 7018 CR48-16-5-np



Gambar 4. 37 Mikrostruktur Inti Las Elektroda E 7018 CR48-16-6-np

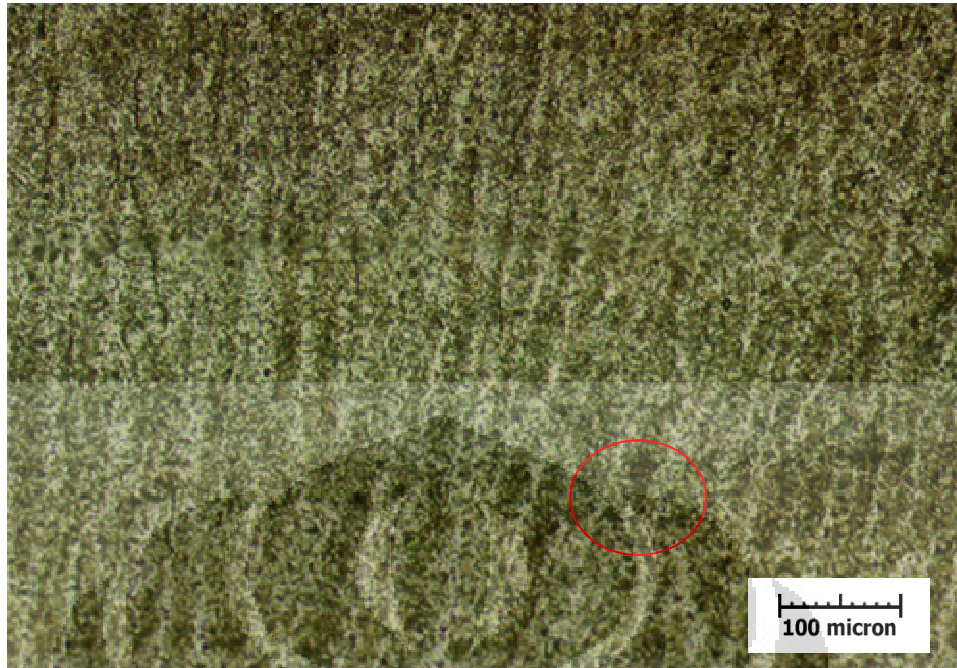


Gambar 4. 38 Mikrostruktur Inti Las Elektroda E 7018 CR48-16-7-pr

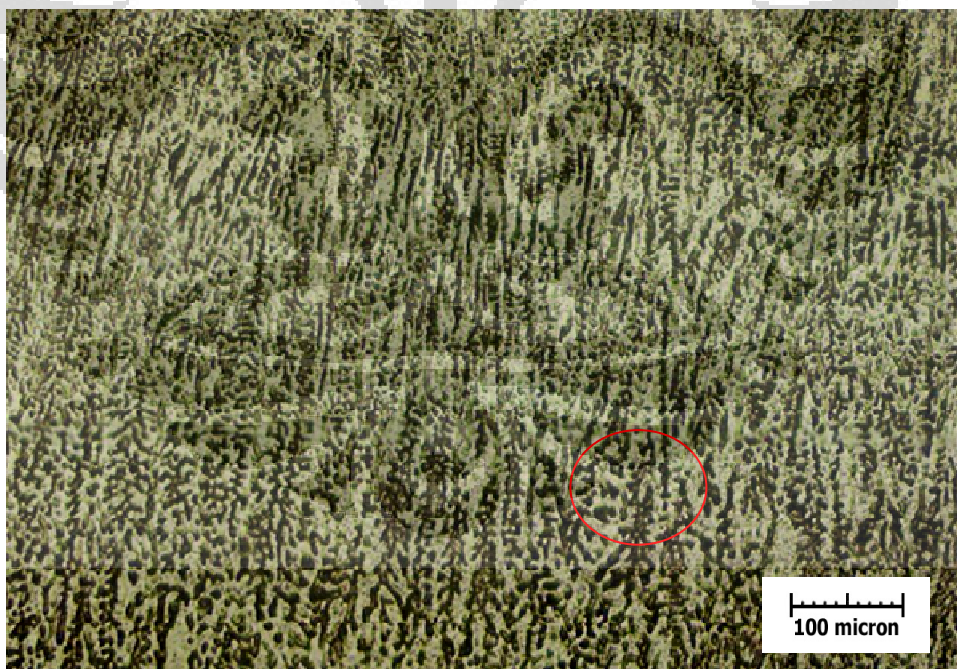


Gambar 4. 39 Mikrostruktur Inti Las Elektroda E 7018 CR48-16-8-pr

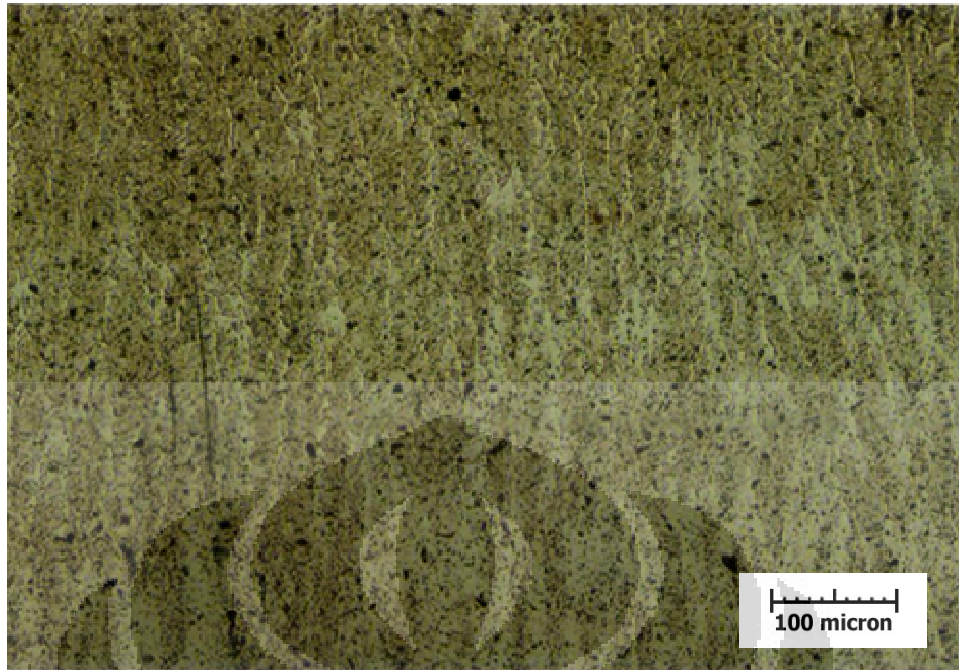
Dari hasil analisa Gambar 4.36 dan Gambar 4.37, mikrostruktur inti las pada sampel tanpa pemanasan awal terlihat butir-butir ferrit yang cukup besar seperti yang telah diberi tanda pada gambar. Fasa bainit yang terbentuk, akibat pendinginan yang cepat, sedangkan pada Gambar 4.38 dan Gambar 4.39, butir-butir ferrit juga cukup besar seperti yang telah diberi tanda pada gambar. Dari keempat gambar tersebut, dapat dilihat bahwa fasa keras yang terbentuk pada sampel tanpa perlakuan pemanasan awal lebih banyak dari pada sampel yang diberikan pemanasan awal. Selain itu, pada Gambar 4.38 dan Gambar 4.39 terlihat bahwa fasa yang terbentuk juga berbeda, dimana elektroda E7018 pada sampel CR48-16-7-pr yang bertindak sebagai *root*, fasa-fasa keras seperti martensit dan bainit lebih banyak terbentuk daripada elektroda E7018 pada sampel CR48-16-8-pr yang bertindak sebagai *cap*. Hal ini akibat panas yang diberikan kepada sampel CR48-16-7-pr lebih tinggi, hal ini bertujuan untuk meningkatkan penetrasi pengelasan. Tetapi, akibatnya meningkatkan laju pendinginan saat pendinginan sehingga terbentuk fasa-fasa keras.



