



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH *PREHEAT* DAN PERBEDAAN KAWAT LAS  
TERHADAP KETAHANAN RETAK DAN SIFAT MEKANIS  
BAJA TAHAN AUS CREUSABRO® 8000 DENGAN  
PENGELASAN SMAW**

**SKRIPSI**

**ANDRI SURYO CAHYONO  
0806331443**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH *PREHEAT* DAN PERBEDAAN KAWAT LAS  
TERHADAP KETAHANAN RETAK DAN SIFAT MEKANIS  
BAJA TAHAN AUS CREUSABRO® 8000 DENGAN  
PENGELASAN SMAW**

**SKRIPSI**

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

**ANDRI SURYO CAHYONO  
0806331443**

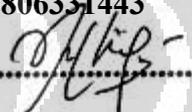
**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
JANUARI 2012**

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

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

**Nama : Andri Suryo Cahyono**

**NPM : 0806331443**

**Tanda Tangan : **

**Tanggal : 13 Januari 2012**



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Andri Suryo Cahyono

NPM : 0806331443

Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material

Judul Skripsi : Studi Pengaruh *Preheat* dan Perbedaan kawat Las Terhadap Ketahanan Retak dan Sifat Mekanis Baja Tahan Aus CREUSABRO® 8000 dengan Pengelasan SMAW

**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. Ir. Muhammad Anis, M.Met

Penguji 2 : Dr. Badrul Munir, S.T, M.Eng.Sc

Three handwritten signatures are present on the right side of the page, each enclosed in a pair of parentheses. The top signature is for Dr. Ir. Winarto M.Sc, the middle one for Dr. Ir. Muhammad Anis, M.Met, and the bottom one for Dr. Badrul Munir, S.T, M.Eng.Sc.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 13 Januari 2012

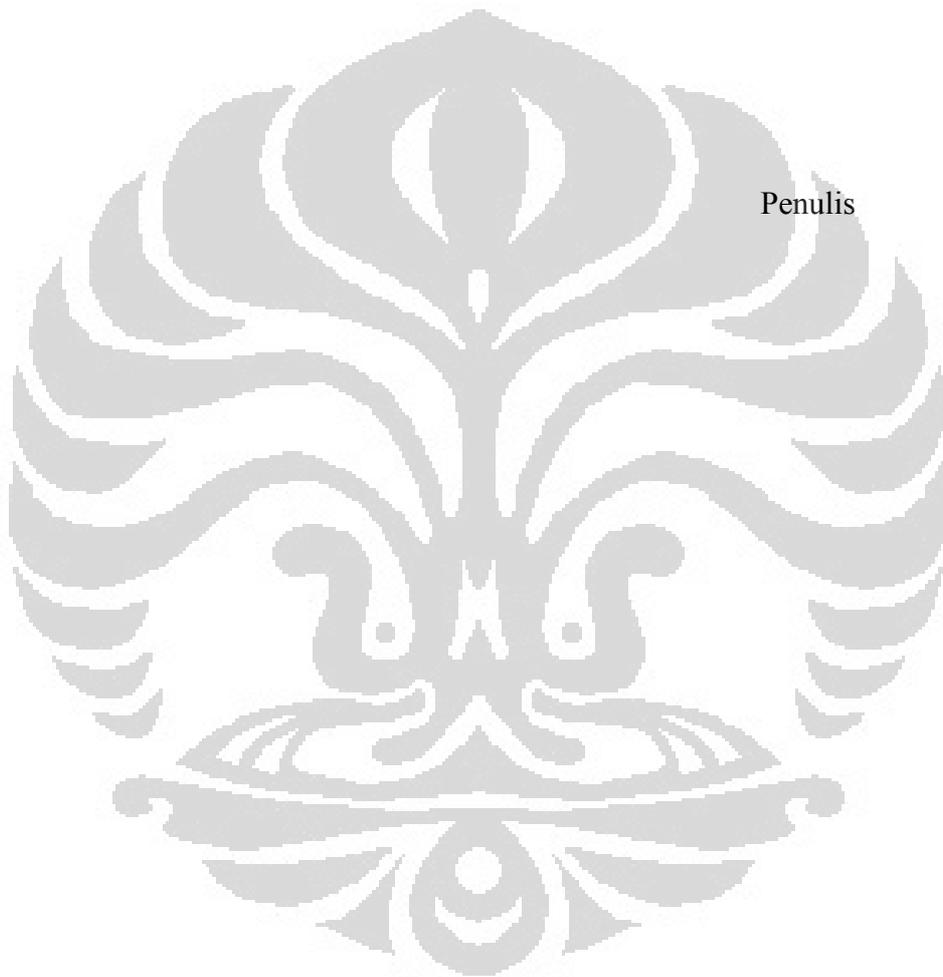
## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas ridhonya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini ditulis untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, dorongan, saran, dan bimbingan dari berbagai pihak penulis tidak akan mendapatkan kelancaran dalam menyelesaikan skripsi ini. Dengan ini, penulis ingin 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. Bapak Seto Cahyono, Ahmad Ashari, S.T, dan M. Sajalih yang telah memberikan bantuan dalam proses pengelasan dan persiapan sampel.
3. PT Tira Austenite dan PT Alpha Austenite yang telah memberikan bantuan material dalam pengerjaan skripsi ini.
4. PT Radiant Utama Interisco dan PT Astra Honda Motor yang telah membantu dalam pengujian material untuk pengerjaan skripsi ini.
5. Teman-teman Angkatan 2008, khususnya yang telah bersama-sama mengerjakan tugas akhir yang telah memberikan bantuan selama pengerjaan skripsi ini.
6. Dimas Pratama, rekan sekaligus sahabat yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Dan secara khusus kepada kedua orang tuaku 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, 13 Januari 2012



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

---

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

Nama : Andri Suryo Cahyono

NPM : 0806331443

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 :

**“Studi Pengaruh *Preheat* dan Perbedaan Kawat Las Terhadap Ketahanan Retak dan Sifat Mekanis Baja Tahan Aus CREUSABRO<sup>®</sup> 8000 dengan Pengelasan SMAW”**

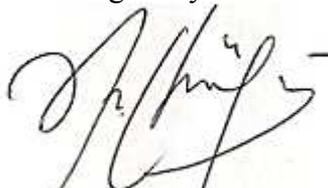
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 13 Januari 2012

Yang menyatakan



(Andri Suryo Cahyono)

## ABSTRAK

Nama : Andri Suryo Cahyono  
Program Studi : Metalurgi dan Material  
Judul : Studi Pengaruh *Preheat* dan Perbedaan Kawat Las Terhadap Ketahanan Retak dan Sifat Mekanis Baja Tahan Aus CREUSABRO® 8000 dengan Pengelasan SMAW

Retak dingin merupakan salah satu kendala yang sering terjadi pada pengelasan baja tahan aus. Skripsi ini berisi tentang penelitian pengaruh *preheat* dan perbedaan kawat las terhadap ketahanan retak dan sifat mekanis dari baja tahan aus CREUSABRO® 8000 dengan menggunakan pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Elektroda yang digunakan adalah elektroda E 7018 dan MG NOX 35. Sampel terdiri dari 6 buah plat CREUSABRO® 8000 yang dilas dengan elektroda E 7018 dan MG NOX 35. Proses *preheat* dilakukan dengan menggunakan *burner* pada hasil sambungan dengan variabel tanpa *preheat*, *preheat* 150<sup>0</sup>C, *preheat* 250<sup>0</sup>C. Berdasarkan hasil analisa data, penerapan perlakuan *preheat* pada temperatur 150<sup>0</sup>C dan 250<sup>0</sup>C tidak mengakibatkan adanya retak dingin pada hasil lasan. Selain itu, perlakuan *preheat* dan penggunaan elektroda MG NOX 35 mampu meningkatkan sifat mekanis pada hasil lasan. Perlakuan *preheat* dan pemilihan elektroda memberikan pengaruh signifikan terhadap terjadinya retak dingin dan sifat mekanis serta dapat dijadikan salah satu metode pengendalian retak dingin pada pengelasan baja tahan aus CREUSABRO® 8000.

Kata kunci : Retak dingin, *preheat*, kawat las, sifat mekanis, SMAW

## ABSTRACT

Nama : Andri Suryo Cahyono  
Program Studi : Metalurgi dan Material  
Judul : Effect of Preheating and Different Filler Wire on the Crack Resistance and Mechanical Properties of Wear Resistance Steel - Creusabro<sup>®</sup> 8000 Welded by SMAW Process

Cold cracking is the one of problem on wear resistance plate welding. On this project consist of reseach on influence preheating treatment and welding electrode in crack resistance and mechanical properties of CREUSABRO<sup>®</sup> 8000 wear resistance steel with SMAW process. Welding electrodes that be used are E 7018 and MG NOX 35. All of sample consisted of 6 CREUSABRO<sup>®</sup> 8000 wear resistance steel plates that be joined with E 7018 and MG NOX 35 electrode. The process of preheat is done by using burner with 3 joining for each variable consisting of without preheat, preheat 150<sup>0</sup>C, dan preheat 250<sup>0</sup>C and. Based on the results of data analysis, cold cracking is not consist to the application of preheat at 150<sup>0</sup>C and 250<sup>0</sup>C. Application of preheat and MG NOX 35 electrode also can improve mechanical properties of weld area. Application preheating and selection of welding electrode provides a significant influence on cold cracking and mechanical properties as well as can be used as a method of controlling cold cracking in welding of CREUSABRO<sup>®</sup> 8000 wear resistance steel.

Keywords : Cold cracking, preheat, welding electrodes, mechanical properties, SMAW

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS</b> .....	vi
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian .....	3
1.4 Batasan Penelitian .....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2 DASAR TEORI</b> .....	5
2.1 Baja tahan aus Creusabro <sup>®</sup> 8000 .....	5
2.2 Pengelasan Manual (SMAW) .....	6
2.3 Tegangan Sisa .....	8
2.3.1 Faktor yang Mempengaruhi Tegangan Sisa .....	10
2.3.2 Distribusi Tegangan Sisa pada Proses Pengelasan .....	11
2.3.3 Pengendalian Tegangan Sisa .....	12
2.3.4 Pengukuran Tegangan Sisa .....	12
2.4 <i>Preheat</i> .....	13
2.5 Retak Dingin ( <i>Cold Cracking</i> ) .....	17
2.6 Metalugi Las .....	19

2.6.1 Diagram Fasa dan Diagram CCT.....	19
2.6.2 Struktur Mikro .....	21
2.6.3 Daerah Terpengaruh Panas .....	21
2.6.4 Reaksi Pembekuan.....	22
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>	<b>24</b>
3.1 Diagram Penelitian .....	24
3.2 Alat dan Bahan .....	25
3.2.1 Alat.....	25
3.2.2 Bahan .....	25
3.3 Persiapan Sampel Las.....	26
3.3.1 Pembuatan Bevel .....	26
3.3.2 <i>Preheating</i> .....	26
3.4 Pengelasan .....	26
3.5 Pengujian Sampel .....	27
3.5.1 Persiapan Sampel Pengujian .....	27
3.5.2 Pengujian Radiografi .....	27
3.5.3 Uji Mekanis.....	28
3.5.4 Pengamatan Mikro .....	29
<b>BAB 4 DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>31</b>
4.1 Data dan Analisa Ketahanan Retak .....	31
4.1.1 Sampel Tanpa Perlakuan <i>Preheat</i> .....	32
4.1.2 Sampel Perlakuan <i>Preheat</i> 150 <sup>0</sup> C.....	34
4.1.3 Sampel Perlakuan <i>Preheat</i> 250 <sup>0</sup> C.....	35
4.2 Data dan Analisa Distribusi Nilai Kekerasan.....	37
4.2.1 Sampel Elektroda E 7018.....	38
4.2.2 Sampel Elektroda MG NOX 35 .....	39
4.2.3 Perbedaan Elektroda .....	41
4.3 Data dan Analisa Kekuatan Tekuk.....	44
4.3.1 Sampel Elektroda E 7018.....	45
4.3.1 Sampel Elektroda MG NOX 35 .....	46
4.2.3 Perbedaan Elektroda .....	47

4.4	Data dan Analisa Mikrostruktur .....	49
4.4.1	Logam Dasar Sampel Elektroda E 7018.....	50
4.4.2	HAZ Sampel Elektroda E 7018 .....	52
4.4.3	Kampuh Las Sampel Elektroda E 7018 .....	54
4.4.4	Logam Dasar Sampel Elektroda MG NOX 35 .....	56
4.4.5	HAZ Sampel Elektroda MG NOX 35.....	58
4.4.6	Kampuh Las Sampel Elektroda MG NOX 35 .....	60
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN</b> .....	<b>62</b>
5.1	Kesimpulan.....	62
<b>DAFTAR REFERENSI</b>	.....	<b>64</b>
<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>66</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pengelasan Manual (SMAW).....	6
Gambar 2. 2 <i>Electrode Holder</i> .....	7
Gambar 2. 3 Perbandingan Laju Deposisi SMAW dan Metode Las Lain.....	8
Gambar 2. 4 Skema Mekanisme Terbentuknya Tegangan Sisa.....	9
Gambar 2. 5 Grafik Hubungan Panjang Pengelasan dan Tegangan Sisa.....	10
Gambar 2. 6 Distribusi Tegangan Thermal.....	11
Gambar 2. 7 Grafik Hubungan <i>Preheat</i> terhadap <i>Critical Stress</i> dari HIC .....	15
Gambar 2. 8 Grafik Hubungan Temperatur <i>Preheat</i> dan <i>Carbon Equivalent</i> .....	15
Gambar 2. 9 Skema Pemanasan Awal .....	16
Gambar 2. 10 Diagram Pohon Retak Dingin .....	18
Gambar 2. 11 Grafik Penurunan T vs Koefisien Sensitifitas Retak.....	19
Gambar 2. 12 Hubungan Daerah Las dengan Diagram Fe-Fe <sub>3</sub> C.....	20
Gambar 2. 13 Perbandingan Pengelasan dan <i>Heat Treating</i> .....	20
Gambar 2. 14 Mikro Struktur dari <i>As-cast Carbon Steel</i> .....	21
Gambar 2. 15 Konsep Pertumbuhan Kristal Epitaksial .....	22
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	24
Gambar 3. 2 Bentuk Sambungan (a) Sebelum; (b) Pengelasan .....	26
Gambar 3. 3 Pengujian Radiografi.....	28
Gambar 3. 4 Penampang Indentor Uji Microhardness.....	29
Gambar 3. 5 Lokasi Pengambilan Foto Mikro dan Uji Kekerasan .....	30
Gambar 4. 1 Radiografi Sampel Elektroda E 7018; Tanpa <i>Preheat</i> .....	32
Gambar 4. 2 Radiografi Sampel Elektroda MG NOX 35; Tanpa <i>Preheat</i> .....	32
Gambar 4. 3 Radiografi Sampel Elektroda E 7018; <i>Preheat</i> 150 <sup>0</sup> C.....	34
Gambar 4. 4 Radiografi Sampel Elektroda MG NOX 35; <i>Preheat</i> 150 <sup>0</sup> C .....	35
Gambar 4. 5 Radiografi Sampel Elektroda E 7018; <i>Preheat</i> 250 <sup>0</sup> C.....	36
Gambar 4. 6 Radiografi Sampel Elektroda MG NOX 35; <i>Preheat</i> 250 <sup>0</sup> C .....	36
Gambar 4. 7 Skematis Daerah Penjejukan .....	38
Gambar 4. 8 Nilai Kekerasan Sampel Elektroda E 7018 .....	38

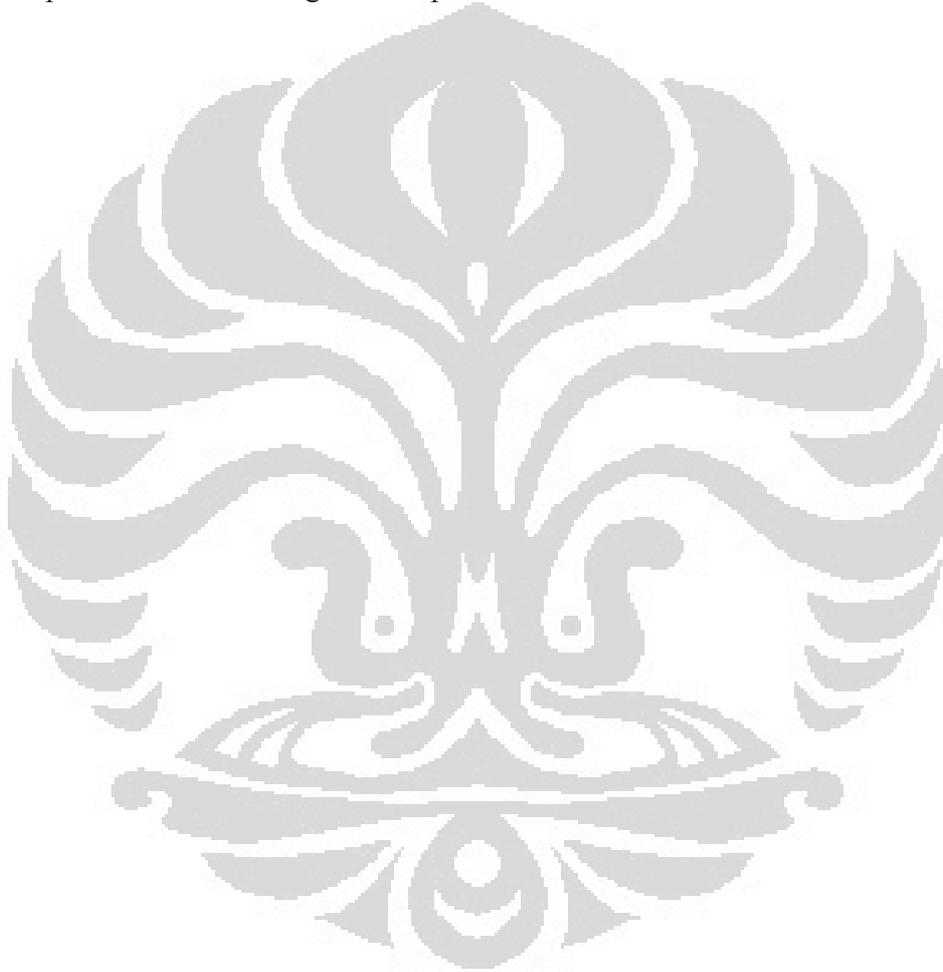
Gambar 4. 9 Nilai Kekerasan Elektroda MG NOX 35 .....	39
Gambar 4. 10 Kekerasan Sampel Tanpa <i>Preheat</i> .....	41
Gambar 4. 11 Kekerasan Sampel <i>Preheat</i> 150 <sup>0</sup> C .....	42
Gambar 4. 12 Kekerasan Sampel <i>Preheat</i> 250 <sup>0</sup> C .....	42
Gambar 4. 13 Kurva Tegangan-Regangan Sampel Elektroda E 7018.....	45
Gambar 4. 14 Kurva Tegangan-Regangan Sampel Elektroda MG NOX 35 .....	46
Gambar 4. 15 Kurva Tegangan-Regangan Sampel Tanpa <i>Preheat</i> .....	47
Gambar 4. 16 Kurva Tegangan-Regangan Sampel <i>Preheat</i> 150 <sup>0</sup> C .....	47
Gambar 4. 17 Kurva Tegangan-Regangan Sampel <i>Preheat</i> 250 <sup>0</sup> C .....	48
Gambar 4. 18 Mikrostruktur Logam Dasar Sampel Tanpa <i>Preheat</i> ;E 7018.....	50
Gambar 4. 19 Mikrostruktur Logam Dasar Sampel <i>Preheat</i> 150 <sup>0</sup> C; E 7018 .....	50
Gambar 4. 20 Mikrostruktur Logam Dasar Sampel <i>Preheat</i> 250 <sup>0</sup> C;E 7018 .....	51
Gambar 4. 21 Mikrostruktur HAZ Sampel Tanpa <i>Preheat</i> ;E 7018.....	52
Gambar 4. 22 Mikrostruktur HAZ Sampel <i>Preheat</i> 150 <sup>0</sup> C; E 7018.....	52
Gambar 4. 23 Mikrostruktur HAZ Sampel <i>Preheat</i> 250 <sup>0</sup> C; E 7018.....	53
Gambar 4. 24 Mikrostruktur Kampuh Las Sampel Tanpa <i>Preheat</i> ; E 7018.....	54
Gambar 4. 25 Mikrostruktur Kampuh Las Sampel <i>Preheat</i> 150 <sup>0</sup> C; E 7018.....	54
Gambar 4. 26 Mikrostruktur Kampuh Las Sampel <i>Preheat</i> 250 <sup>0</sup> C; E 7018.....	55
Gambar 4. 27 Mikrostruktur Logam Dasar Tanpa <i>Preheat</i> ; MG NOX 35.....	56
Gambar 4. 28 Mikrostruktur Logam Dasar <i>Preheat</i> 150 <sup>0</sup> C; MG NOX 35 .....	56
Gambar 4. 29 Mikrostruktur Logam Dasar <i>Preheat</i> 250 <sup>0</sup> C; MG NOX 35 .....	57
Gambar 4. 30 Mikrostruktur HAZ Sampel Tanpa <i>Preheat</i> ; MG NOX 35 .....	58
Gambar 4. 31 Mikrostruktur HAZ Sampel <i>Preheat</i> 150 <sup>0</sup> C; MG NOX 35 .....	58
Gambar 4. 32 Mikrostruktur HAZ Sampel <i>Preheat</i> 250 <sup>0</sup> C; MG NOX 35 .....	59
Gambar 4. 33 Mikrostruktur Kampuh Las Tanpa <i>Preheat</i> ; MG NOX 35 .....	60
Gambar 4. 34 Mikrostruktur Kampuh Las <i>Preheat</i> 150 <sup>0</sup> C; MG NOX 35 .....	60
Gambar 4. 35 Mikrostruktur Kampuh Las <i>Preheat</i> 250 <sup>0</sup> C; MG NOX 35 .....	61

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Komposisi Kimia Creusabro <sup>®</sup> 8000.....	3
Tabel 1. 2 Sifat Mekanis Creusabro <sup>®</sup> 8000.....	3
Tabel 1. 3 Komposisi Kimia E 7018.....	3
Tabel 1. 4 Komposisi Kimia MG NOX 35 .....	3
Tabel 2. 1 Komposisi Baja Tahan Aus Jenis Creusabro <sup>®</sup> 8000 .....	5
Tabel 2. 2 Sifat Mekanis Baja Tahan Aus Jenis Creusabro <sup>®</sup> 8000 .....	5
Tabel 3. 1 Ukuran Pelat Las Creusabro <sup>®</sup> 8000 .....	25
Tabel 3. 2 Ukuran Sampel Pengujian.....	27
Tabel 4. 1 Cacat Pengelasan Sampel Tanpa <i>Preheat</i> .....	31
Tabel 4. 2 Cacat Pengelasan Sampel <i>Preheat</i> 150 <sup>0</sup> C.....	31
Tabel 4. 3 Cacat Pengelasan Sampel <i>Preheat</i> 250 <sup>0</sup> C.....	31
Tabel 4. 4 Distribusi Kekerasan Sampel Elektroda E 7018.....	37
Tabel 4. 5 Distribusi Kekerasan Sampel Elektroda MG NOX 35 .....	37
Tabel 4. 6 Kekuatan Tekuk Sampel Elektroda E 7018.....	44
Tabel 4. 7 Kekuatan Tekuk Sampel Elektroda MG NOX 35 .....	44

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Welding Procedure Spesification</i> .....	66
Lampiran 2. Hasil Pengujian Tekuk.....	67
Lampiran 3. Grafik Pengujian Tekuk Sampel MG NOX 35 .....	68
Lampiran 4. Grafik Pengujian Tekuk Sampel E 7018 .....	69
Lampiran 5. Hasil Radiografi Sampel MG NOX 35 dan E 7018 .....	70



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Pada era ini, teknologi merupakan salah satu bidang yang mengalami perkembangan yang sangat pesat. Berbagai bidang keilmuan saling bersaing untuk memberikan karya – karya yang dapat dimanfaatkan untuk kehidupan manusia saat ini dan di masa yang akan datang. Salah satu bidang keilmuan yang terus berkembang adalah ilmu material. Tidak dapat dipungkiri bahwa ilmu material merupakan salah satu bidang keilmuan yang memberikan pengaruh besar terhadap perkembangan industri terutama di Indonesia yang merupakan negara berkembang.

Keberadaan sumber daya alam yang melimpah seperti sumber daya alam mineral yang tersebar secara menyeluruh di wilayah Indonesia sebenarnya dapat mendorong negara ini untuk menjadi negara yang semakin maju. Saat ini, dibutuhkan suatu inovasi dalam bidang teknologi untuk dapat mengoptimalkan pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya alam di Indonesia. Keberadaan peralatan – peralatan tambang dapat membantu proses optimalisasi dalam eksplorasi tambang di Indonesia. Peralatan – peralatan eksplorasi yang digunakan pada industri pertambangan memiliki kualifikasi khusus dimana merupakan peralatan – peralatan dengan kemampuan yang tinggi. Material baja tahan aus merupakan salah satu material yang banyak digunakan pada peralatan – peralatan eksplorasi tambang.

Baja tahan aus masuk dalam kategori baja paduan rendah dengan kekuatan tinggi (*High Strength Low Alloy Steel*). Karakteristik dari baja tahan aus ini adalah kombinasi sifat yang baik antara tingkat kekuatan, kekerasan dan ketangguhan yang tinggi. Kombinasi dari sifat ini yang menjadikan material ini digunakan dalam peralatan - peralatan eksplorasi tambang. Jenis baja tahan aus yang banyak digunakan antara lain *quenched and tempered steel*, *high chromium-white iron*, baja mangan (*manganese steel*), dll. Penelitian banyak dilakukan dalam rangka

meningkatkan kemampuan material baja ini agar dapat dipergunakan secara maksimal. Teknologi yang mulai berkembang dalam peningkatan kemampuan material baja ini adalah TRIP (*Transformation Induced by Plasticity*). Teknologi ini didasarkan pada perubahan tingkat kekerasan yang dipicu oleh deformasi plastis yang terjadi pada material baja tahan aus. Tingkat kekerasan baja tahan aus dapat meningkat secara signifikan ketika mulai dipergunakan di lapangan.

Dari data workshop PHK-I C FTI-ITB 25 Juli 2011 tentang “Teknologi & Penggunaan Material Tahan Aus”, diperoleh data total penggunaan baja tersebut mencapai 40% dari total kebutuhan baja di industri tersebut dan hampir seluruh proses manufakturnya adalah pengelasan.

Penggunaan material baja tahan aus ini bukan tanpa masalah. Pada proses pengelasan, baja ini sangat rentan terhadap retak dingin (*cold cracking*) yang terjadi pada daerah lasan (HAZ). Banyak produsen baja saat ini mencoba mengembangkan material baja berkekuatan tinggi namun memiliki daya tahan tinggi terhadap retak di HAZ. Namun permasalahan terjadinya retak dingin telah menjadi kendala utama dalam aplikasi baja kekuatan tinggi di lapangan (field).

Adanya permasalahan ini tentu sangat mempengaruhi penggunaan baja ini pada suatu aplikasi seperti peralatan eksplorasi tambang dimana membutuhkan adanya pengelasan dalam fabrikasinya. Hampir semua orang yang telah berpengalaman dalam produksi konstruksi baja tahan aus sangat mengerti tentang fenomena terjadinya retak las (*cold crack*) namun mengalami kesulitan dalam melakukan antisipasi.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui pengaruh perlakuan *preheat* dan perbedaan kawat las terhadap ketahanan retak pada pelat baja tahan aus CREUSABRO<sup>®</sup> 8000.
2. Mengetahui hubungan perlakuan *preheat* dan perbedaan kawat las terhadap sifat mekanis dari baja tahan aus CREUSABRO<sup>®</sup> 8000.

### 1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Jenis material yang digunakan dalam penelitian ini adalah material pelat baja tahan aus jenis CREUSABRO<sup>®</sup> 8000. Adapun komposisi kimia dari CREUSABRO<sup>®</sup> 8000 dapat dilihat pada **Tabel 1.1**.

**Tabel 1. 1** Komposisi Kimia CREUSABRO<sup>®</sup> 8000

C	Mn	Ni	Cr	Mo	S
≤ 0,28	≤ 1,60	≈ 0,40	≤ 1,60	≥ 0,20	≤ 0,002

Sifat mekanik dari CREUSABRO<sup>®</sup> 8000 dapat dilihat pada **Tabel 1.2**.

**Tabel 1. 2** Sifat Mekanis CREUSABRO<sup>®</sup> 8000

<i>Hardness</i> (HB)	<i>Yield</i> <i>Strength</i> (MPa)	UTS (MPa)	EL (%)	KCVL-20 <sup>0</sup> C (J/Cm <sup>2</sup> )	E (GPa)
470	1250	1630	12	55	205

1. Kawat las yang digunakan :  
Proses SMAW : E-7018 dan MG NOX 35

**Tabel 1. 3** Komposisi Kimia E 7018

C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	V
0,12	0,2	0,3	0,3	1,6	0,75	0,04	0,03	0,08

**Tabel 1. 4** Komposisi Kimia MG NOX 35

C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Cu
0,14	18	8	1,5	4,75	1,00	0,04	0,03	0,75

2. Parameter las yang digunakan sesuai dengan WPS yang telah dibuat.
3. Pemeriksaan - pemeriksaan yang dilakukan :
  - a. Visual dan X-Ray Radiografi Test (RT)

- b. Mikrostruktur daerah las
- c. Kekerasan
- d. Kekuatan tekuk

#### 1.4 Batasan Penelitian

Batasan dari penelitian ini antara lain:

- Material yang digunakan adalah material aktual yang digunakan sebagai barang produksi dari perusahaan manufaktur.
- Penelitian fokus terhadap *preheating* dan sifat mekanis dari material.
- Proses *preheat* yang dilakukan adalah dengan menggunakan *burner*.
- Sistem pengelasan yang dilakukan disesuaikan dengan sistem yang sudah ada.

#### 1.5 Sistematika Penulisan

Bab 1 berisi latar belakang, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, batasan penelitian dan metode penulisan. Bab 2 menjelaskan dasar teori mengenai tegangan sisa, retak dingin dan *preheating*. Bab 3 menjelaskan tentang metode penelitian mencakup proses preparasi sampel dari material yang diujikan hingga didapatkan kesimpulan dari penelitian. Bab 4 berisi tentang data pengujian dan analisa berdasarkan hasil pengujian. Bab 5 berisi mengenai kesimpulan dari penelitian. Referensi dan lampiran dimuat pada halaman-halaman terakhir dalam laporan penelitian ini.

## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 2.1 Baja Tahan Aus CREUSABRO<sup>®</sup> 8000

Baja tahan aus CREUSABRO<sup>®</sup> 8000 merupakan jenis baja tahan aus dimana masuk dalam kategori baja paduan rendah dengan kekuatan tinggi (*High Strength Low Alloy Steel*). Baja CREUSABRO<sup>®</sup> 8000 ini banyak digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan ketangguhan dan ketahanan aus yang tinggi seperti pada kendaraan tambang, kendaraan militer, dan industri semen.

Komposisi kimia dari baja tahan aus CREUSABRO<sup>®</sup> 8000 ditunjukkan pada **Tabel 2.1**.

**Tabel 2. 1** Komposisi Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO<sup>®</sup> 8000

C	Mn	Ni	Cr	Mo	S
≤ 0,28	≤ 1,60	≈ 0,40	≤ 1,60	≥ 0,20	≤ 0,002

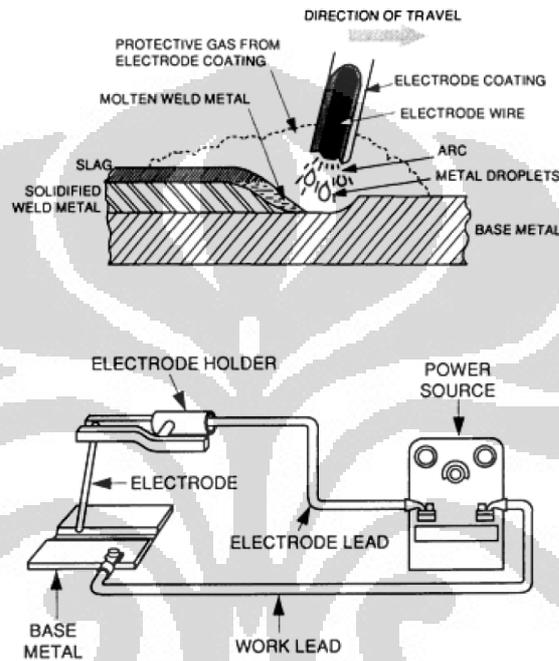
Sifat mekanis dari baja tahan aus CREUSABRO<sup>®</sup> 8000 ditunjukkan pada **Tabel 2.2**.

**Tabel 2. 2** Sifat Mekanis Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO<sup>®</sup> 8000

<i>Hardness</i> (HB)	<i>Yield Strength</i> (MPa)	UTS (MPa)	EL (%)	KCVL-20 <sup>0</sup> C (J/Cm <sup>2</sup> )	E (GPa)
470	1250	1630	12	55	205

## 2.2 Pengelasan Manual (SMAW)

Pengelasan manual (SMAW) pada umumnya disebut dengan *stick welding* atau *covered electrode welding*. SMAW merupakan metode pengelasan manual dimana menggunakan busur yang tercipta antara elektroda dan logam yang dilas [1].

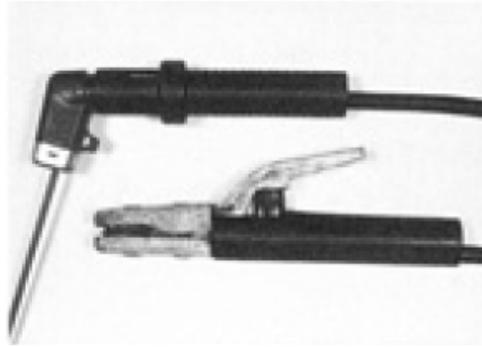


**Gambar 2. 1** Pengelasan Manual (SMAW)[1]

Peralatan yang digunakan pada pengelasan SMA in antara lain:

1. Mesin las
2. *Electrode holder*

*Electrode holder* digunakan sebagai pemegang elektroda yang digunakan dalam pengelasan. Peralatan ini terdiri dari banyak desain misalnya *pincher*, *collet* dan *twist*. Macam-macam desain *electrode holder* ditunjukkan pada gambar 2.2. [1]



**Gambar 2. 2** *Electrode Holder* [1]

### 3. Elektroda

Elektroda yang digunakan pada pengelasan manual (SMAW) merupakan elektroda terkonsumsi yang dilapisi flux. Fungsi dari flux antara lain [1]:

- *Gas pelindung*

Gas pelindung yang terbentuk adalah karbon dioksida. Gas pelindung ini terbentuk dari dekomposisi dari elemen yang terkandung pada *coating flux*. Gas pelindung ini berfungsi untuk memproteksi busur dan daerah pengelasan dari atmosfer.

- *Deoxidizers*

*Deoxidizers* berfungsi mengikat oksigen dan memurnikan logam las yang terdeposit.