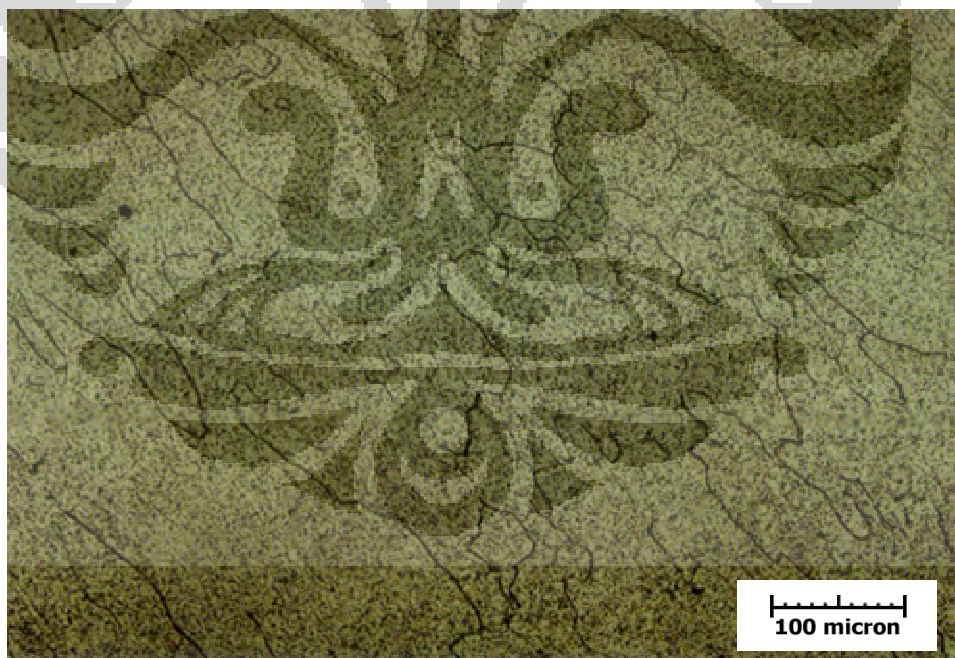
Gambar 4. 40 Mikrostruktur Inti Las Elektroda MG NOX 35 sampel CR48-16-5-np



Gambar 4. 41 Mikrostruktur Inti Las Elektroda MG NOX 35 sampel CR48-16-6-np



Gambar 4. 42 Mikrostruktur Inti Las Elektroda MG NOX 35 sampel CR48-16-7-pr



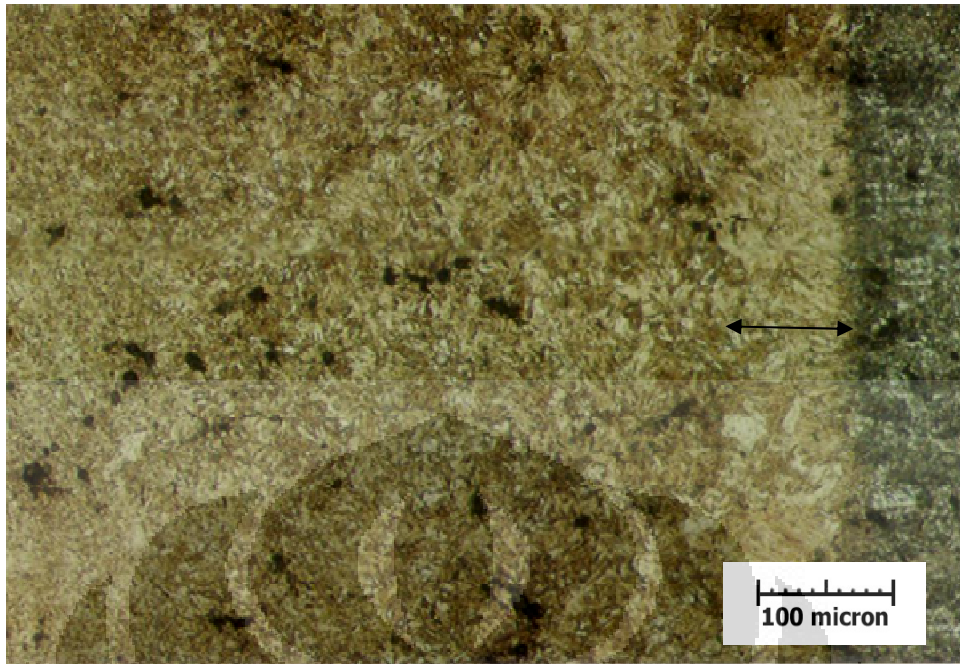
Gambar 4. 43 Mikrostruktur Inti Las Elektroda MG NOX 35 sampel CR48-16-8-pr

Inti las pada Gambar 4.40, Gambar 4.41, Gambar 4.42, dan Gambar 4.43 Kawat las yang digunakan merupakan jenis *stainless steel austenitic* yang mengandung unsur Cr cukup tinggi. Selama proses pengelasan, karbon yang

berasal dari pelelehan logam dasar dapat bereaksi dengan Cr membentuk senyawa karbida di batas butir membentuk dendrit. Semakin cepat laju pendinginan maka kemungkinan terbentuknya senyawa kromium karbida akan semakin tinggi. Oleh karena itu, pada sampel dengan perlakuan pemanasan awal jumlah karbida yang terbentuk lebih sedikit jika dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan pemanasan awal seperti pada Gambar 4.42 dan Gambar 4.43. Pada Gambar tersebut dapat dilihat juga bahwa butir austenit yang terbentuk berbeda. Butir austenit lebih besar pada Gambar 4.43, hal ini akibat perbedaan posisi sampel pada pengelasan. Pada Gambar 4.43, elektroda MG NOX 35 bertindak sebagai *cap*, artinya panas yang diberikan tidak terlalu besar serta sampel telah diberikan perlakuan pemanasan awal, sehingga laju pendinginan lambat sehingga terjadi pertumbuhan butir.

4.6.4 Analisa HAZ pada Sampel Ketebalan 12 mm

Mikrostruktur daerah terpengaruh panas (HAZ) dibagi menjadi dua bagian yaitu mikrostruktur HAZ kasar dan mikro struktur HAZ halus. Namun, yang dimasukkan dalam skripsi ini hanya mikrostruktur HAZ kasar untuk membandingkan pengaruh pemanasan awal dan jenis filler terhadap struktur HAZ. Daerah HAZ kasar adalah daerah yang terpengaruh panas dengan temperatur paling tinggi. Pada daerah ini butiran material mengalami pertumbuhan butir sehingga strukturnya lebih kasar jika dibandingkan dengan HAZ halus. Sementara itu, mikrostruktur HAZ halus dihasilkan dari pengaruh panas yang menyebabkan material mengalami rekristalisasi namun tidak sampai terjadi pertumbuhan butir seperti yang dialami daerah HAZ kasar. HAZ yang ditampilkan adalah HAZ satu adalah daerah yang terkena panas dari pengelasan *root* dan HAZ dua adalah daerah yang terkena panas dari pengelasan *cap*.



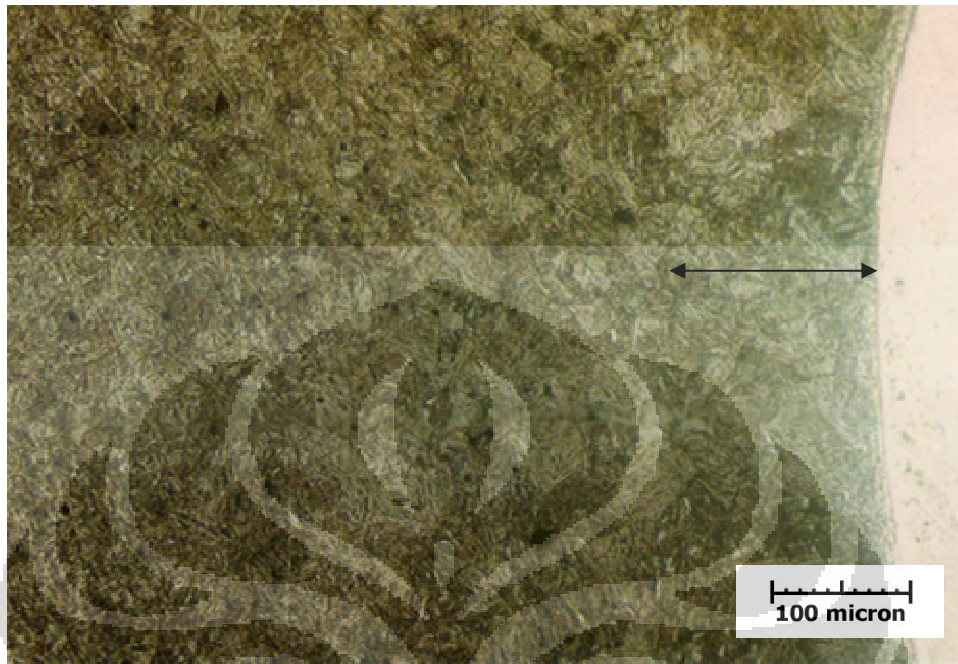
Gambar 4. 44 Mikrostruktur HAZ 1 sampel CR48-12-1-np