- *Slag former*

*Slag former* berfungsi untuk memproteksi logam sambungan dari atmosfer dan membantu untuk membentuk manik las.

- *Ionizing element*

*Ionizing element* berfungsi untuk membuat busur menjadi lebih stabil.

- *Alloying element*

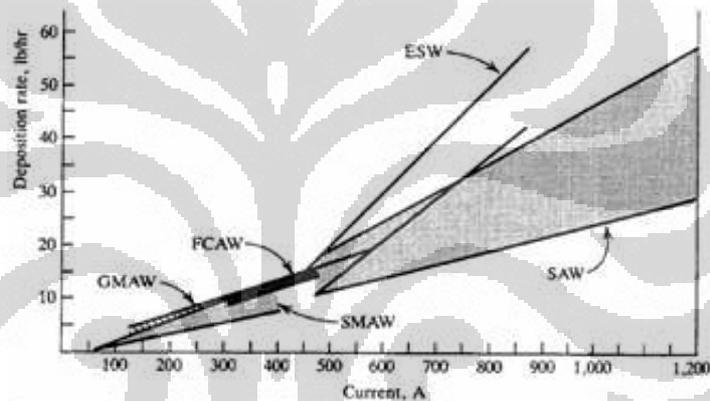
*Alloying element* berfungsi untuk memberikan karakteristik tertentu pada logam las.

Keuntungan dari proses pengelasan manual (SMAW) antara lain:

- Peralatan sederhana, murah, dan portable
- Prosesnya dapat digunakan untuk berbagai posisi las

Keterbatasan dari proses pengelasan manual (SMAW) antara lain :

- Kecepatan depositnya rendah karena keterbatasan panjang kawat las dan adanya terak (*slag*). Perbandingan kecepatan deposisi dari pengelasan manual (SMAW) dibandingkan metode pengelasan yang lain ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



**Gambar 2.3** Perbandingan Laju Deposisi SMAW dan Metode Las Lain [1]

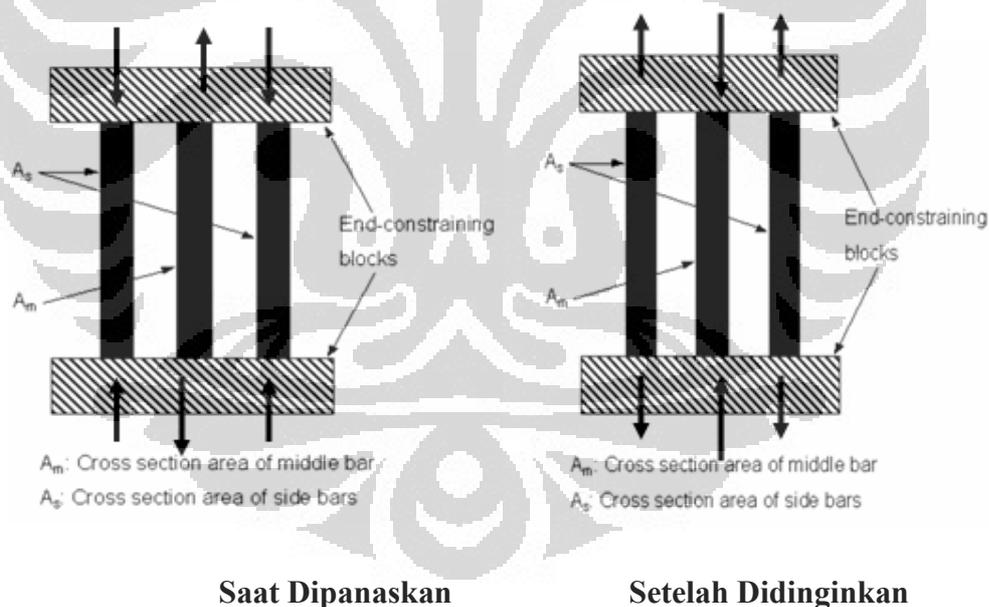
- Lasan kurang terproteksi dari atmosfer secara baik
- Lasan sering terjadi inklusi/pengotor dibandingkan proses pengelasan lainnya.

### 2.3 Tegangan Sisa (*Residual Stress*)

Tegangan sisa biasa juga disebut sebagai tegangan dalam (*internal stress*). 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 perubahan bentuk seperti: *rolling, forging* dan pengelasan.

Untuk memahami terbentuknya tegangan sisa dari suatu sambungan las, maka dapat digambarkan seperti terlihat pada **Gambar 2.4** Batang  $A_m$  diasumsikan sebagai daerah las, sedangkan batang  $A_s$  diasumsikan sebagai daerah sekitar pengelasan yang tidak mengalami pengaruh panas. Pada saat proses pengelasan berlangsung, terjadi perilaku yang berbeda pada batang  $A_m$  dan  $A_s$  dimana batang  $A_m$  mengalami tegangan tekan akibat pemuaian yang tertahan oleh batang  $A_s$ . Sedangkan untuk batang  $A_s$  mengalami tegangan tarik. Ketika terjadi proses pendinginan batang  $A_m$  yang mulanya mengalami tegangan tekan akan berubah menjadi tegangan tarik. Hal ini terjadi dimana batang  $A_m$  mengalami proses penyusutan akibat terjadinya penurunan temperatur dan proses penyusutan tersebut tertahan oleh batang  $A_s$ . Dari proses inilah terjadi tegangan sisa pada proses pengelasan. [2]



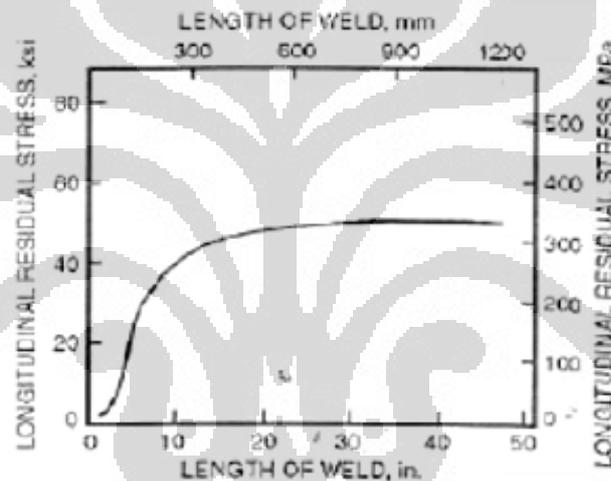
**Gambar 2. 4** Skema Mekanisme Terbentuknya Tegangan Sisa [2]

### 2.3.1 Faktor yang Mempengaruhi Tegangan Sisa

Beberapa faktor yang mempengaruhi besar tegangan sisa dalam sambungan las antara lain :

- a. Ukuran material yang dilas
- b. Urutan pengelasan (*Welding Sequence*)
- c. Bentuk Sambungan (*Joint Design*)

Untuk ukuran material yang paling berpengaruh dalam panjang las. Hubungan antara panjang pengelasan dengan besarnya tegangan sisa yang terjadi dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.

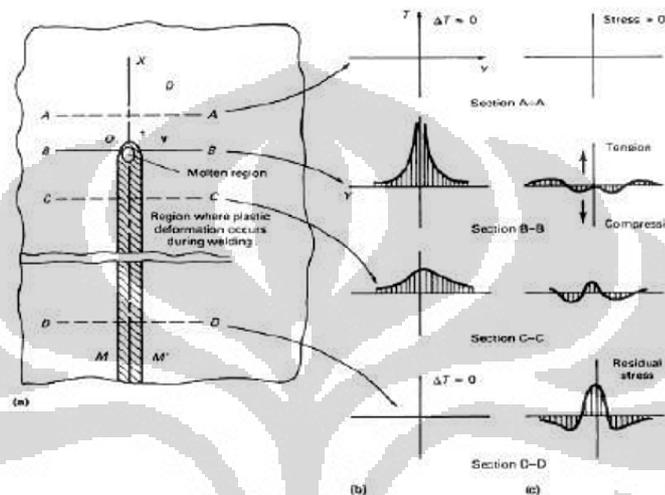


**Gambar 2.5** Grafik Hubungan Panjang Pengelasan dan Besar Tegangan Sisa[2]

Selain dimensi dari material yang dilas, urutan pengelasan juga merupakan faktor penting dalam menentukan besar kecilnya nilai tegangan sisa sambungan. Pengaturan urutan las yang baik akan menurunkan nilai akhir tegangan sisa sambungan. Faktor terakhir yang dapat mempengaruhi nilai akhir tegangan sisa sambungan las adalah bentuk sambungan. Semakin rumit bentuk sambungan maka tegangan sisa yang terbentuk juga akan sulit untuk diperhitungkan.

### 2.3.2 Distribusi Tegangan Sisa pada Proses Pengelasan

Pada proses pengelasan, logam induk mengalami pemanasan yang berbeda-beda tergantung pada posisinya. Semakin jauh dari daerah lasan maka pemanasan yang timbul juga akan semakin kecil.



**Gambar 2. 6** Distribusi Tegangan *Thermal* [2]

Gambar 26.a memperlihatkan jalannya proses pengelasan yang dilakukan sepanjang garis X-X kemudian berhenti pada titik O. Sementara pada Gambar 2.6.b. memperlihatkan perubahan temperatur yang terjadi selama proses pengelasan. Sedangkan pada Gambar 2.6.c memperlihatkan perubahan tegangan yang terjadi sepanjang proses pengelasan. Daerah M-M' adalah daerah terjadinya deformasi plastis. Area A-A adalah daerah di atas dari sumber panas dan belum terpengaruh panas secara signifikan. Perubahan temperatur pada daerah ini karena pengelasan,  $\Delta T$ , adalah nol. Area B-B adalah daerah persimpangan dari pusat panas, distribusi temperatur pada daerah ini agak berbeda jauh dan tidak teratur. Sedangkan disepanjang daerah C-C yang merupakan daerah agak dibelakang dari pusat panas, distribusi temperatur tidak terlalu tinggi bila dibandingkan dengan daerah B-B dan distribusi temperatur akan semakin seragam dengan semakin jauh daerah dari pusat panas seperti yang ditunjukkan daerah D-D.

Panas yang dihasilkan selama proses pengelasan menghasilkan tegangan di sepanjang arah longitudinal.

Distribusi perubahan tegangan selama proses pengelasan pada titik A-A karena tidak ada perubahan temperatur maka tidak terlihat adanya perubahan tegangan. Pada titik B-B distribusi tegangan sedikit terlihat karena adanya perubahan temperatur, tegangan tekan pada daerah sekitar logam las terjadi karena adanya pemuai logam pada daerah HAZ. Pada titik C-C logam las yang mulanya mencair mulai membeku dan menyusut menyebabkan pada daerah tersebut mengalami tegangan tarik cukup besar dan titik yang lebih jauh mengalami tegangan tekan. Pada D-D yang sudah dingin perubahan tegangan semakin terlihat dimana daerah logam las mengalami tegangan tarik dan daerah yang sedikit jauh darinya mengalami tegangan tekan [2].

### 2.3.3 Pengendalian Tegangan Sisa

Tegangan sisa pada proses pengelasan tidak dapat dihindari karena sudah bersifat alamiah namun bisa dikendalikan. Adanya tegangan sisa pada proses pengelasan dapat dikurangi dengan cara berikut ini.

#### a. *Preheating*

*Preheating* adalah proses pemanasan yang dilakukan sebelum pengelasan untuk memperkecil terjadinya tegangan sisa dalam pengelasan. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk memperkecil perbedaan temperatur pemanasan disekitar daerah las.

#### b. *Post Weld Heat Treatment*

*Postweld* (pemanasan setelah pengelasan) adalah proses penurunan tegangan sisa dan penyeragaman sifat mekanis material. Dalam proses PWHT ini pengaruh temperatur dan waktu harus diperhatikan.

### 2.3.4 Pengukuran Tegangan Sisa

Tegangan sisa pada suatu material dapat dihitung nilainya dengan menggunakan beberapa teknik. Prinsip dasar dari pengukuran tegangan sisa ini adalah berdasarkan "Hukum Hooke". "Hukum Hooke" mengatakan bahwa

perubahan ukuran suatu material disebabkan karena adanya tegangan. Oleh karena itu, tegangan sisa dapat diukur oleh alat yang dapat mengukur perubahan ukuran suatu material. Karena tegangan yang ada bersifat mikro, maka perubahan ukuran yang terjadi juga dalam ukuran mikro. Sehingga diperlukan alat yang dapat mengukur pada skala mikro. Cara yang umum digunakan untuk mengukur tegangan sisa dibagi menjadi 4 bagian yaitu : [2]

a. Metode pembebasan tegangan

Metode ini terdiri dari berbagai macam teknik, yang secara umum memiliki prinsip dengan melakukan pembebasan tegangan pada material dengan cara memotong, membuat lubang, atau menghilangkan permukaan material. Teknik yang biasa digunakan antara lain : *hole drilling* dan *ring core methods, layer removal method, sectinal method*. [2]

b. Metode difraksi

Metode ini menggunakan sinar-x atau neutron untuk mengukur perubahan jarak pada bidang-bidang antar kisi dan kristal.

c. Metode yang menggunakan kepekaan terhadap regangan

Metode ini menggunakan ultrasonik atau magnetik untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi di dalam material yang mengalami tegangan sisa kemudian dibandingkan dengan material tanpa tegangan.

d. Metode retak

Metode ini dapat dilakukan pada material yang mengalami retak akibat *Hidrogen Induced Cracking* atau *Stress corrosion cracking*.

## 2.4 Preheat [3]

*Preheating* dalam AWS Standard didefinisikan sebagai “panas yang diberikan kepada material induk atau substrat untuk mencapai atau menjaga pada temperatur pemanasan”. Temperatur *preheat* didefinisikan sebagai “temperatur dari material induk yang besarnya disekitar temperatur las sebelum dilakukan pengelasan”. [3]

Ketika dilakukan pengelasan pada material dan pada saat kondisi tertentu, *preheating* 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. [3]

*Preheating* 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. [3]

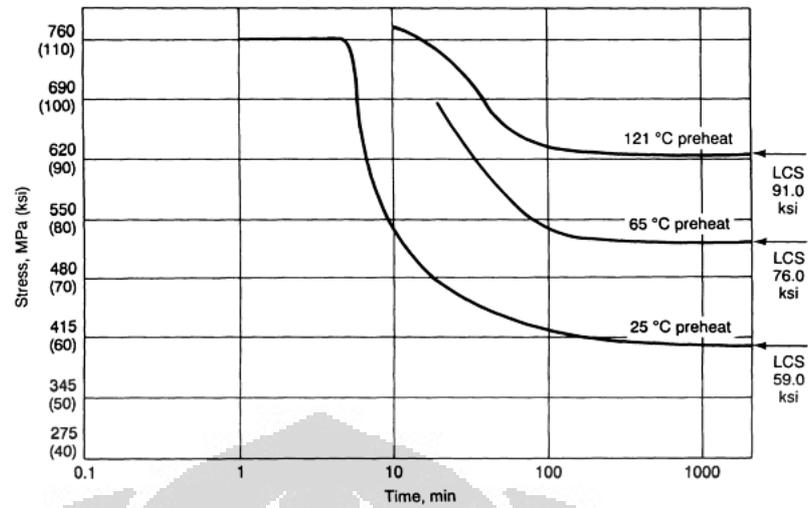
Ketika melakukan *preheating*, seluruh permukaan sambungan yang akan dilas dipastikan diberikan panas merata ke seluruh ketebalan material sampai ke temperatur yang diinginkan. Untuk mendapatkan temperatur yang merata ke semua ketebalan material adalah dengan mengarahkan sumber panas ke salah satu bagian material dan mengukur temperatur yang terjadi di bagian lainnya yang berlawanan.[3]

Pada aplikasi khusus, temperatur *preheat* harus dikontrol secara tepat. Dalam situasi ini dapat dikontrol dengan menggunakan alat seperti *thermocouple*. [3]

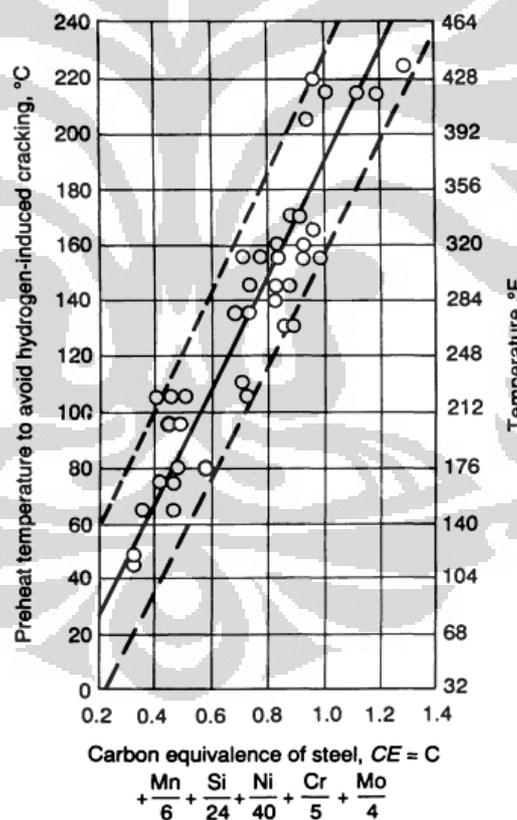
Beberapa Alasan dilakukannya *preheating*:

- a. Untuk menghilangkan uap air dari daerah pengelasan.

Pemanasannya biasanya diarahkan kepada permukaan material dengan temperatur yang relatif rendah, hanya beberapa derajat di atas titik didih air. Hal ini akan membuat permukaan material kering dan mengangkat kontaminan yang tidak diinginkan yang bisa menyebabkan porositas, *hydrogen embrittlement*, atau retak karena pengaruh hidrogen selama proses pengelasan.[3]



**Gambar 2. 7** Grafik Hubungan Temperatur *Preheat* terhadap *Critical Stress* dari HIC.[2]



**Gambar 2. 8** Grafik Hubungan Temperatur *Preheat* dan *Carbon Equivalent* [2]

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 temperature yang sangat jauh dapat digunakan dengan cara *preheating* atau pemanasan sebelum dilakukan pengelasan yang dapat meminimalisir beberapa masalah dan dapat menyeragamkan pendinginan. [3]

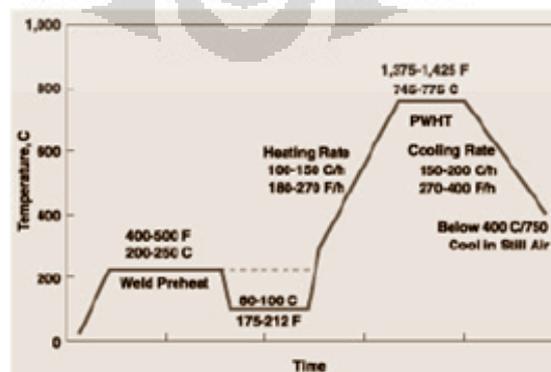
c. Menurunkan *residual stress* dan distorsi

Ketika *preheating* 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 *hardenability* yang baik atau kadar karbon yang cukup besar maka akan mempermudah terbentuknya fasa martensit yang rentan terhadap retak. [3]

Untuk menentukan temperatur *preheat* 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.

Untuk mengetahui skema pemanasan awal dapat dilihat pada **Gambar 2.9**



**Gambar 2.9** Skema Pemanasan Awal [1]

Temperatur untuk preheating berkisar antara 100°F (40°C) untuk baja tanpa paduan sampai 500°F (250°C) untuk baja dengan kekerasan yang tinggi [1].

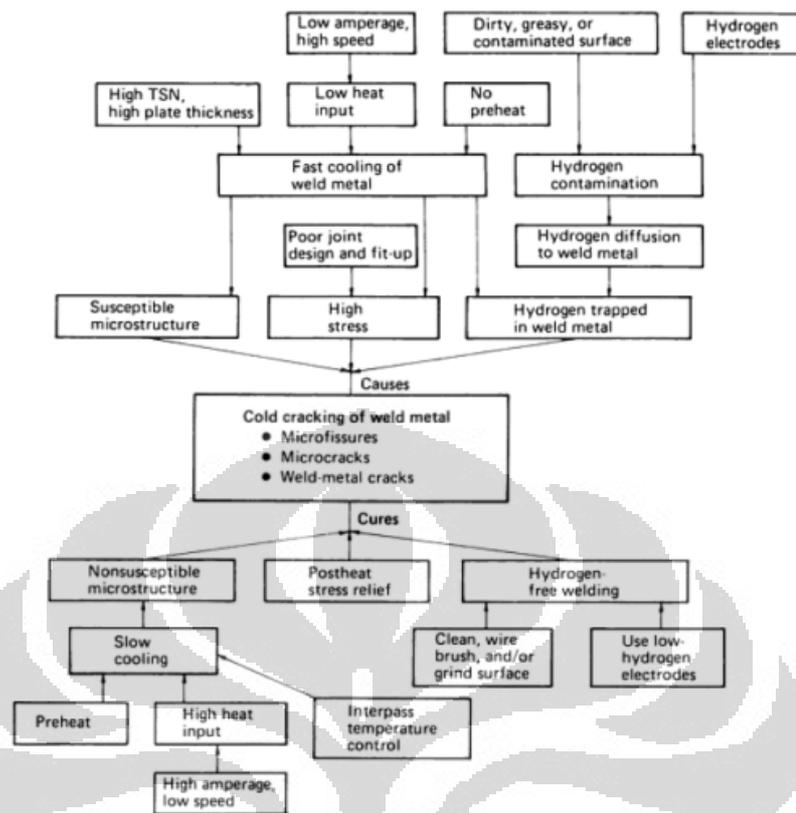
## 2.5 Retak Dingin (*Cold Crack*)

Retak dingin (*cold crack*) 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*).[2] Retak dingin merupakan retak yang terjadi akibat adanya kontaminasi hidrogen pada saat proses pengelasan dilakukan dan terjadi ketika proses pengelasan selesai dilakukan. Retak dingin mungkin terjadi beberapa minggu atau beberapa bulan setelah pengelasan dilakukan. Pada baja retak dingin biasanya terjadi pada rentang temperatur -50°C hingga 150°C dimana bentuk perpatahan dapat berupa *intergranular* atau *transgranular cleavage*. [1]

Mekanisme dari *hydrogen induced cracking* masih dalam tahap penelitian. Dari hipotesis awal dijelaskan bahwa hidrogen berdifusi masuk pada kisi dari struktur kristal. Ketika konsentrasi dari hidrogen meningkat maka energi kohesif dan tegangan kisi akan menurun. Penurunan energi kohesif dibawah tingkat tegangan lokal setempat maka terjadilah retak. Hidrogen kemudian akan memperbesar volume dari retak dan proses tersebut akan berulang-ulang. [1]

Retak dingin pada dasarnya dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti adanya kelarutan gas hidrogen dalam baja, terbentuknya tegangan sisa yang tinggi, dan adanya struktur keras seperti martensit [5]. Faktor-faktor penyebab terjadinya retak dingin dan cara penanggulangannya ditunjukkan pada **Gambar**

### 2.10

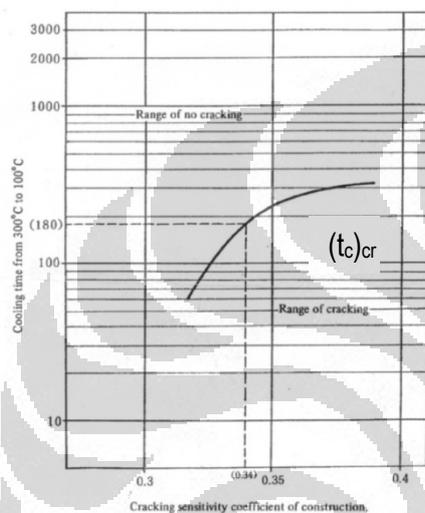


**Gambar 2. 10** Faktor penyebab dan cara penanggulangan retak dingin [1]

Beberapa penelitian untuk penentuan prosedur pengelasan (*welding procedure*) dalam rangka menghindari retak pada konstruksi baja telah dilakukan oleh beberapa peneliti [4]. Terjadinya retak las pada umumnya dipengaruhi oleh berbagai faktor termasuk tebal pelat baja, jenis logam pengisi (*electrode*), metode atau proses pengelasan, prosedur las, kondisi lingkungan atmosfer dan desain las yang digunakan. Dalam rangka untuk mencegah retak las, pemanasan awal (*preheat*) 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 ( $P_w$ ) [5]. 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  $(t_c)_{cr}$ .



$$P_w = P_{CM} + \frac{H}{60} + \frac{K}{40000} \quad (\%) \quad (1)$$

(1)

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (\%) \quad (2)$$

H: Diffusible hydrogen content in weld metal (cc/100g)

K: Intensity of restraint (kg/mm·mm)

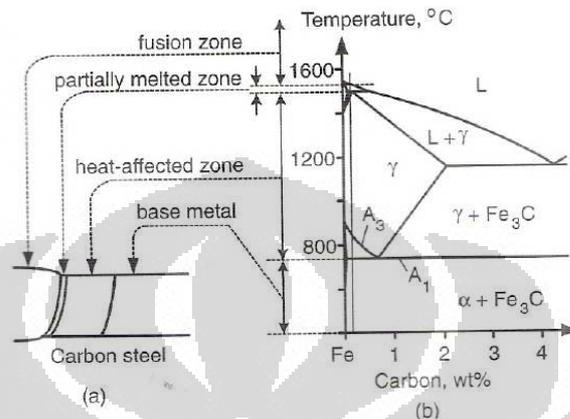
**Gambar 2. 11** Grafik temperatur pendinginan dari 300C ke 100C (T300-100) terhadap. Koefisien Sensitifitas Retak (PW) [6]

## 2.6 Metalugi Las

### 2.6.1 Diagram Fasa dan Diagram CCT

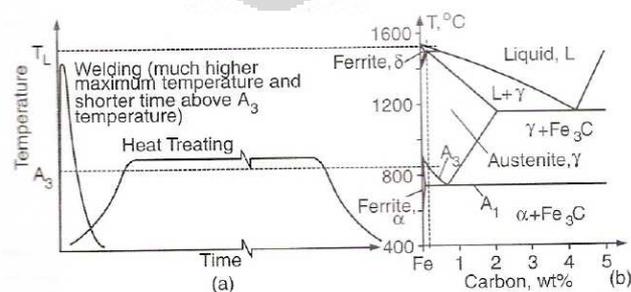
HAZ pada baja karbon sangat berhubungan dengan diagram fasa Fe-C. Diagram fasa Fe-C dan diagram *continuous-cooling transformation* untuk *heat treatment* baja karbon bisa berguna juga untuk pengelasan, tapi ada beberapa perbedaan mendasar antara pengelasan dan *heat treatment* yang harus diperhatikan. Proses termal selama pengelasan dan *heat treatment* sangat berbeda satu sama lain. Yang pertama, pada pengelasan temperatur puncak pada HAZ bisa mendekati 1500<sup>0</sup>C. Pada *heat treatment*, temperatur maksimum hanya mendekati 900<sup>0</sup>C, yang tidak terlalu jauh di atas temperatur kritis A3 hingga austenit

terbentuk. Yang kedua, laju pemanasan tinggi dan waktu tahan di atas  $A_3$  singkat selama proses pengelasan. Pada heat treatment, laju pemanasan lebih lambat dan waktu tahan di atas  $A_3$  lebih lama. Temperatur  $A_1$  dan  $A_3$  selama *heat treatment* lebih sering diartikan sebagai temperatur  $Ac_1$  dan  $Ac_3$ .



**Gambar 2. 12** Hubungan Daerah Las dengan Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C [1]

Gabungan laju pemanasan yang tinggi dan waktu tahan yang singkat di atas  $Ac_3$  pada pengelasan bisa menghasilkan pembentukan austenit yang tidak seragam selama pemanasan. Ini terjadi karena tidak cukup waktu bagi atom karbon di *austenite* untuk berdifusi dari koloni *pearlite* dengan kandungan karbon tinggi ke koloni *ferrite* dengan kandungan karbon rendah. Selama pendinginan cepat, yang lebih dahulu berubah menjadi koloni martensit karbon tinggi sedangkan yang lebih terakhir berubah menjadi koloni *ferrite* karbon rendah. Akibatnya kekerasan mikro pada HAZ bisa sangat beragam pada lasan dengan laju pemanasan yang tinggi.

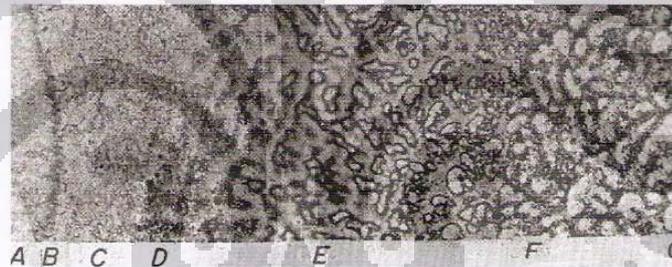


**Gambar 2. 13** Perbandingan Pengelasan dan *Heat Treating* [1]

Sebagai hasil temperatur puncak selama pengelasan, pertumbuhan butir bisa terjadi di sekitar batas fusi. Semakin lambat laju pemanasan, semakin lama waktu tahan di atas  $Ac_3$  semakin hebat pertumbuhan butir. Sedangkan pada *heat treatment*, temperatur maksimum yang dikerjakan hanya sekitar  $900^{\circ}C$  untuk mencegah pertumbuhan butir.

### 2.6.2 Struktur Mikro

Struktur pada logam las umumnya memiliki butir yang halus dan berstruktur *widmanstatten*. Pada proses pendinginan normal, ferit akan terbentuk dari pada austenit dan kemudian dikelilingi oleh butir perlit. Namun, pada proses pengelasan terjadi pendinginan cepat sehingga butir ferit dan perlit tidak terbentuk seperti pada pendinginan normal tetapi yang terbentuk adalah struktur *widmanstatten*.



**Gambar 2. 14** Mikro struktur dari *As-cast Carbon Steel*. [1]

### 2.6.3 Daerah Terpengaruh Panas (*HAZ*)

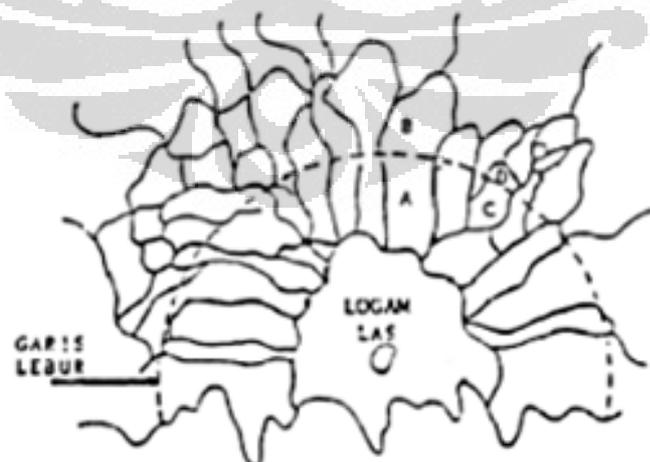
Kepekaan struktur kristal BCC pada baja menjadi penyebab terjadi *ductile-brittle transformation* yang menyebabkan kerusakan dalam waktu singkat. Dalam proses pengelasan, terutama dalam sambungan lasan hal ini menjadi masalah yang lebih rumit karena ada faktor-faktor lain seperti konsentrasi tegangan, struktur yang tidak sesuai dan cacat lasan.

Lebar daerah terpengaruh panas ditentukan oleh aliran panas. Selama proses pengelasan daerah terpengaruh panas akan mengalami perubahan-perubahan secara metalurgi, seperti rekristalisasi, pelarutan endapan, pengerasan, maupun pengendapan berlebih. Pada daerah HAZ yang dekat dengan lasan, kristal tumbuh

lebih cepat dan membentuk butir-butir kasar. daerah ini disebut dengan batas las. Daerah ini butir menjadi kasar dan logam menjadi lebih getas akibat siklus termal yang terjadi pada waktu pengelasan. Pada daerah ini terjadi konsentrasi tegangan yang disebabkan diskontinuitas pada kaki manik las, takik las, dan lain-lain. Biasanya untuk mengurangi tegangan yang tinggi dan stuktur yang kasar pada daerah tersebut dilakukan proses pemanasan untuk melepaskan tegangan sisa yang dihasilkan oleh pengelasan.

#### 2.6.4 Reaksi Pembekuan

Pada umumnya proses pembekuan suatu logam diawali oleh peristiwa nukleasi dan pertumbuhan butir. Adanya peristiwa nukleasi dan pertumbuhan butir akan mengakibatkan perubahan fasa cair menjadi fasa padat. Pada peristiwa pembekuan logam deposit las, nukleasi awal dan pertumbuhan butir akan terjadi secara epitaksial, yaitu kristal-kristal yang terbentuk selama pembekuan akan melakukan nukleasi pertama kali di daerah antar muka cair-padat logam induk, kemudian masing-masing butir yang terbentuk merupakan kelanjutan dari butir yang terdahulu yang menjadi tempat nukleasi butir baru. Jika batas las bergerak maju oleh proses pengelasan, maka butir yang terbentuk selama pendinginan akan sangat tergantung dari jumlah nukleasi awal yang terbentuk. Mekanisme pembekuan deposit las terjadi secara epitaksial terlihat pada **Gambar 2.15**.

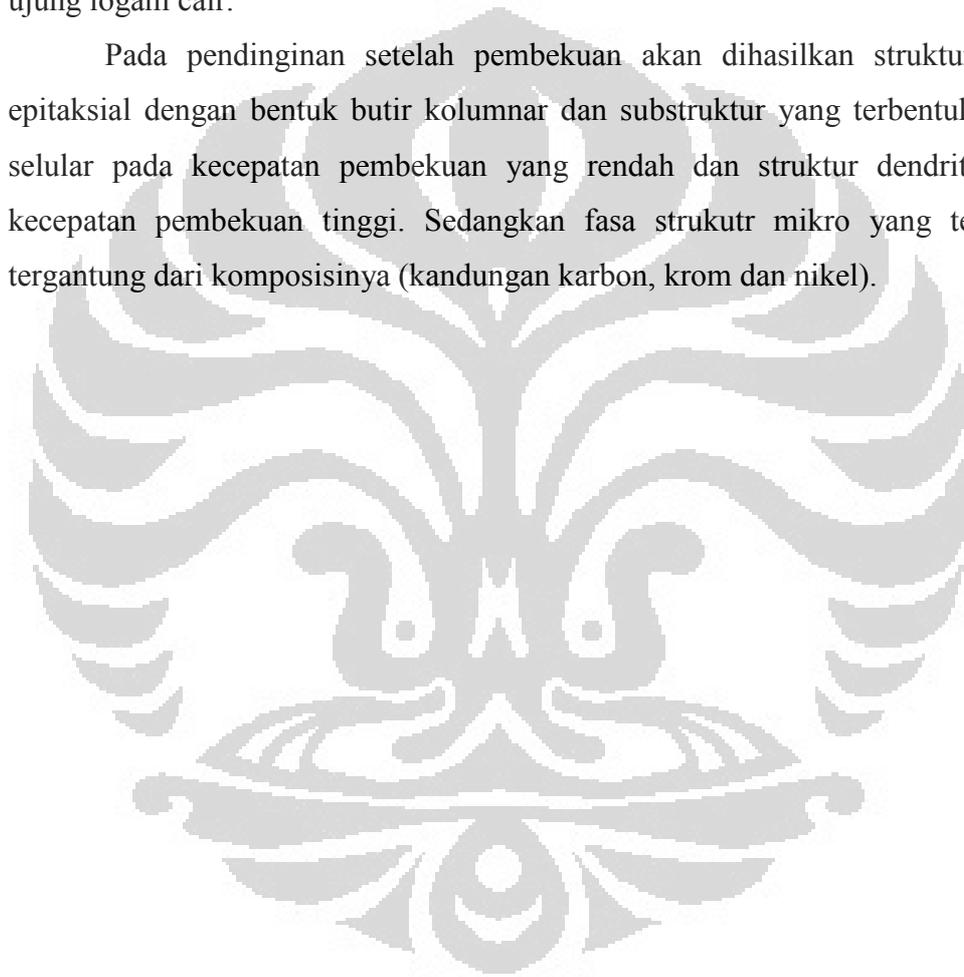


**Gambar 2. 15** Konsep Pertumbuhan Kristal Epitaksial [2]

Kristal A merupakan pengintian awal kristal. Akibatnya kristal A dan B mempunyai orientasi kristal yang sama demikian juga untuk kristal C dan D.