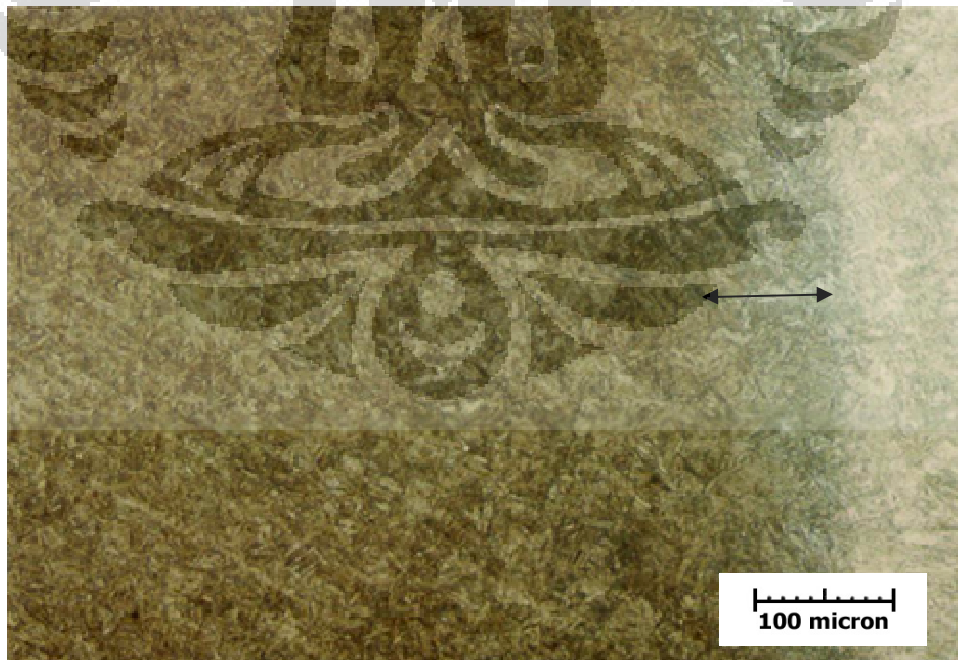
Gambar 4. 45 Mikrostruktur HAZ 2 sampel CR48-12-1-np

Pada Gambar 4.44 terlihat bahwa HAZ yang terbentuk lebih luas dari pada Gambar 4.45. Hal ini disebabkan panas yang digunakan untuk mengelas *root* lebih besar daripada mengelas *cap*. Sehingga daerah yang terkena dampak panas

berbeda juga. Fasa yang terbentuk di daerah HAZ ini adalah martensit di sepanjang perbatasan fusi.

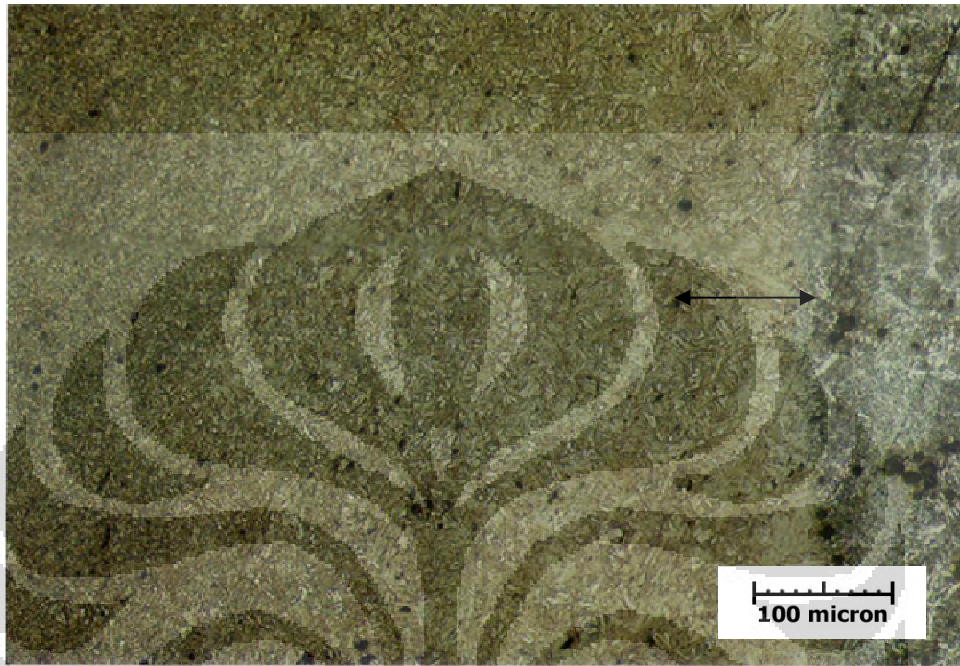


Gambar 4. 46 Mikrostruktur HAZ 1 sampel CR48-12-2-np



Gambar 4. 47 Mikrostruktur HAZ 2 sampel CR48-12-2-np

Pada Gambar 4.46 terlihat bahwa HAZ yang terbentuk lebih luas dari pada Gambar 4.47. Hal ini disebabkan panas yang digunakan untuk mengelas *root* lebih besar daripada mengelas *cap*. Sehingga daerah yang terkena dampak panas berbeda juga. Fasa yang terbentuk adalah martensit dan bainit.



Gambar 4. 48 Mikrostruktur HAZ 1 sampel CR48-12-3-pr



Gambar 4. 49 Mikrostruktur HAZ 2 sampel CR48-12-3-pr

Begitu juga pada Gambar 4.48 terlihat bahwa HAZ yang terbentuk lebih luas dari pada Gambar 4.49. Hal ini disebabkan panas yang digunakan untuk mengelas *root* lebih besar daripada mengelas *cap*. Sehingga daerah yang terkena dampak panas berbeda juga. Fasa yang terbentuk adalah martensit dan bainit.



Gambar 4. 50 Mikrostruktur HAZ 1 sampel CR48-12-pr



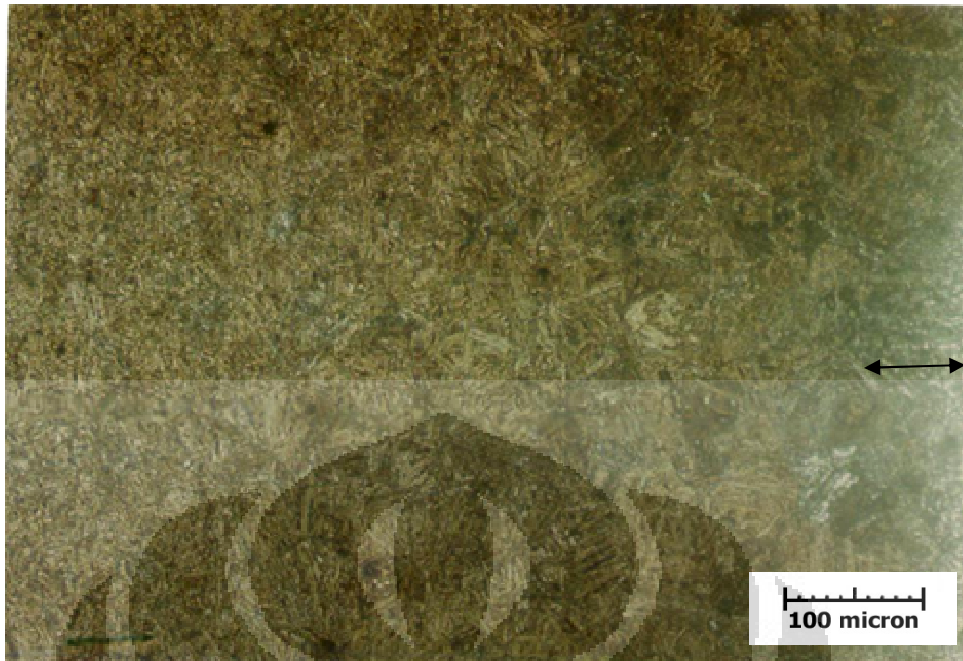
Gambar 4. 51 Mikrostruktur HAZ 2 sampel CR48-12-4-pr

Begitu juga pada Gambar 4.50 terlihat bahwa HAZ yang terbentuk lebih luas dari pada Gambar 4.51. Hal ini disebabkan panas yang digunakan untuk mengelas *root* lebih besar daripada mengelas *cap*. Sehingga daerah yang terkena dampak panas berbeda juga. Fasa yang terbentuk adalah martensit dan bainit

4.6.4 Analisa HAZ pada Sampel Dengan Ketebalan 16 mm



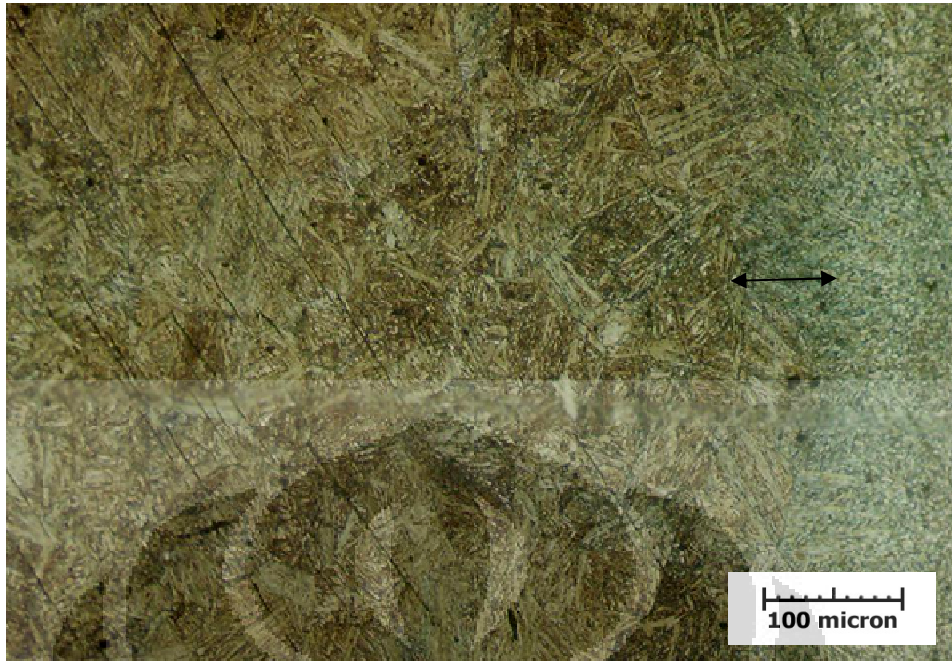
Gambar 4. 52 Mikrostruktur HAZ 1 sampel CR48-16-5-np



Gambar 4. 53 Mikrostruktur HAZ 2 sampel CR48-16-5-np



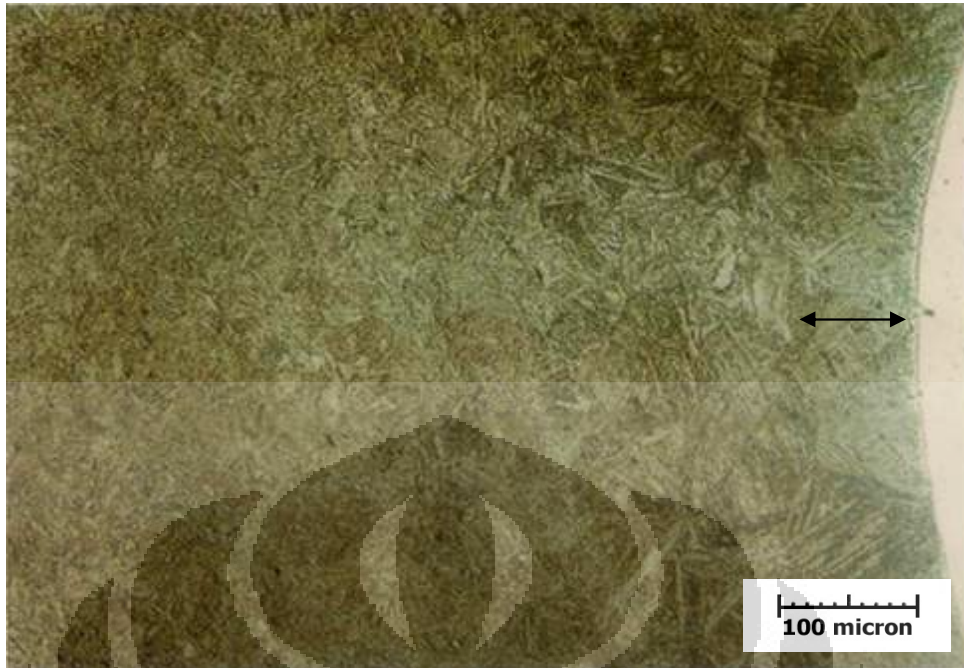
Gambar 4. 54 Mikrostruktur HAZ 1 sampel CR48-16-6-np



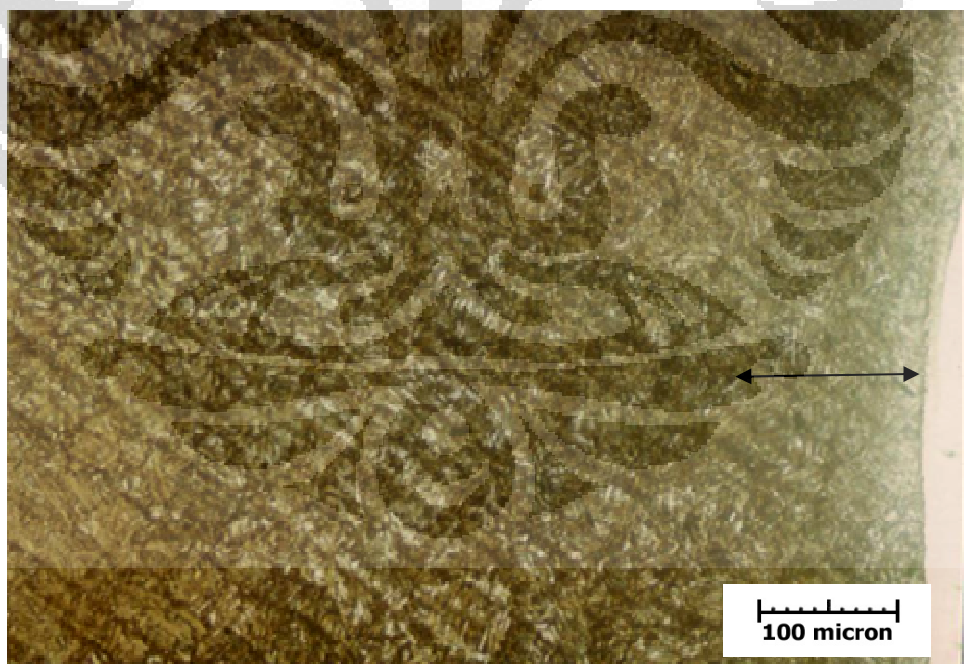
Gambar 4. 55 Mikrostruktur HAZ 2 sampel CR48-16-6-np



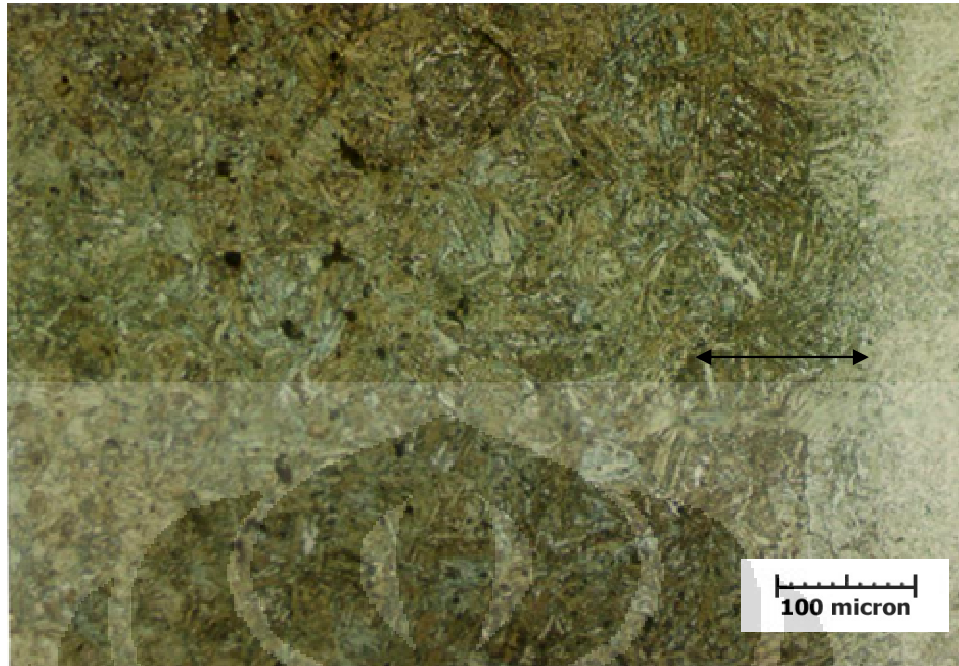
Gambar 4. 56 Mikrostruktur HAZ 1 sampel CR48-16-7-pr