Struktur butir utama yang terbentuk setelah pembekuan adalah epitaksial dan sub struktur yang terbentuk oleh pemisahan yang mencakup antara lain konsentrasi logam las cair, parameter pembekuan yang nilainya sama dengan  $G/R$ , dimana  $G$  merupakan gradien temperatur dalam arah pembekuan pada ujung logam las cair. Sedangkan  $R$  adalah kecepatan pergerakan batas pembekuan pada ujung logam cair.

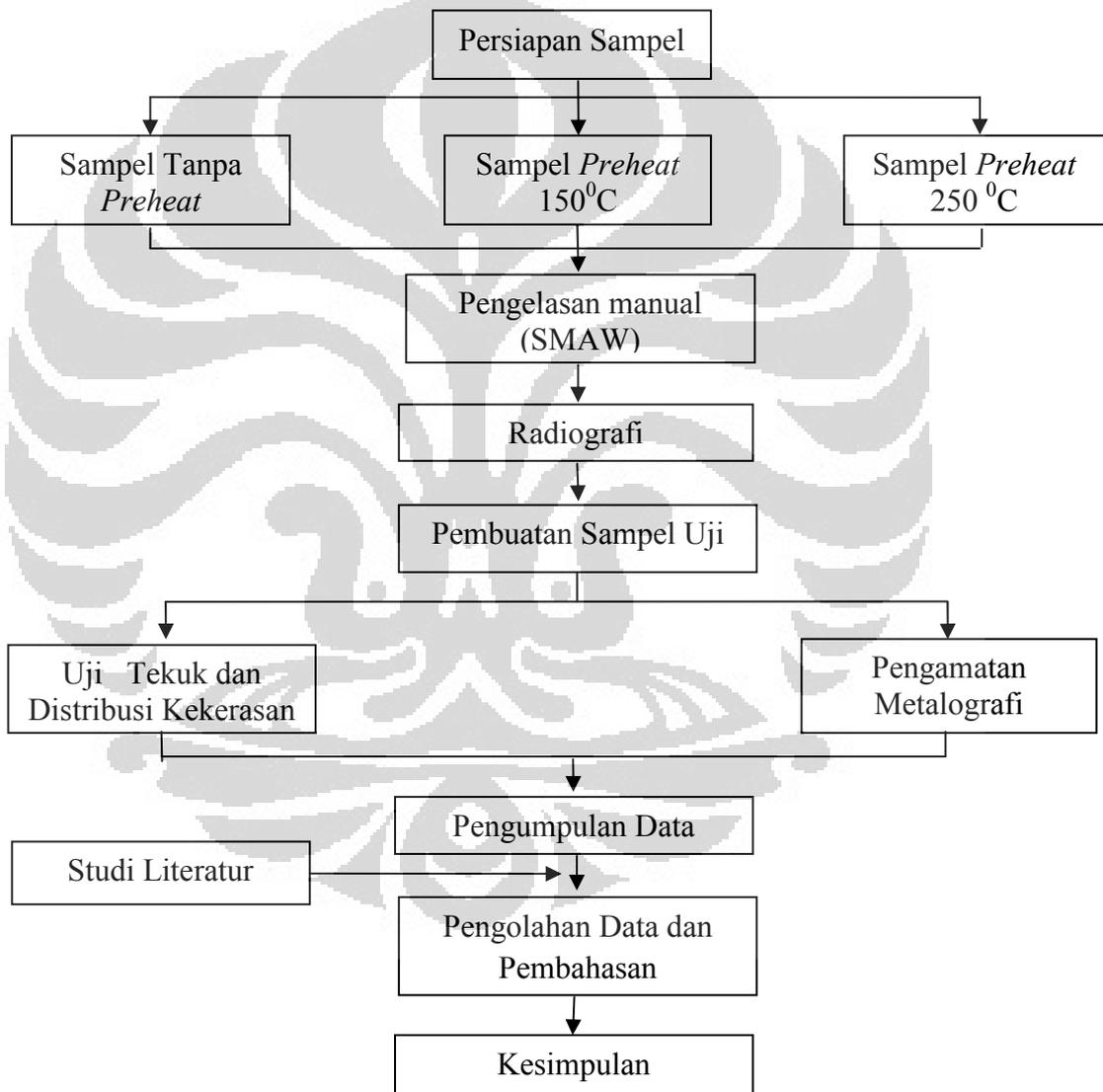
Pada pendinginan setelah pembekuan akan dihasilkan struktur utama epitaksial dengan bentuk butir kolumnar dan substruktur yang terbentuk adalah selular pada kecepatan pembekuan yang rendah dan struktur dendritik pada kecepatan pembekuan tinggi. Sedangkan fasa struktur mikro yang terbentuk tergantung dari komposisinya (kandungan karbon, krom dan nikel).



**BAB 3**  
**METODE PENELITIAN**

**3.1 Diagram Penelitian**

Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat secara umum pada **Gambar 3.1**.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Alat dan Bahan

#### 3.2.1 Alat

1. Satu Set mesin Las SMAW
2. Gerinda
3. Sikat
4. *Burner*
5. *Thermocouple*
6. Mesin uji tekuk shimadzu
7. *Abrasive cutting machine*
8. Mikroskop optik
9. *Microhardness tester*
10. Tabung reaksi
11. Cawan
12. Mesin poles
13. Mesin elektroetsa

#### 3.2.2 Bahan

1. Pelat Logam

Pelat logam yang digunakan adalah pelat baja tahan aus CREUSABRO<sup>®</sup> 8000 dimana memiliki ukuran seperti pada **Tabel 3.1**.

**Tabel 3. 1** Ukuran Pelat Las CREUSABRO<sup>®</sup> 8000

Material	Dimensi (mm)
CREUSABRO <sup>®</sup> 8000	200 x 100 x 8

2. Logam Pengisi (*Filler Metal*)

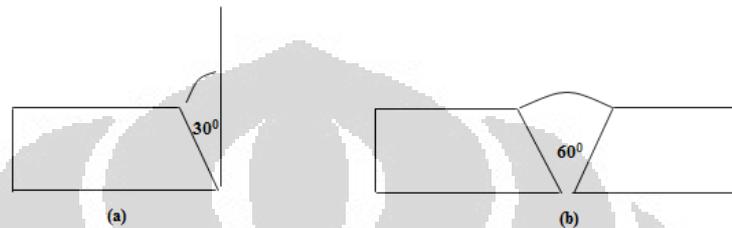
Logam pengisi yang digunakan adalah E-7018 dan MG NOX 35

3. Zat kimia : *aquades*, alkohol, HNO<sub>3</sub>, HCl, Asam oksalat

### 3.3 Persiapan Sampel Las

#### 3.3.1 Pembuatan Bevel

Pembuatan bevel dilakukan dengan membuat alur dengan kemiringan  $30^{\circ}$  sesuai dengan AWS A5.1-81. Setelah digabungkan terbentuk model *V groove* dengan sudut alur  $60^{\circ}$ .



**Gambar 3. 2** Bentuk Sambungan (a) Sebelum; (b) Pengelasan

#### 3.3.2 Preheating

Sampel material yang mengalami *preheating* adalah material yang dikategorikan dalam parameter pemanasan  $150^{\circ}\text{C}$  dan  $250^{\circ}\text{C}$ . Jumlah sampel total berjumlah 3 pasang dimana untuk tiap ketebalan dialokasikan 1 pasang tanpa preheat, 1 pasang dilakukan *preheat* pada suhu  $150^{\circ}\text{C}$  dan 1 pasang pada suhu  $250^{\circ}\text{C}$ .

Proses *Preheating* dilakukan dengan cara dipanaskan dengan *burners* pada permukaan logam induk dan tetap diukur dengan menggunakan *thermocouple*.

### 3.4 Pengelasan

Proses pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Posisi pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu posisi datar ( dalam AWS code dinyatakan dengan kode 1G ).

Parameter pengelasan yang digunakan antara lain :

- Arus : 80 – 120 A

- Voltase : 20 -25 V
- *Travel speed* : 60 – 100 mm/menit

### 3.5 Pengujian Sampel

#### 3.5.1 Persiapan Sampel Pengujian

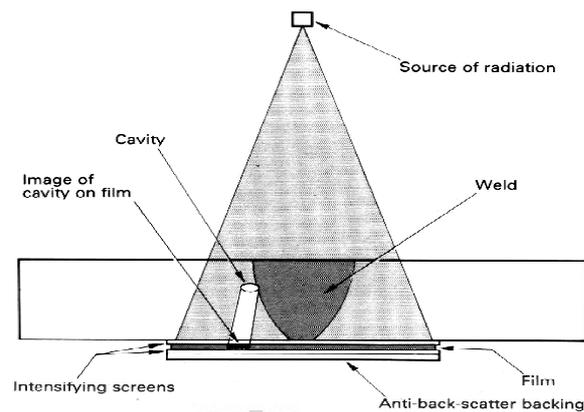
Persiapan sampel pengujian dilakukan dengan melakukan pemotongan pada pelat baja tahan aus Creusabro® 8000 yang telah di las. Pemotongan dilakukan dengan menggunakan mesin *abrasive cutting* di workshop Departemen Metalurgi dan Material FTUI. Ukuran sampel pengujian seperti pada **Tabel 3.2**.

**Tabel 3. 2** Ukuran Sampel Pengujian

Pengujian	Ukuran Sampel (mm)
Kekerasan	30 x 10 x 8
Tekuk ( <i>Face Bend</i> )	200 x 20 x 8
Pengamatan metalografi	30 x 10 x 8

#### 3.5.2 Pengujian Radiografi

Pengujian radiografi memiliki tujuan untuk melihat adanya cacat pada logam las terutama cacat retak dingin. Pada pengujian ini juga akan dilihat perbedaan kuantitas cacat retak dingin pada sampel *non-preheating*, *preheating* 150<sup>0</sup>C dan 250<sup>0</sup>C. Pengujian ini dilakukan di PT Radiant Utama Interisco Tbk.



**Gambar 3. 3** Prinsip Pengujian Radiografi [12]

### 3.5.3 Uji Mekanis

#### 1. Uji Kekerasan

Uji kekerasan ini memiliki tujuan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada logam las (*weld metal*), HAZ dan logam dasar. Pengujian dilakukan di laboratorium PT Astra Honda Motor dengan menggunakan mesin *microhardness tester* FM-700 dengan beban yang digunakan yaitu 300 gf dan waktu tunggu 10 detik. Standar yang digunakan adalah ASTM E 92. Hasil dari pengujian ini dihubungkan dengan tegangan sisa pada sampel uji.

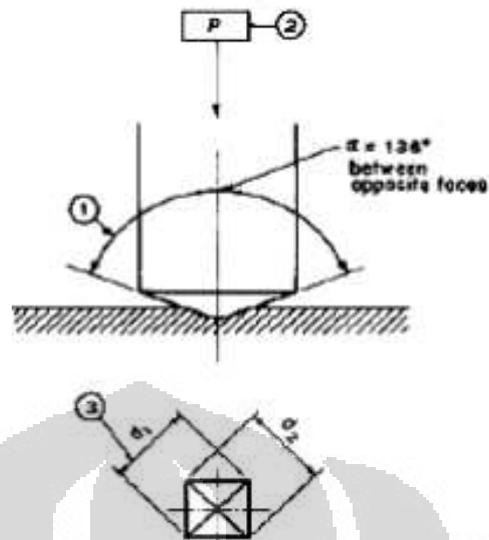
$$VHN = \frac{1852 \times P}{d^2} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

k : 1852

P : beban (*gramforce*)

d : diameter jejak ( $\mu\text{m}$ )



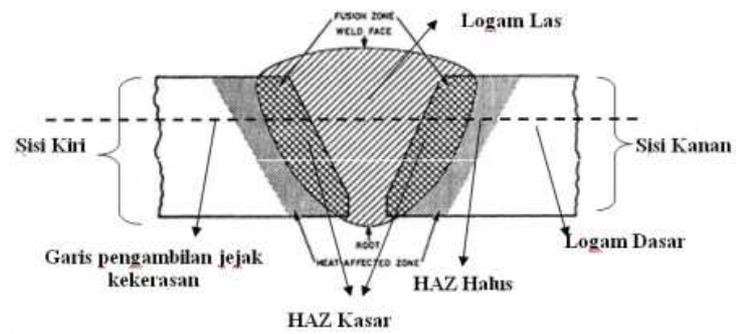
**Gambar 3. 4** Penampang Indentor Uji *Microhardness* [13]

## 2. Uji Tekuk

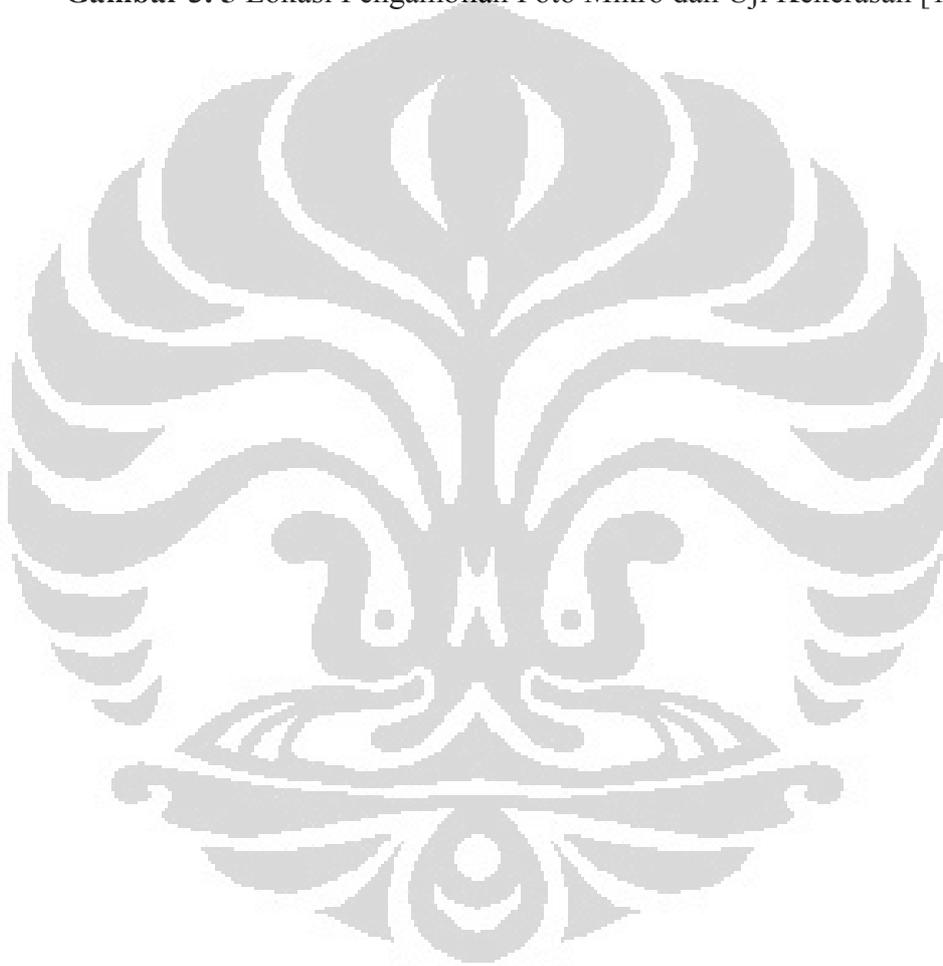
Uji tekuk memiliki tujuan untuk mengetahui kekuatan sambungan las pada daerah muka las (*weld face*). Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik DTMM dengan menggunakan mesin uji tekuk Shimadzu. Pengujian ini dilakukan dengan berpedoman pada aturan yang tercantum pada standard JIZ Z 2248.

### 3.5.4 Pengamatan Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk melihat permukaan hasil lasan secara mikro, fasa dan permukaan fraktografi. Pengambilan struktur mikro dilakukan di Laboratorium Metalografi dan HST DTMM pada daerah logam las, HAZ, dan logam induk.