Gambar 4. 57 Mikrostruktur HAZ 2 sampel CR48-16-7-pr



Gambar 4. 58 Mikrostruktur HAZ 1 sampel CR48-16-8-pr



Gambar 4. 59 Mikrostruktur HAZ 2 sampel CR48-16-8-pr

Pada Gambar 4.52, Gambar 4.53, Gambar 4.54, Gambar 4.55, Gambar 4.56, Gambar 4.57, Gambar 4.58 dan Gambar 4.59, terlihat bahwa HAZ satu memiliki daerah yang lebih luas daripada HAZ dua seperti yang telah diberi tanda panah pada gambar. Masukan panas yang berbeda menjadi faktor utama dalam hal ini. Dimana pengelas *root* membutuhkan masukan panas yang lebih tinggi saat pengelasan daripada . Sehingga ketika pendinginan, masukan panas yang lebih besar pendinginannya relatif lebih lambat tetapi daerah yang terkena efek panas lebih luas daripada yang masukan panas nya lebih kecil.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengelasan SMAW multilayer akan memberikan karakteristik HAZ yang berbeda pada masing masing jenis elektroda yang dipakai.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Retak dingin tidak terjadi pada pengelasan SMAW *multilayer* baja tahan aus Creusabro[®] 4800 dengan *root* elektroda E 7018 maupun elektroda MG NOX 35 tanpa perlakuan pemanasan awal. Retak dingin juga tidak terjadi pada pengelasan SMAW *multilayer* baja tahan aus Creusabro[®] 4800 dengan *root* elektroda E 7018 maupun *root* elektroda MG NOX 35 dengan perlakuan pemanasan awal 200°C. Sehingga dapat disimpulkan kemampuan kedua jenis ketebalan material ini baik.
2. Berdasarkan hasil uji tekuk nilai keuletan tertinggi terdapat pada sampel ketebalan 12 mm yang menggunakan *cap* elektroda MG NOX 35 dengan perlakuan pemanasan awal 200°C. Kekerasan sampel perlakuan pemanasan awal 200°C lebih rendah daripada sampel yang tidak mendapatkan perlakuan pemanasan awal. Kekerasan ke arah vertikal (dalam) sampel mengalami penurunan karena efek tempering pengelasan.
3. Laju Keausan dipengaruhi faktor elektroda yang dipakai sebagai *cap*, untuk pengelasan *multilayer* elektroda E7018 lebih baik karena kekerasannya lebih tinggi.
4. Pengelasan *multilayer* memberikan karakteristik HAZ yang berbeda ketika pengelasan *root* atau *cap*. Daerah yang terkena efek panas akibat pengelasan *root* lebih luas daripada *cap*. Fasa yang terbentuk di daerah HAZ adalah martensit. Sehingga, jumlah fasa yang terbentuk inilah yang menentukan sifat mekanis lasan. Karakteristik Inti Las elektroda E7018 saat bertindak sebagai *root* berbeda dengan saat sebagai *cap*. Dimana, martensit banyak terbentuk dan ferrit yang ada lebih sedikit saat elektroda E 7018 bertindak sebagai *root* daripada sebagai *cap*. Karakteristik Inti Las elektroda MG NOX 35 saat bertindak sebagai *root* berbeda pada saat sebagai *cap*. Saat sebagai *root*, struktur dendrit segregasi karbida lebih banyak terbentuk daripada saat sebagai *cap*. Butir austenit yang lebih besar dapat diamati pada sampel yang diberikan perlakuan pemanasan awal.

5.2 Saran

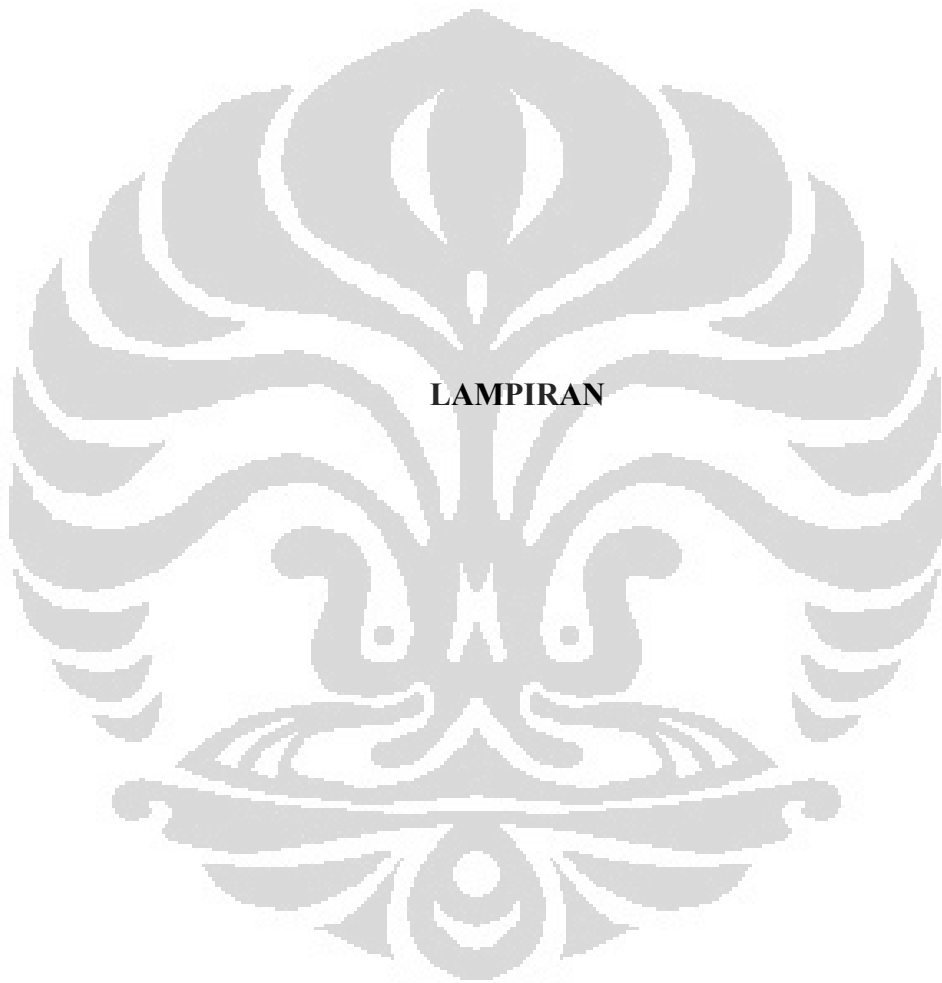
1. Pada penelitian selanjutnya pengelasan harus dilakukan oleh juru las yang memiliki kemampuan yang baik dalam hal pengetahuan dan presisi dalam bekerja, sehingga tidak terjadi cacat-cacat saat pengelasan.
2. Tebal setiap lapisan untuk setiap *passing* pengelasan perlu ditetapkan dan dijaga untuk mengetahui pengaruh dari ketebalan lapisan tersebut terhadap sifat mekanis dan ketahanan retaknya.

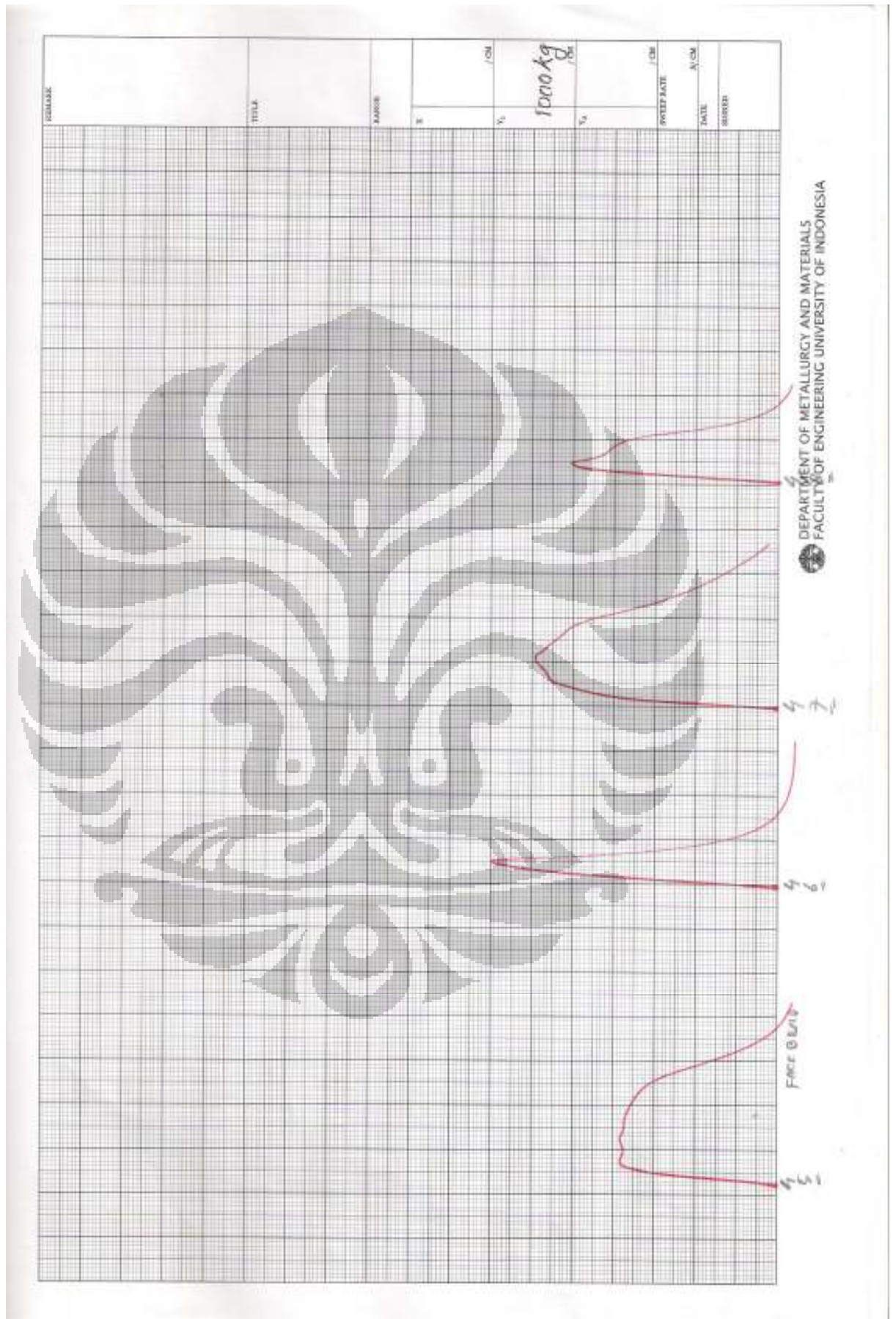


DAFTAR REFERENSI

- [1] John G. Speera ,Fernando C. 2005. The “Quenching and Partitioning” Process: Background and Recent Progress. *Journal of Material Research* 421-422
- [2] J. Adamczyk, Development of the microalloyed constructional steels, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 14, (2006), pp.9-20.
- [3] Brosur material dari PT Tita Austenit, Tbk.
- [4] B. Swieczko-Zurek, S. Sobieszczyk, J. Cwiek, A. Zielinski, Evaluation of susceptibility of high-strength steels to hydrogen delayed cracking, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 18 (2006), pp.243-246.
- [5] *Welding Handbook Volume 1*, eight Ed, American Welding Society Miami, Florida, USA
- [6] Sindo Kou, 2002. *Welding metallurgy* 2nd ed. “A Wiley-Interscience publication.
- [7] Juliana Anggono, Roche Alimin. “Pengaruh Besar Input Panas Pengelasan SMAW Terhadap Distorsi Angular Sambungan T Baja LunakSS 400”. Diakses 11 Juli 2012. dari Universitas Kristen Petra.
<http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/mes/article/viewFile/15895/15>
- [8] Masubuchi, K, 1980. *Analysis of Welded Structure*, First Ed.Pergamon Press Ltd. Oxford, England.
- [9] Ir. Edy S Siradj M.Eng, 1993. *Pengukuran Tegangan Sisa Aluminium Paduan 5852-H13 Hasil Pengelasan GTA dengan Metode Difraksi Sinar-X*. Jurusan Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

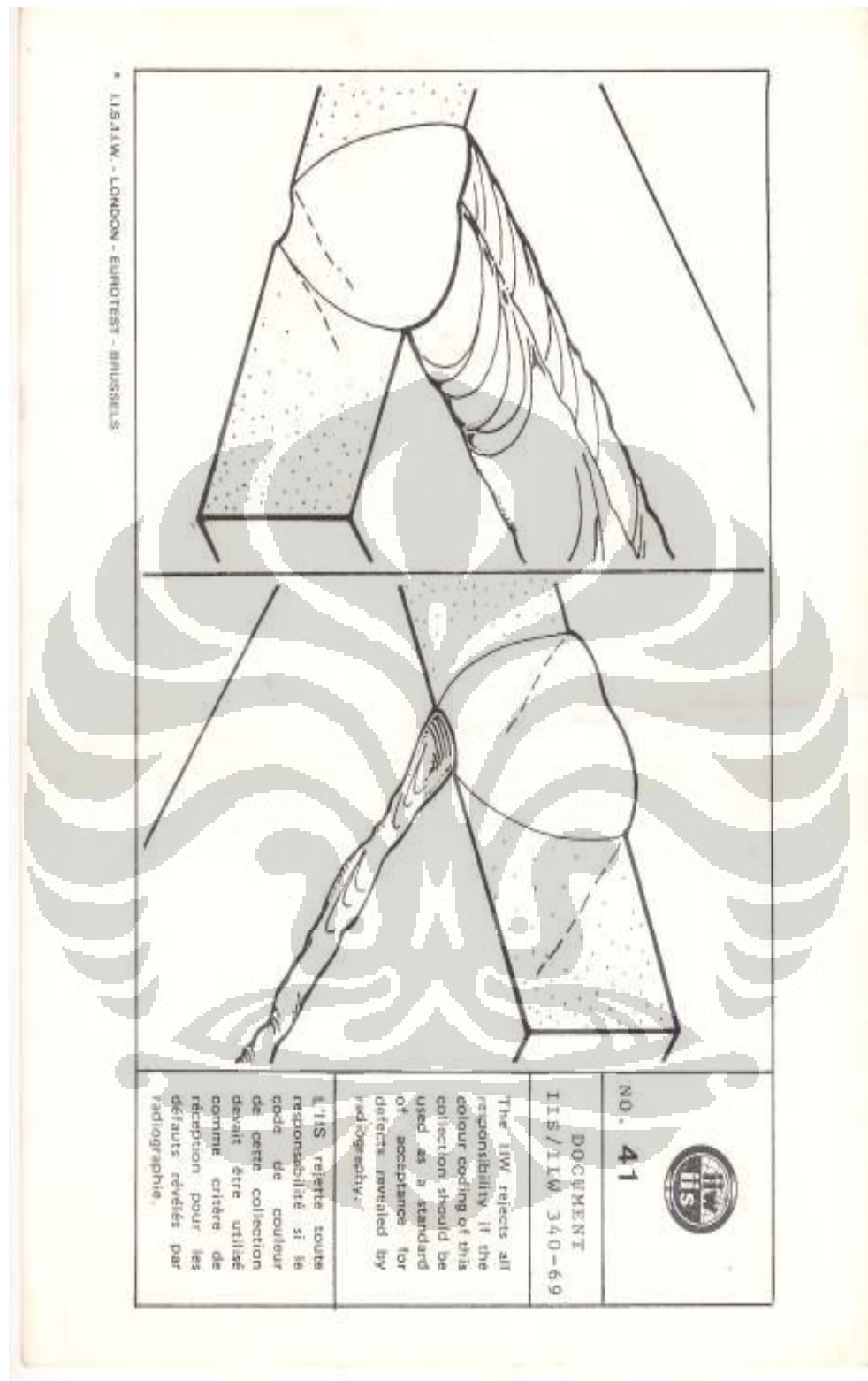
- [10] Kenneth Easterling, Introduction to the Physical Metallurgy of Welding, 2nd Edition, Butterworth Heinemann Limited (1992)
- [11] Y. Ito and K. Bessyo: A Prediction of Welding Procedure to Avoid Heat Affected Zone Cracking, IIW Doc. No. 1X-631-69
- [12] K. Satoh, S. Matsui, Y. Ito, K. Bessyo, R. Sakurai and S. Takahara, Determination of Pemanasan awal Conditions to Avoid Weld Cracking in Steel Const., IIW Doc. No. IX-730-71.
- [13] K. Satoh, S. Matsui, and K. Horikawa: JSSC Guidance Report on Determination of Safe Pemanasan awal Conditions without Weld Cracks in Steel Structures, Transactions of JWRI, Vol. 2, No. 2 (1973)
- [14] Artikel "*What The Welding Inspector Should Know About Pemanasan awal And Postweld Heat Treatment*" Diakses 20 Oktober 2011.
- [15] Halmshaw,R,1998.Introduction to the Non- Destructive testing of welded Joints,Crampton & Sons limited.Cambridge. UK
- [16]ASM Handbook Volume 9, *Metallography and Microstructures*, 2004