**Gambar 3. 5** Lokasi Pengambilan Foto Mikro dan Uji Kekerasan [10]



## BAB 4

### DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data dan Analisa Ketahanan Retak

**Tabel 4. 1** Cacat Pengelasan CREUSABRO<sup>®</sup>8000; Tanpa *Preheat*

Sampel	Cacat Pengelasan
E 7018	Retak dingin , <i>Porosity</i> , <i>Incomplete penetration</i>
MG NOX 35	<i>Porosity</i>

**Tabel 4. 2** Cacat Pengelasan CREUSABRO<sup>®</sup>8000; *Preheat* 150<sup>0</sup>C

Sampel	Cacat Pengelasan
E 7018	<i>Porosity</i>
MG NOX 35	<i>Porosity</i>

**Tabel 4. 3** Cacat Pengelasan CREUSABRO<sup>®</sup>8000; *Preheat* 250<sup>0</sup>C

Sampel	Cacat Pengelasan
E 7018	<i>Porosity</i>
MG NOX 35	<i>Porosity</i>

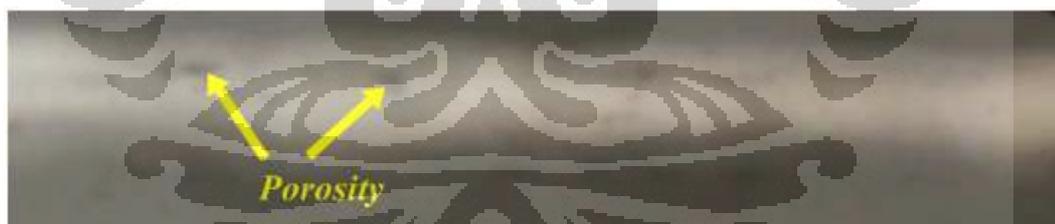
Pada penelitian yang dilakukan dengan melakukan pengelasan CREUSABRO<sup>®</sup>8000 di dapat ketahanan retak dari masing-masing sampel yang dapat dilihat pada **Tabel 4.1**, **Tabel 4.2** dan **Tabel 4.3**. Pengelasan dilakukan dengan metode SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan variabel perbedaan temperatur *preheat* dan kawat las. Hasil penelitian untuk kawat las E 7018 menghasilkan pada sampel tanpa *preheat* ditemukan adanya retak dingin sedangkan sampel dengan *preheat* 150<sup>0</sup>C dan 250<sup>0</sup>C tidak ditemukan adanya retak dingin. Pada sampel pengelasan menggunakan kawat las MG NOX 35, tidak ditemukan adanya retak dingin pada tiap-tiap sampel.

#### 4.1.1 Analisa Ketahanan Retak Sampel Tanpa Perlakuan *Preheat*

**Tabel 4.1** menunjukkan data mengenai cacat pengelasan yang terjadi pada sampel las dengan elektroda E 7018 dan MG NOX 35 tanpa perlakuan *preheat*. Berdasarkan data yang didapatkan, retak dingin ditemukan pada sampel dengan elektroda E 7018. Pada sampel tersebut terdapat 2 buah retak dingin dengan jarak yang berdekatan dengan ukuran kurang lebih 5 – 10 mm. Sementara itu pada sampel dengan elektroda MG NOX 35 tidak ditemukan adanya retak dingin. Foto radiografi dari sampel tanpa perlakuan *preheat* ditunjukkan pada **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.2** berikut ini.



**Gambar 4. 1** Foto Radiografi Sampel Pengelasan dengan Elektroda E 7018; Tanpa *Preheat*



**Gambar 4. 2** Foto Radiografi Sampel Pengelasan dengan Elektroda MG NOX 35; Tanpa *Preheat*

Kehadiran cacat retak dingin pada suatu pengelasan merupakan kontribusi dari beberapa faktor yaitu tegangan sisa, fasa getas, dan kelarutan  $H_2$ [2]. *Preheat* merupakan salah satu cara untuk meminimalkan pengaruh dari ketiga faktor penyebab terjadinya retak dingin tersebut. Adanya *preheat* pada sampel akan menurunkan laju pendinginan dari sampel[2]. Tidak dilakukannya perlakuan

*preheat* pada sampel dengan elektroda E 7018 ini menyebabkan terjadinya laju pendinginan yang cepat pada daerah lasan. Adanya laju pendinginan yang cepat ini memungkinkan terjadinya tegangan sisa pada daerah lasan dimana akan terjadi kontraksi ketika proses pembekuan berlangsung. Kontraksi terjadi ketika sampel mendapatkan masukan panas dimana akan terjadi peristiwa pemuaihan. Disini sampel akan mengalami tegangan tarik pada daerah lasan. Ketika proses pembekuan terjadi, proses pemuaihan akan berhenti dan pada daerah lasan akan terjadi proses penyusutan. Pada proses ini, sampel tidak lagi mengalami tegangan tarik melainkan tegangan tekan. Ketika kedua proses ini berjalan dengan cepat akibat besarnya laju pendinginan yang terjadi pada daerah lasan maka akan memunculkan adanya sisa tegangan pada daerah lasan.

Pengaruh lain dari laju pendinginan yang cepat pada sampel dengan elektroda E 7018 lainnya adalah timbulnya daerah-daerah yang rapuh (*brittle*). Kecepatan pendinginan memiliki hubungan dengan terbentuknya jenis fasa pada suatu logam. Semakin tinggi kecepatan pendinginan terjadi maka kemungkinan untuk terbentuknya fasa-fasa yang keras dan rapuh semakin besar. Fasa-fasa yang mungkin terbentuk dengan laju pendinginan yang cepat antara lain *bainite* dan *martensite*. Dari kombinasi faktor-faktor tersebut pada pengelasan sampel dengan elektroda E 7018 ini mengalami retak dingin di sekitar daerah lasan.

Pada sampel pengelasan dengan elektroda MG NOX 35 tidak ditemukan adanya retak dingin pada daerah lasannya. Seperti halnya sampel dengan elektroda E 7018, sampel ini juga menggunakan parameter yang sama dimana tidak dilakukan perlakuan *preheat*. MG NOX 35 merupakan elektroda yang ekuivalen dengan E 307 dimana tergolong *austenitic stainless steel*. *Austenitic stainless steel* merupakan tipe baja tahan karat dengan ciri kandungan krom dan nikel yang tinggi. Sedangkan krom merupakan unsur yang mudah berikatan dengan unsur lain dan membentuk karbida dimana kehadirannya mampu meningkatkan sifat mekanis. Sedangkan nikel dalam baja paduan merupakan unsur mampu meningkatkan ketangguhan dari baja dimana unsur ini juga tidak mudah berikatan dengan unsur lain membentuk fasa-fasa yang keras. Kandungan nikel juga memberikan pengaruh pada fasa austenit yang terbentuk. Nikel merupakan salah satu unsur penstabil austenit dimana kehadirannya dapat

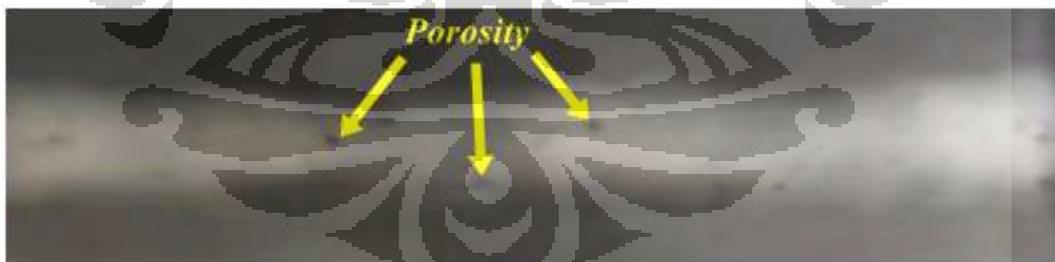
memperbesar daerah austenit. Austenit merupakan fasa yang memiliki keuletan yang baik dimana dengan sifat tersebut dapat mengurangi pengaruh tegangan sisa yang timbul pada daerah lasan.

*Austenitic stainless steel* juga merupakan baja tahan karat yang memiliki koefisien difusi hidrogen yang rendah. Dengan ini maka pengaruh kehadiran hidrogen pada daerah lasan dapat dikurangi [2].

Penggunaan *austenitic stainless steel* sebagai elektroda pengelasan ini dapat memberikan daerah pengelasan yang memiliki fasa yang baik dan meminimalkan terjadinya difusi hidrogen dari atmosfer. Dengan kombinasi sifat bahan tersebutlah retak dingin pada sampel dengan elektroda MG NOX 35 ini dapat dicegah.

#### 4.1.2 Analisa Ketahanan Retak Sampel dengan Perlakuan *Preheat* 150°C

Cacat pengelasan yang terjadi pada sampel dengan perlakuan *preheat* 150°C ditunjukkan pada **Tabel 4.2**. Berdasarkan data hasil foto radiografi pada sampel dengan perlakuan *preheat* 150°C didapatkan hasil bahwa pada kedua sampel tersebut tidak ditemukan adanya retak dingin. Hasil foto radiografi dari sampel dengan perlakuan *preheat* 150°C ditunjukkan pada **Gambar 4.3** dan **Gambar 4.4** Berikut ini.



**Gambar 4. 3** Foto Radiografi Sampel Pengelasan dengan Elektroda E 7018; *Preheat* 150°C



**Gambar 4. 4** Foto Radiografi Sampel Pengelasan dengan Elektroda MG NOX 35; *Preheat* 150<sup>0</sup>C

Adanya perlakuan *preheat* yang diberikan pada kedua sampel ini memberikan pengaruh terhadap kehadiran retak dingin pada daerah pengelasan. Laju pendinginan yang terjadi dengan adanya perlakuan *preheat* yang diberikan akan berbeda dengan sampel yang tidak diberikan perlakuan *preheat*. *Preheat* merupakan cara untuk memperkecil adanya gradien temperatur pada saat terjadi proses pembekuan. Dengan ini, kedua sampel memiliki laju pendinginan yang lebih lambat dimana dengan keadaan tersebut terbentuknya tegangan sisa dan fasa-fasa yang getas dapat diminimalkan.

Tidak adanya kehadiran tegangan sisa dan fasa-fasa yang getas ditambah dengan sifat masing-masing elektroda yang digunakan maka retak dingin pada kedua sampel ini tidak terjadi.

#### 4.1.3 Analisa Ketahanan Retak Sampel dengan Perlakuan *Preheat* 250<sup>0</sup>C

**Tabel 4.3** menunjukkan data cacat pengelasan sampel dengan perlakuan *preheat* 250<sup>0</sup>C. Berdasarkan hasil yang didapatkan, sampel pengelasan dengan elektroda E 7018 dan MG NOX 35 tidak ditemukan adanya retak dingin pada daerah pengelasannya. Hasil foto radiografi dari kedua sampel dengan perlakuan *preheat* 250<sup>0</sup>C ditunjukkan pada **Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6** berikut ini.



**Gambar 4. 5** Foto Radiografi Sampel Pengelasan dengan Elektroda E 7018;  
*Preheat 250<sup>0</sup>C*



**Gambar 4. 6** Foto Radiografi Sampel Pengelasan dengan Elektroda MG NOX 35;  
*Preheat 250<sup>0</sup>C*

Semakin tingginya temperatur *preheat* yang diberikan maka laju pendinginan yang terjadi akan semakin lambat. Seperti halnya pada sampel dengan perlakuan *preheat* 150<sup>0</sup>C, adanya laju pendinginan yang lambat akan meminimalkan terbentuknya fasa-fasa yang getas dan tegangan sisa yang terbentuk ketika proses pembekuan terjadi. Dengan keadaan ini maka retak dingin tidak terjadi.

Pada sampel-sampel semua pengelasan diatas juga ditemukan cacat pengelasan lain selain retak dingin. Pada Tabel 4.1, 4.2, dan 4.3 ditunjukkan cacat-cacat pengelasan lainnya yang terdapat pada hasil pengelasan yang dilakukan antara lain *slag inclusion*, *porosity*, dan *incomplete penetration*.

## 4.2 Data dan Analisa Distribusi Nilai Kekerasan

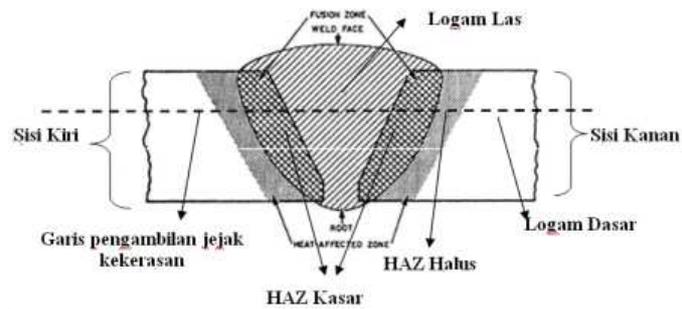
**Tabel 4. 4** Distribusi Kekerasan CREUSABRO<sup>®</sup>8000; Elektroda E 7018

Preheat ( <sup>o</sup> C)	Kekerasan (VHN)										
	Logam Dasar		HAZ		Kampuh Las			HAZ		Logam Dasar	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
No	570	568	435	395	254	281	285	493	497	536	460
150	554	547	403	358	257	257	288	482	414	521	418
250	388	396	265	321	210	234	236	310	321	369	400

**Tabel 4. 5** Distribusi Kekerasan CREUSABRO<sup>®</sup>8000; Elektroda MG NOX 35

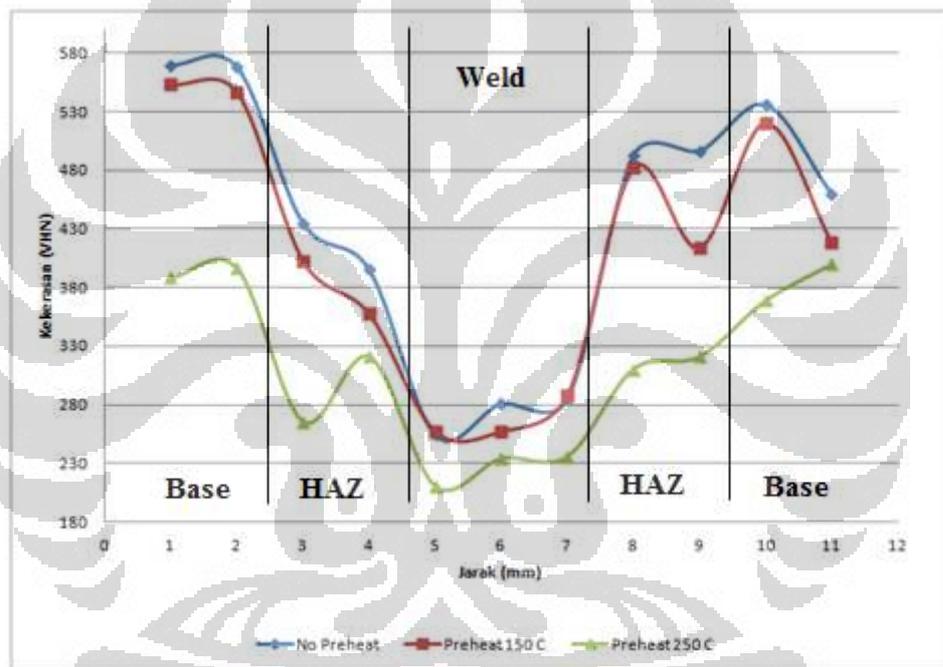
Preheat ( <sup>o</sup> C)	Kekerasan (VHN)										
	Logam Dasar		HAZ		Kampuh Las			HAZ		Logam Dasar	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
No	623	583	507	508	257	284	287	601	605	629	644
150	569	435	402	369	330	310	317	416	492	543	550
250	435	410	401	405	388	346	388	372	435	518	524

**Tabel 4.4** dan **Tabel 4.5** menunjukkan nilai distribusi kekerasan dari CREUSABRO<sup>®</sup>8000 menggunakan elektroda E 7018 dan MG NOX 35 dengan perlakuan *preheat* yang berbeda. Pengujian dilakukan dengan alat uji *microhardness tester* yang dilakukan pada 11 titik yang meliputi logam dasar, HAZ (*Heat Affected Zone*), dan kampuh las. Pengujian dilakukan untuk melihat perbedaan nilai kekerasan antara sampel tanpa *preheat*, *preheat* 150<sup>o</sup>C dan *preheat* 250<sup>o</sup>C. Selain itu, pengujian ini juga dilakukan untuk melihat perbedaan nilai kekerasan dari CREUSABRO<sup>®</sup>8000 yang menggunakan elektroda E 7018 dan MG NOX 35.



Gambar 4. 7 Skematis Daerah Penjejukan

#### 4.2.1 Analisa Distribusi Kekerasan Sampel dengan Elektroda E 7018

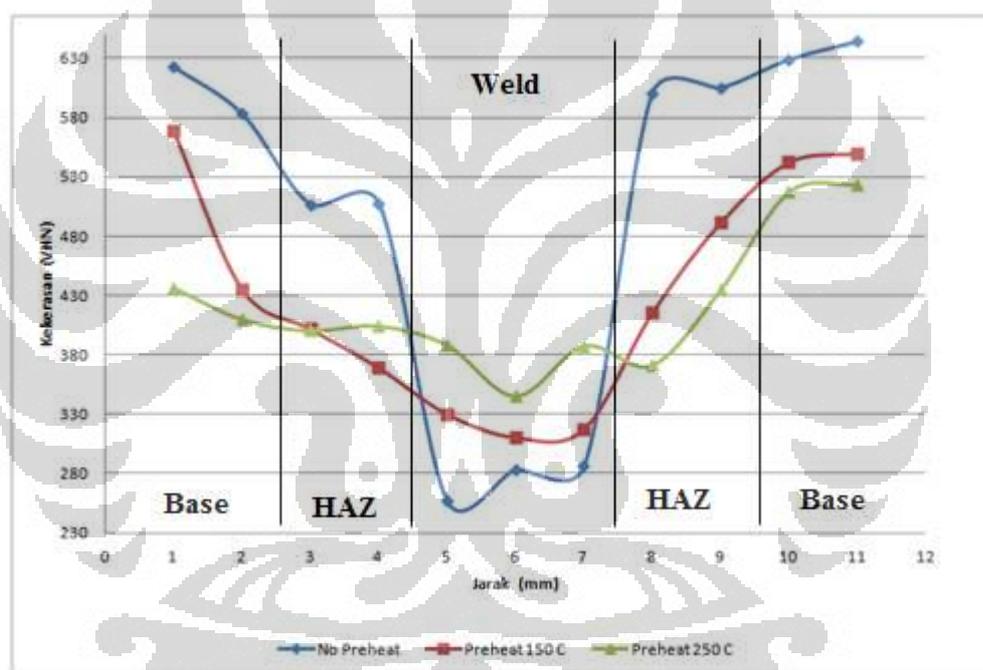


Gambar 4. 8 Nilai Distribusi Kekerasan pada Berbagai Daerah CREUSABRO<sup>®</sup> 8000; Elektroda E 7018 dengan Perlakuan *Preheat* Berbeda

Gambar 4.8 menunjukkan distribusi nilai kekerasan pada daerah logam dasar, HAZ (*Heat Affected Zone*), dan kampuh las pada sampel las dengan elektroda E 7018. Pada masing-masing perlakuan *preheat*, nilai kekerasan tertinggi terletak pada logam dasar diikuti HAZ (*Heat Affected Zone*) dan terakhir adalah kampuh las. Logam dasar merupakan daerah dengan nilai kekerasan paling tinggi karena sifat mekanis dari CREUSABRO<sup>®</sup> 8000 yang memiliki kekerasan

tinggi. Untuk HAZ (*Heat Affected Zone*) memiliki nilai kekerasan yang menurun dibandingkan dengan logam dasar. Pengaruh panas saat proses pengelasan berlangsung mempengaruhi struktur butir dari daerah ini dimana menurunkan nilai kekerasannya. Sedangkan pada kampuh las dimana menggunakan logam pengisi *carbon steel*, nilai kekerasan menurun dibandingkan kekerasan logam dasar dan HAZ (*Heat Affected Zone*). Elektroda E 7018 merupakan elektroda yang menggunakan logam pengisi baja karbon dimana nilai kekerasannya lebih rendah dibandingkan logam dasar yang digunakan yaitu CREUSABRO<sup>®</sup> 8000.

#### 4.2.2 Analisa Distribusi Kekerasan Sampel dengan Elektroda MG NOX 35



**Gambar 4.9** Nilai Distribusi Kekerasan pada Berbagai Daerah CREUSABRO<sup>®</sup>8000; Elektroda MG NOX 35 dengan Perlakuan *Preheat* Berbeda

**Gambar 4.9** menunjukkan nilai distribusi kekerasan sampel pengelasan dengan elektroda MG NOX 35 untuk berbagai perlakuan *preheat*. Pada masing-masing perlakuan *preheat*, nilai kekerasan tertinggi terletak pada logam dasar diikuti HAZ (*Heat Affected Zone*) dan terakhir adalah kampuh las. Logam dasar merupakan daerah dengan nilai kekerasan paling tinggi. Hal ini dikarenakan sifat mekanis dari pelat CREUSABRO<sup>®</sup> 8000 yang memiliki kekerasan tinggi. Untuk

HAZ (*Heat Affected Zone*), nilai kekerasannya yang menurun dibandingkan dengan logam dasar. Pengaruh panas saat proses pengelasan berlangsung mempengaruhi struktur butir dari daerah ini dimana menurunkan nilai kekerasannya. Sedangkan pada kampuh las, material yang digunakan merupakan logam *austenitic stainless steel* dimana memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah dari CREUSABRO® 8000 yang merupakan logam tahan aus.

Perbandingan kekerasan untuk pelat dengan perlakuan *preheat* yang berbeda menunjukkan distribusi kekerasan yang berbeda. Sampel dengan nilai kekerasan tertinggi adalah pelat tanpa perlakuan *preheat* diikuti pelat dengan *preheat* 150<sup>0</sup>C dan terakhir pelat dengan *preheat* 250<sup>0</sup>C. Perbedaan nilai kekerasan pada pelat dengan parameter temperatur *preheat* dapat disebabkan perbedaan mekanisme pembekuan dari kampuh las masing-masing pelat. Mekanisme pembekuan merupakan proses yang dipengaruhi oleh beberapa faktor dimana salah satunya adalah kecepatan pendinginan (*cooling rate*). Kecepatan pendinginan sendiri sangat ditentukan oleh ada atau tidaknya perlakuan *preheat* yang dilakukan. Semakin besar temperatur *preheat* maka semakin lambat kecepatan pendinginan yang terjadi [2]. Dengan lambatnya kecepatan pendinginan maka proses solidifikasi yang terjadi pada kampuh las juga semakin lambat dimana dengan keadaan tersebut butir yang terbentuk juga semakin besar.

Ukuran butir dari suatu material memiliki pengaruh terhadap sifat mekanis dari masing-masing pelat. Persamaan *Hall-Petch* menunjukkan hubungan antara besar butir dan kekuatan tarik dari suatu material. Hubungan tersebut ditunjukkan pada persamaan dibawah ini.

$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{k_y}{\sqrt{d}} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana  $\sigma_y$  adalah kekuatan tarik;  $\sigma_0$  adalah tegangan awal yang dapat membuat dislokasi bergerak;  $k_y$  adalah konstanta suatu material; dan  $d^{1/2}$  adalah diameter rata-rata butir.

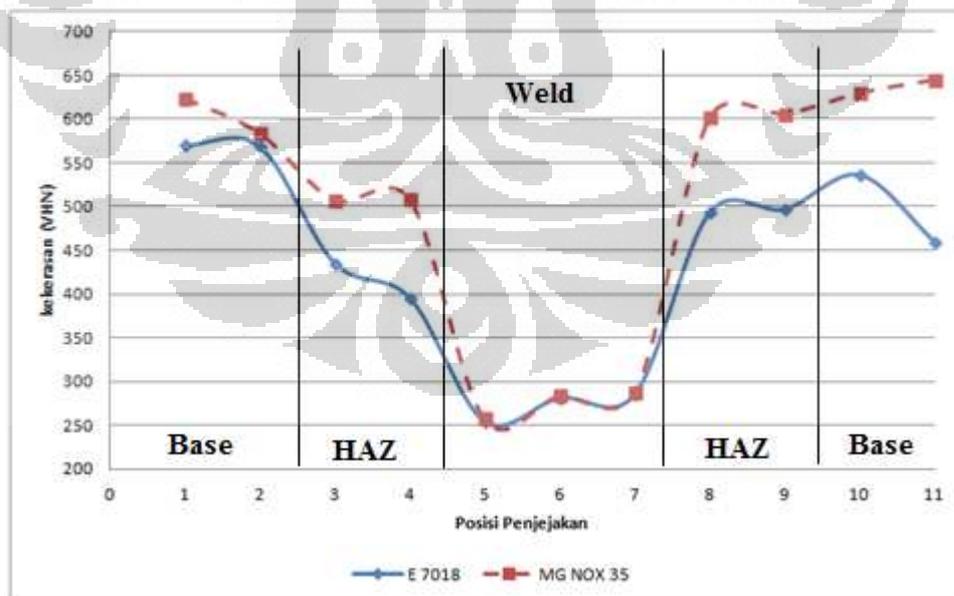
Berdasarkan hubungan antara kekuatan tarik dan besarnya butir diatas, kekuatan tarik berbanding terbalik dengan akar diameter butir dari material. Dengan ini maka semakin besarnya ukuran butir maka kekuatan tarik dari material tersebut akan turun. Kekuatan tarik memiliki hubungan lurus dengan nilai

kekerasan material. Berarti dengan semakin besar ukuran butir, kekerasan dari material semakin menurun.

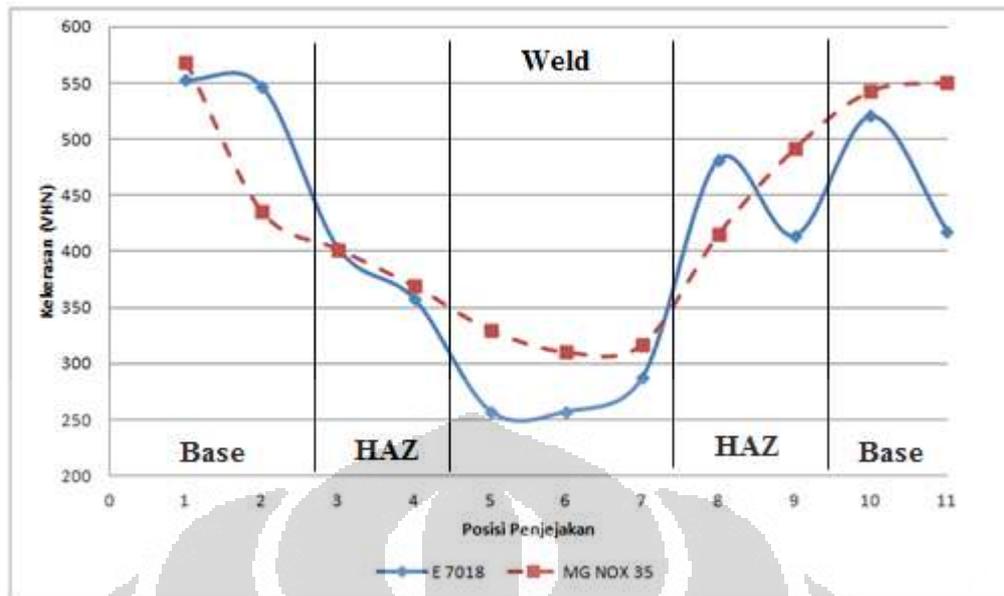
Jika ditarik hubungan antara kecepatan pendinginan, ukuran butir dan nilai kekerasan maka pelat dengan perlakuan *preheat* 250<sup>0</sup>C merupakan pelat yang memiliki laju pendinginan yang paling lambat sehingga memiliki ukuran butir yang paling besar diantara pelat dengan perlakuan *preheat* lain. Dengan ini nilai kekerasannya paling rendah. Sedangkan pelat yang tidak mendapat perlakuan *preheat* memiliki laju pendinginan yang cepat sehingga ukuran butir yang terbentuk pada kampuh lasnya kecil. Oleh karena itu, pada pelat tanpa perlakuan *preheat* ini memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi.

#### 4.2.3 Analisa Perbedaan Elektroda Terhadap Distribusi Kekerasan

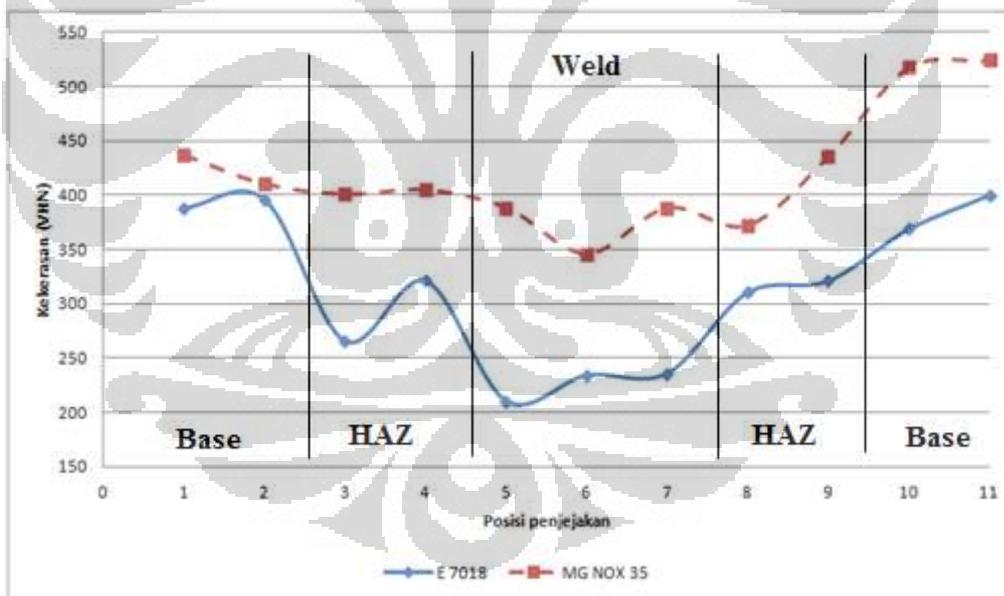
Pengelasan pelat menggunakan elektroda MG NOX 35 memiliki perbedaan *trend* nilai kekerasan dengan pelat yang menggunakan elektroda E 7018. Pada penggunaan elektroda MG NOX 35 ini, semakin tinggi temperatur *preheat* yang diberikan maka semakin tinggi pula kekerasan yang didapatkan pada daerah kampuh las.



**Gambar 4. 10** Distribusi Kekerasan Sampel dengan Elektroda E 7018 dan MG NOX 35; Tanpa *Preheat*



**Gambar 4.11** Distribusi Kekerasan Sampel dengan Elektroda E 7018 dan MG NOX 35; *Preheat* 150°C



**Gambar 4.12** Distribusi Kekerasan Sampel dengan Elektroda E 7018 dan MG NOX 35; *Preheat* 250°C

**Gambar 4.10**, **Gambar 4.11**, dan **Gambar 4.12** menunjukkan perbandingan distribusi kekerasan untuk masing-masing perlakuan *preheat* dengan variabel perbedaan elektroda. Dari grafik nilai kekerasan tersebut secara

umum menunjukkan bahwa elektroda MG NOX 35 memberikan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan elektroda E 7018. Hal tersebut secara signifikan terlihat pada daerah kempuh las dimana untuk elektroda MG NOX 35 nilai kekerasan daerah kempuh las semakin meningkat seiring dengan besarnya temperatur *preheat* yang diberikan. Pada kempuh las sampel dengan elektroda E 7018 mengalami hal yang sebaliknya.

MG NOX 35 merupakan elektroda yang memiliki ekuivalensi dengan elektroda E 307 yang merupakan *austenitic stainless steel*. *Austenitic stainless steel* merupakan salah satu *stainless steel* dengan ciri kandungan krom yang tinggi yaitu sebesar 18%. Krom merupakan salah satu elemen pembentuk karbida dimana dengan kehadiran karbida pada logam paduan maka akan meningkatkan nilai kekerasan dari paduan tersebut [2]. Laju pendinginan yang terjadi pada kempuh las juga memberikan pengaruh terhadap terbentuknya karbida. Adanya *preheat* yang diberikan menyebabkan kecilnya laju pendinginan yang terjadi dimana dengan keadaan ini memberikan banyak waktu untuk terbentuknya karbida pada daerah lasan.

Elektroda E 7018 merupakan elektroda dengan dengan logam pengisi baja karbon. Dilihat dari komposisi kimia dari elektroda E 7018, adanya unsur-unsur pembentuk karbida dengan komposisi yang besar seperti pada *austenitic stainless steel* tidak ada. Keadaan inilah yang menyebabkan terjadinya perbedaan *trend* nilai kekerasan yang terjadi pada kedua jenis elektroda yang digunakan ini terutama pada kempuh las.

### 4.3 Data dan Analisa Kekuatan Tekuk

**Tabel 4. 6** Kekuatan Tekuk CREUSABRO<sup>®</sup>8000; Elektroda E 7018

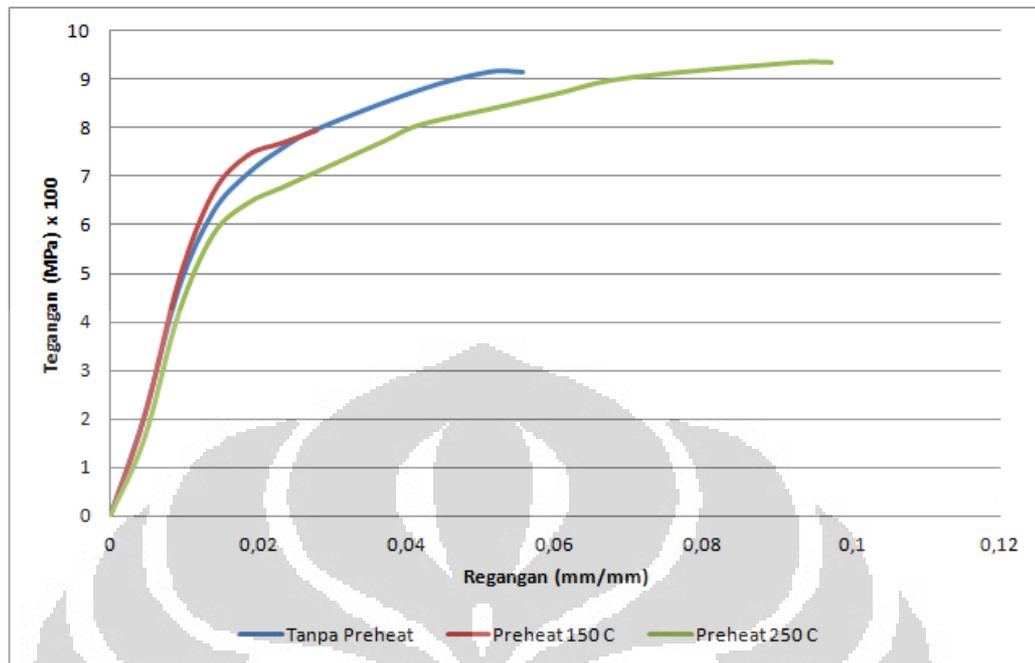
<i>Preheat</i>	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Beban Tekuk Maksimal (kg)	Sudut Perpatahan (derajat)
Tanpa <i>Preheat</i>	191,2	1750	50
150	194,96	1550	50
250	154,8	1450	60

**Tabel 4. 7** Kekuatan Tekuk CREUSABRO<sup>®</sup>8000; Elektroda MG NOX 35

<i>Preheat</i>	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Beban Tekuk Maksimal (kg)	Sudut Perpatahan (derajat)
Tanpa <i>Preheat</i>	162,8	300	0
150	152	1325	40
250	180,4	2225	40

Hasil pengujian tekuk dari pelat CREUSABRO<sup>®</sup>8000 ditunjukkan pada **Tabel 4.6** untuk pelat dengan elektroda E 7018 dan **Tabel 4.7** untuk pelat dengan elektroda MG NOX 35. Pengujian tekuk ini dilakukan pada bagian muka las (*face*) dimana memiliki tujuan untuk melihat perbandingan ketangguhan daerah lasan antara sampel tanpa *preheat*, *preheat* 150<sup>0</sup>C dan *preheat* 250<sup>0</sup>C masing-masing dengan elektroda E 7018 dan MG NOX 35. Hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 4.13 sampai 4.16. Perbandingan ketangguhan daerah lasan pada masing-masing sampel diperoleh dari tegangan dan regangan yang terjadi pada sampel hingga terjadi perpatahan. Nilai ketangguhan sampel juga dapat dilihat dari besarnya sudut perpatahan dari sampel dimana semakin besar sudut perpatahan maka ketangguhan sampel semakin tinggi.