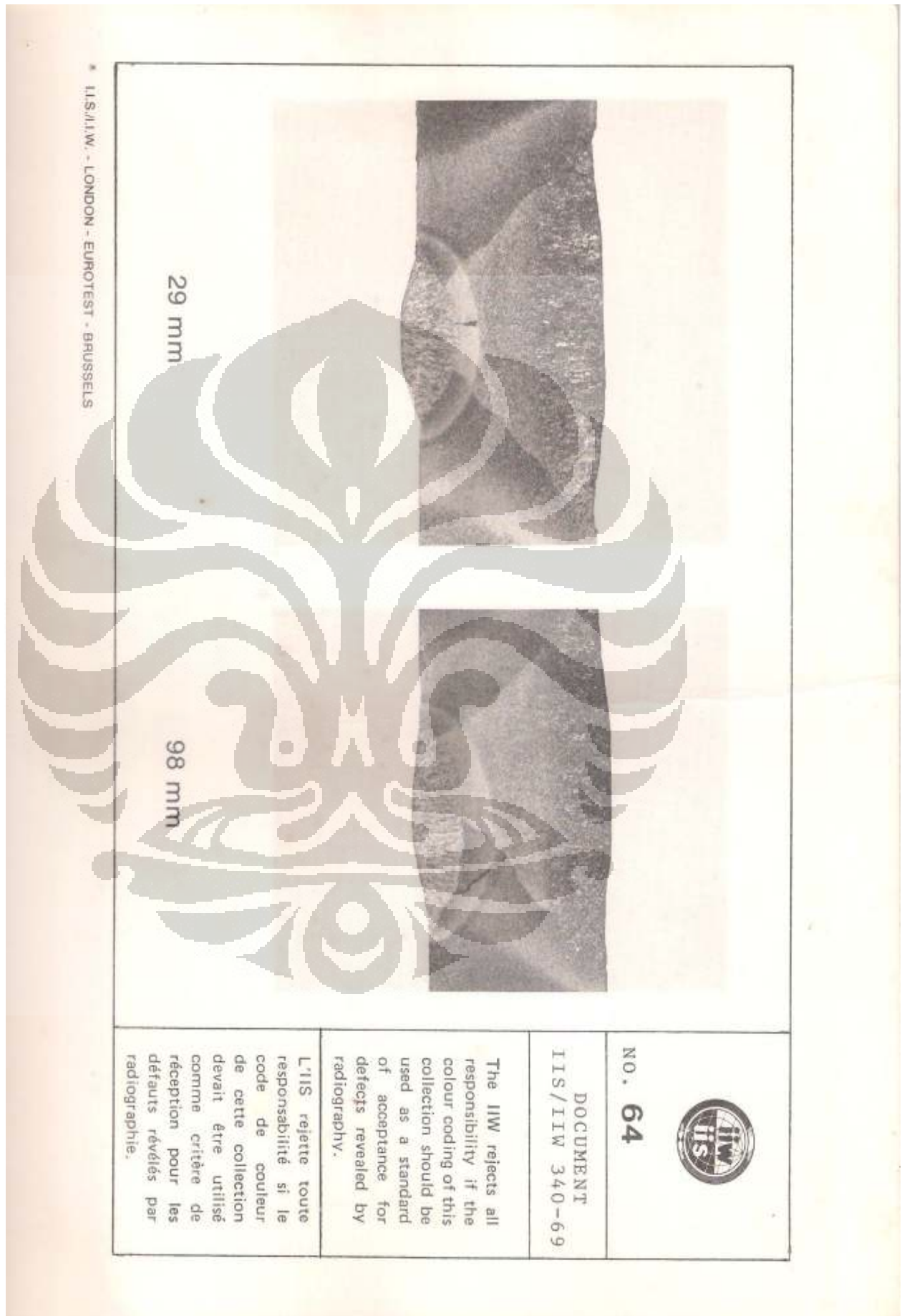
LAMPIRAN 3



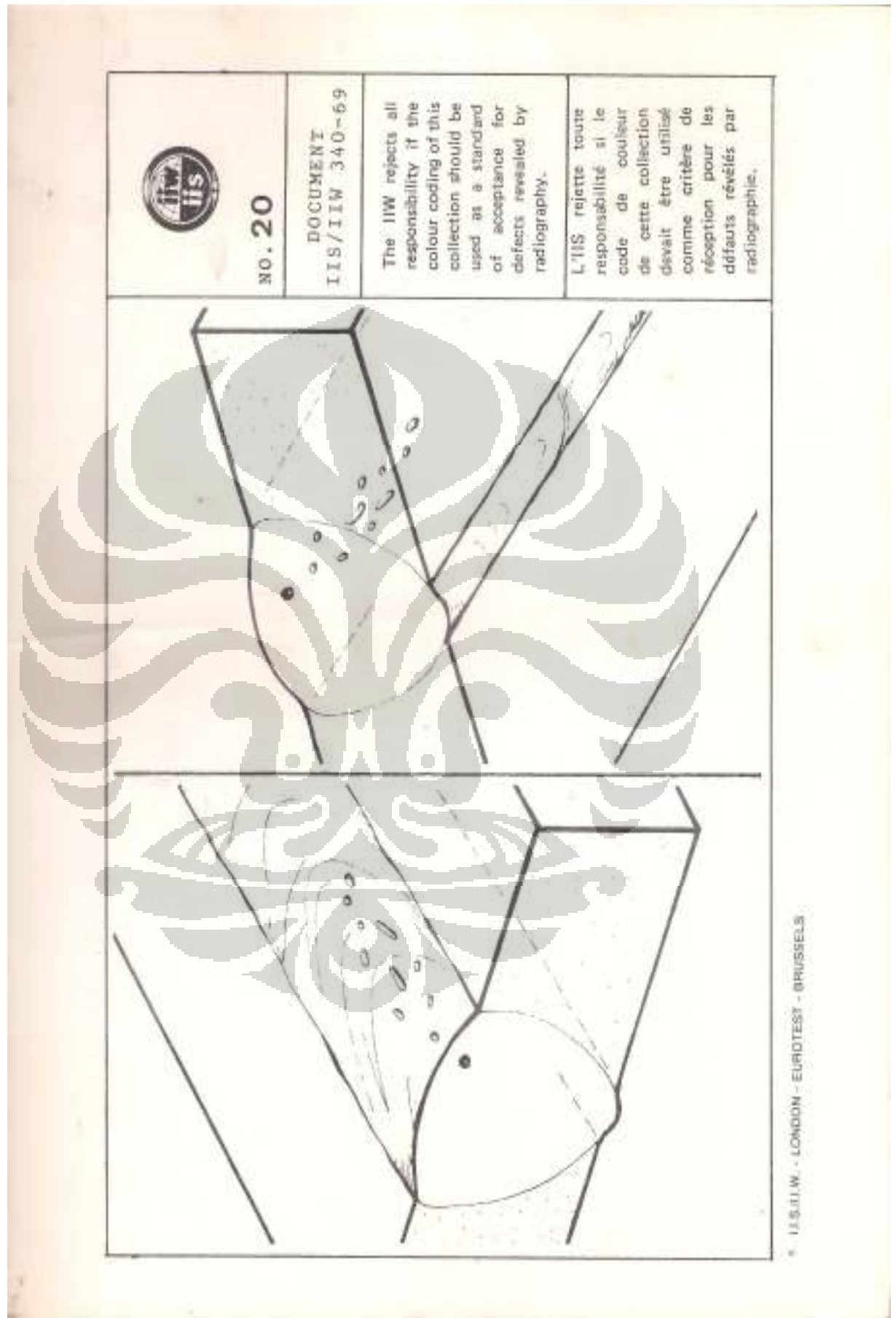


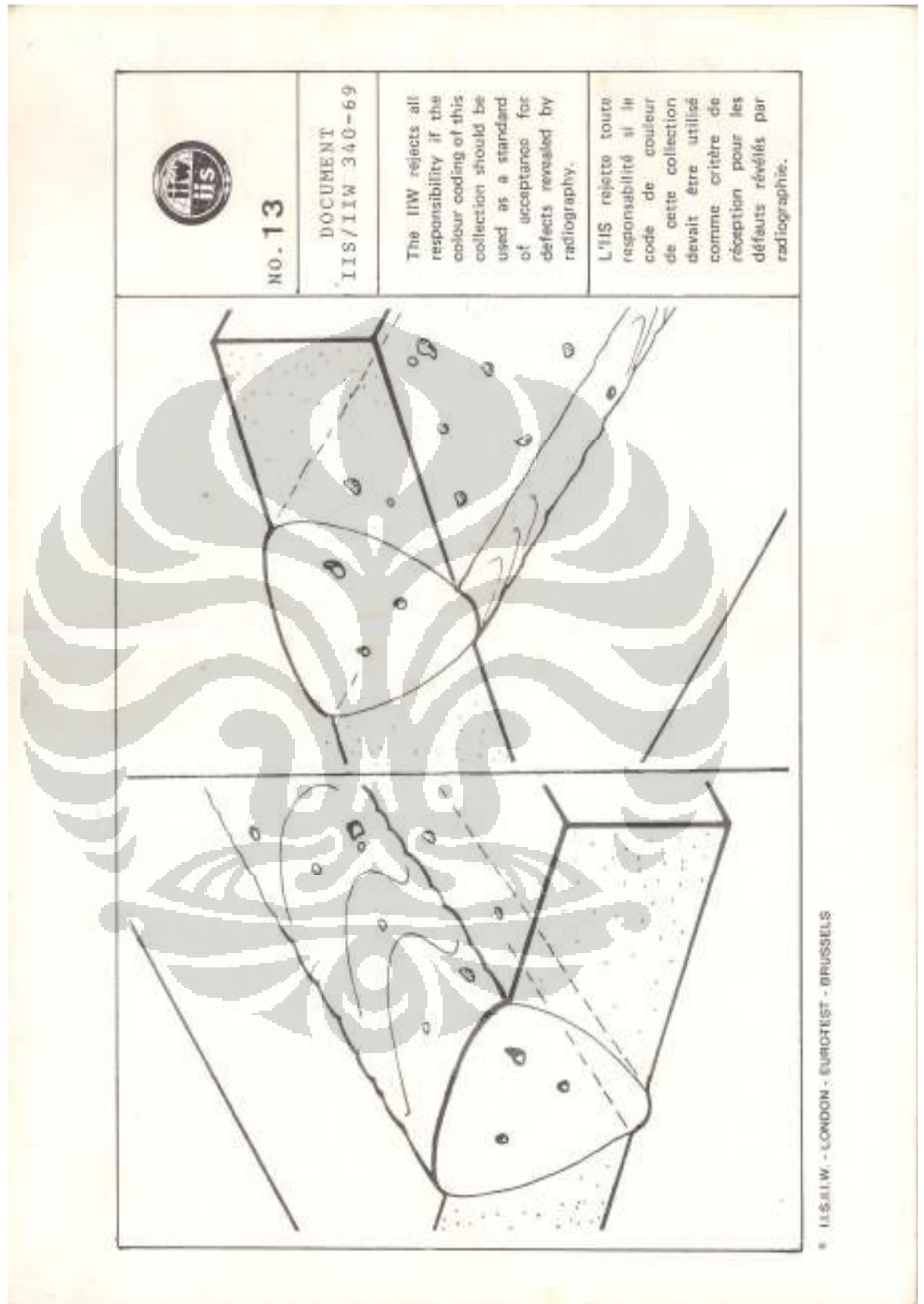


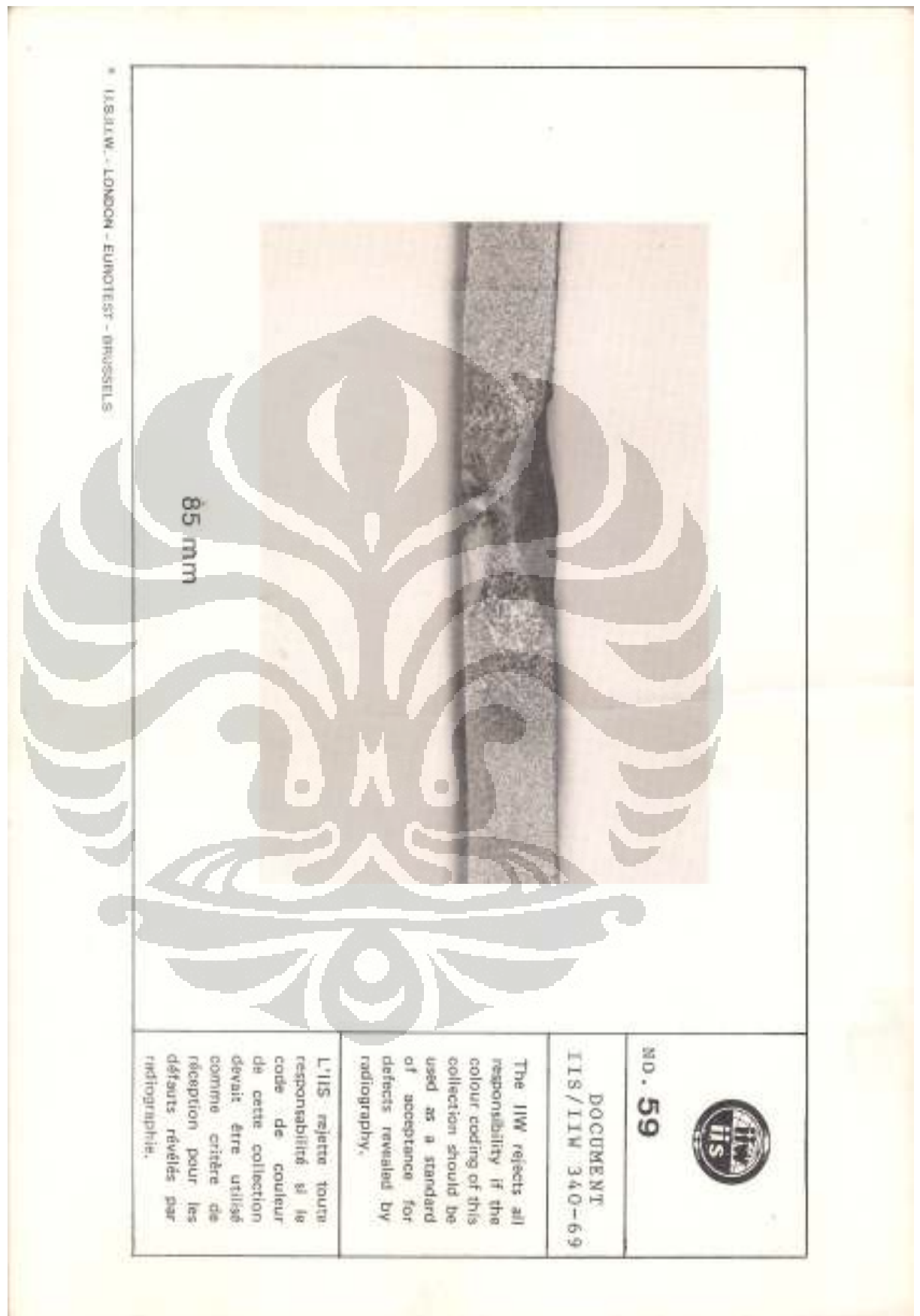




* I.I.S./I.I.W. - LONDON - EUROTEST - BRUSSELS







LAMPIRAN 4

Industeel

ArcelorMittal

Creusabro® Dual
A high performance wear resistance steel

new product

Creusabro® Dual is a new grade dedicated to severe sliding wear conditions. Thanks to its outstanding wear resistance, its use can be considered in applications where WQ 550 HB hard faced plates or white iron cast parts are traditionally implemented.

Creusabro® Dual original properties have been created using an innovative concept, based on a unique combination of chemical analysis and heat treatment procedures (oil quenching).

This confers to the steel an improved wear resistance by the contribution of:

- an homogeneous distribution of primary stannum carbides given a strong resistance in sliding conditions thanks to their high level of hardness.
- a very efficient work hardening capability in service, coming from a metallurgic effect called TRIP effect (Transformation Induced by Plasticity).

Standard
Creusabro® Dual

Chemical analysis (weight %)

C	Mn	Ni	Cr	Mo	S	Ti	W
≤ 0.40	≤ 1.30	≤ 0.45	≤ 0.70	≤ 0.20	≤ 0.002	≤ 0.60	≤ 0.40

indicative values (weight %)

Mechanical properties (typical values)

Hardness (HB)	Y.S. 0.2 MPa (KSI)	UTS MPa (KSI)	EI 5.65 %	KCVU-20° (-4°F) J (FtLbs)	E GPa
480	1200 (1174)	1630 (296)	10	168 (123)	208

indicative values (as delivered):
Hardness = 430/530 HB

Creusabro® Dual - 10.08.2009 issue - page 1

® Industeel Trademark