### 4.3.1 Analisa Pengujian Tekuk Sampel dengan Elektroda E 7018



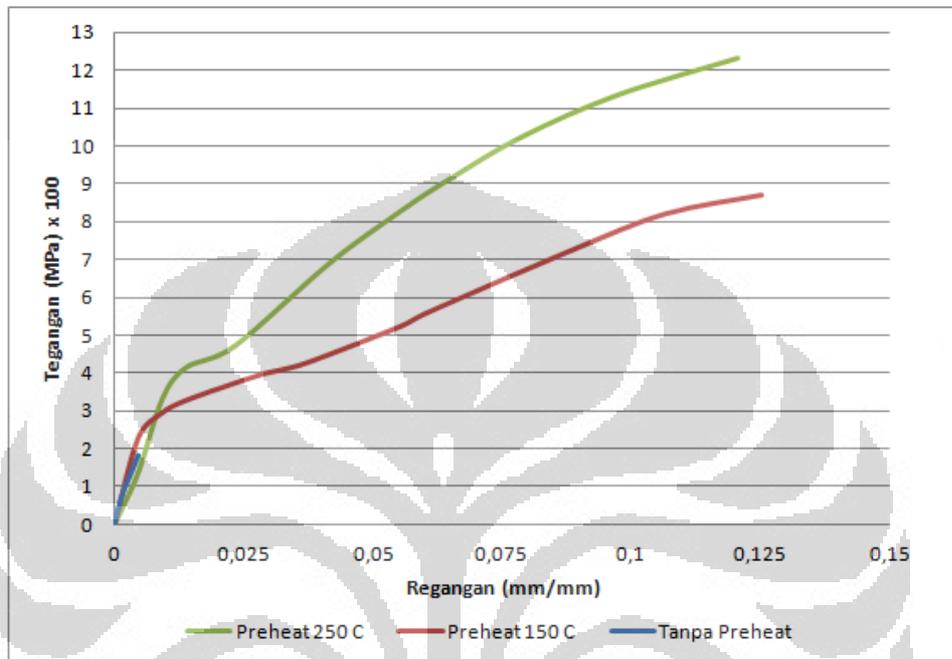
**Gambar 4. 13** Kurva Tegangan-Regangan CREUSABRO® 8000; Elektroda 7018

**Gambar 4.13** menunjukkan kurva tegangan-regangan dari pelat uji tekuk dengan elektroda E 7018. Nilai ketangguhan daerah lasan dapat dilihat dari besarnya daerah dibawah kurva tegangan-regangan pada masing-masing sampel. Berdasarkan besar daerah masing-masing, pelat dengan perlakuan *preheat* 250<sup>0</sup>C merupakan pelat dengan ketangguhan paling tinggi diikuti pelat tanpa *preheat* dan *preheat* 150<sup>0</sup>C.

Ketangguhan merupakan sifat material yang dapat didefinisikan sebagai kombinasi dari kekuatan dan keuletan dari material itu sendiri<sup>[1]</sup>. Hasil pengujian tekuk yang dilakukan pada pelat dengan elektroda E 7018 menunjukkan bahwa pelat dengan perlakuan *preheat* 250<sup>0</sup>C memiliki nilai ketangguhan yang paling tinggi. Disini berarti pada pelat dengan perlakuan *preheat* 250<sup>0</sup>C terdapat kombinasi sifat kekerasan dan keuletan yang lebih tinggi dibandingkan pelat dengan perlakuan lain. Adanya perlakuan *preheat* yang dilakukan pada pelat menjadi salah satu faktor dimana *preheat* yang dilakukan akan menurunkan laju pendinginan dari sampel dimana dengan semakin rendah laju pendinginan yang terjadi maka terbentuknya fasa-fasa getas pada daerah lasan semakin dapat

dihindari. Ketidakhadiran fasa yang getas pada daerah lasan memberikan pengaruh pada keuletan dari daerah lasan itu sendiri.

#### 4.3.1 Analisa Pengujian Tekuk Sampel dengan Elektroda MG NOX 35

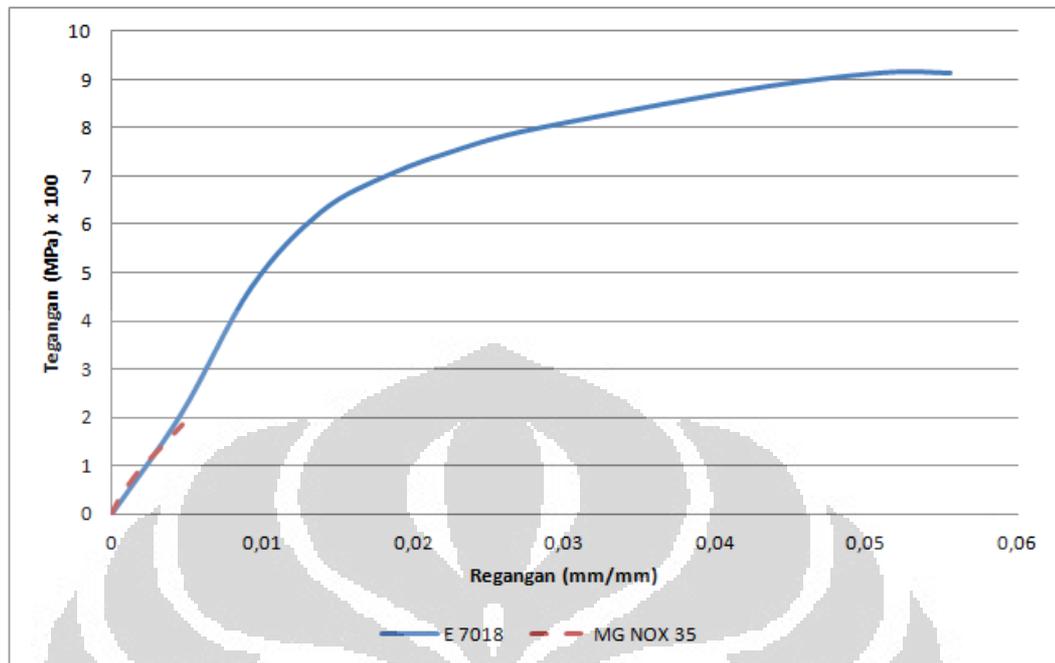


**Gambar 4.14** Kurva Tegangan-Regangan CREUSABRO® 8000; Elektroda MG NOX 35

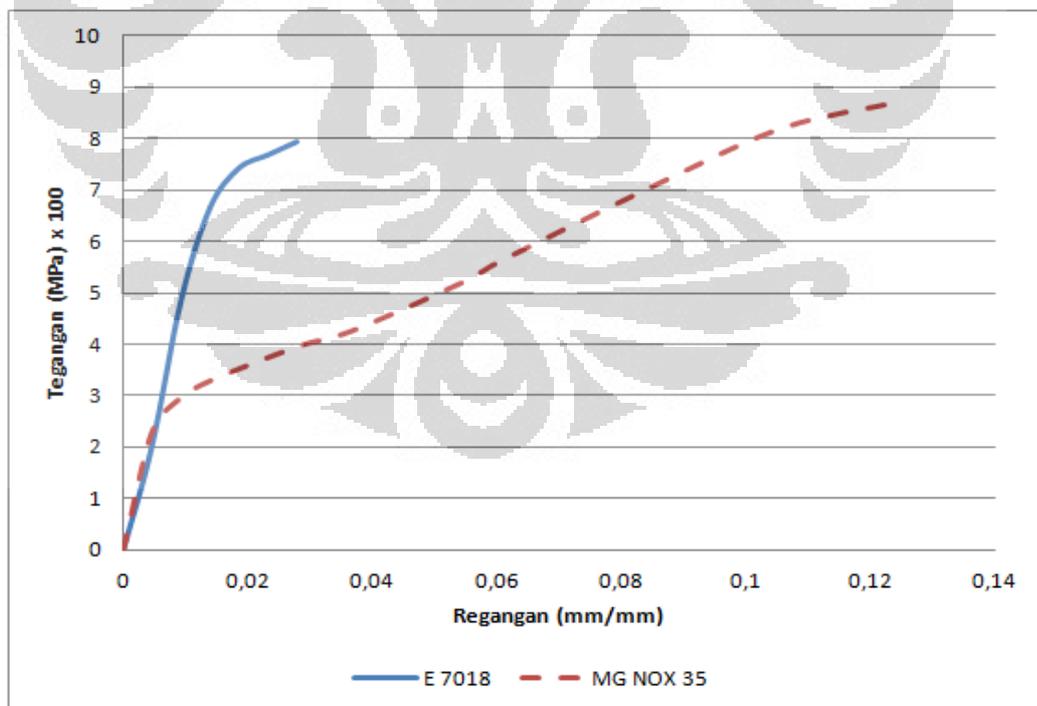
**Gambar 4.14** menunjukkan nilai ketangguhan pada pelat yang menggunakan elektroda MG NOX 35. Berdasarkan luas daerah dibawah kurva tegangan-regangan dari masing-masing pelat, pelat dengan perlakuan *preheat* 250°C memiliki ketangguhan daerah lasan paling tinggi diikuti pelat *preheat* 150°C dan tanpa *preheat*.

Hasil yang didapatkan pada sampel dengan elektroda MG NOX 35 ini memiliki kecenderungan yang hampir sama dengan sampel dengan elektroda E 7018 dimana sampel dengan nilai ketangguhan paling tinggi adalah sampel dengan perlakuan *preheat* 250°C. Adanya perlakuan *preheat* akan menurunkan laju pendinginan yang terjadi pada daerah lasan dimana munculnya fasa-fasa yang keras dan getas dapat dihindari.

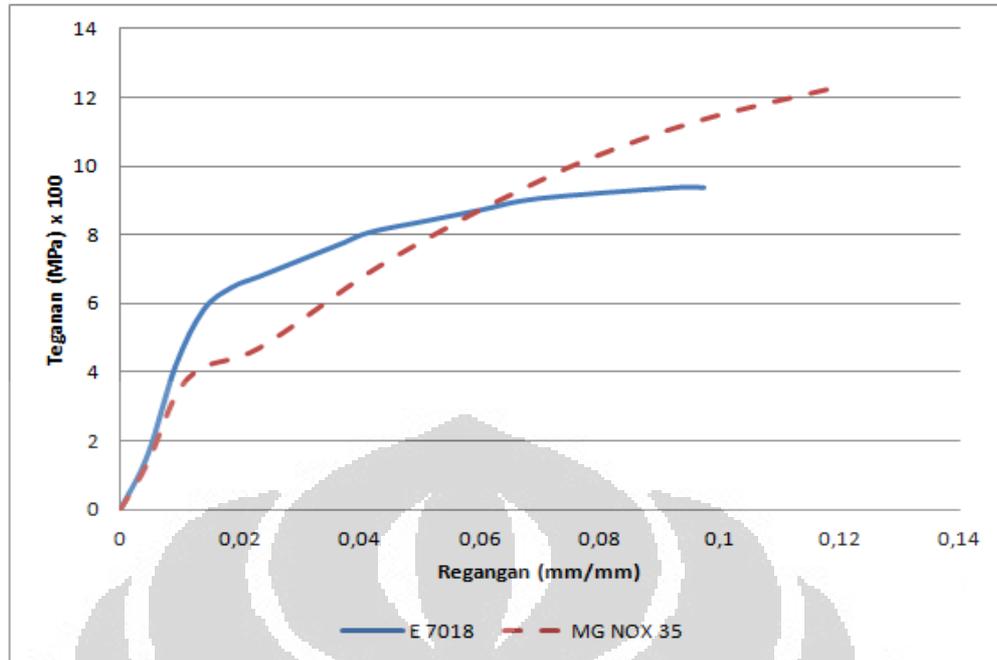
#### 4.2.3 Analisa Perbedaan Elektroda Terhadap Pengujian Tekuk



Gambar 4.15 Kurva Tegangan-Regangan CREUSABRO® 8000; Tanpa *Preheat*



Gambar 4.16 Kurva Tegangan-Regangan CREUSABRO® 8000; *Preheat* 150°C



**Gambar 4.17** Kurva Tegangan-Regangan CREUSABRO® 8000; *Preheat* 250<sup>0</sup>C

**Gambar 4.15**, **Gambar 4.16**, dan **Gambar 4.17** menunjukkan perbandingan ketangguhan daerah lasan antara sampel las dengan elektroda E 7018 dan MG NOX 35 untuk masing-masing perlakuan *preheat*. Pada sampel tanpa perlakuan *preheat*, sampel dengan elektroda E 7018 memiliki nilai ketangguhan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan sampel dengan elektroda MG NOX 35 dimana terlihat dengan perbedaan besar daerah dibawah kurva tegangan-regangan. Dilihat dari beban maksimum yang dapat ditanggung oleh kedua sampel ini juga terdapat perbedaan yang signifikan dimana pada sampel dengan elektroda E 7018 memiliki tegangan maksimal sebesar 915 MPa dengan sudut perpatahan 50<sup>0</sup>. Pada sampel dengan elektroda MG NOX 35 memiliki tegangan maksimal sebesar 184 MPa dengan sudut perpatahan 0<sup>0</sup>.

Hasil pengujian tekuk pada sampel dengan *preheat* 150<sup>0</sup>C menunjukkan bahwa sampel dengan elektroda MG NOX 35 memiliki ketangguhan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel dengan elektroda E 7018. Sampel las dengan elektroda MG NOX 35 memiliki nilai tegangan maksimal sebesar 871 MPa dengan sudut perpatahan 40<sup>0</sup>. Pada sampel las dengan elektroda E 7018, tegangan maksimal yang dapat ditanggung oleh sampel sebesar 795 MPa dengan sudut

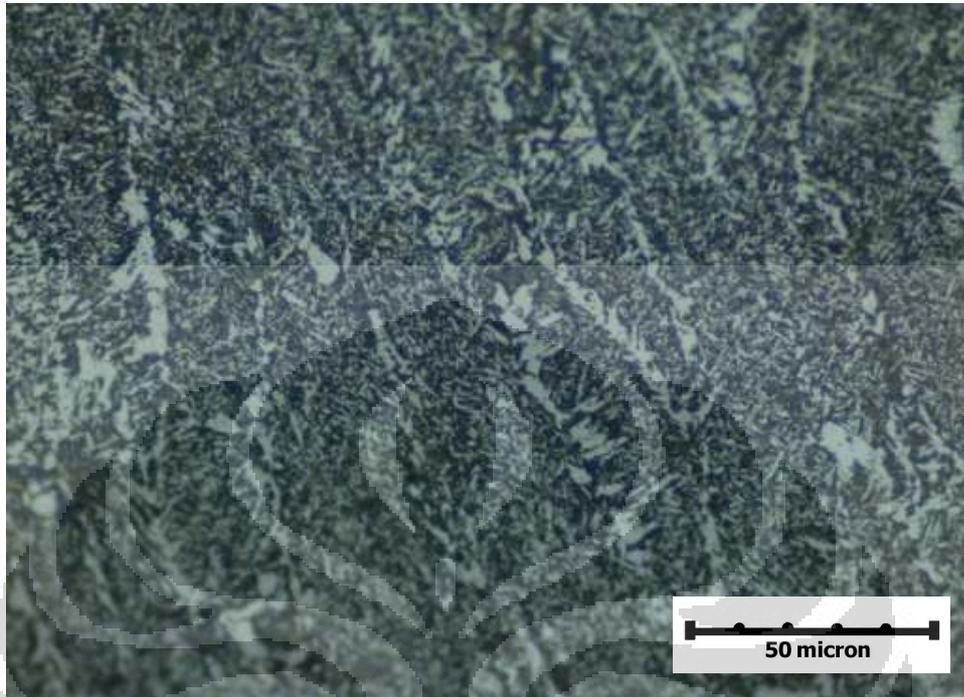
perpatahan  $50^{\circ}$ . Pada sampel dengan *preheat*  $250^{\circ}\text{C}$  juga menunjukkan hasil pengujian yang sama dengan sampel *preheat*  $150^{\circ}\text{C}$  dimana sampel las dengan elektroda MG NOX 35 memiliki nilai ketangguhan yang lebih tinggi dibandingkan sampel las dengan elektroda E 7018. Tegangan maksimum yang dapat diterima oleh sampel las dengan elektroda MG NOX 35 sebesar 1233 MPa dengan sudut perpatahan  $40^{\circ}$ . Pada sampel las dengan elektroda E 7018 hanya dapat menanggung tegangan sebesar 937 MPa dengan sudut perpatahan  $50^{\circ}$ .

Komposisi kimia dari elektroda MG NOX 35 memberikan pengaruh terhadap nilai ketangguhan pada daerah lasan. Kandungan nikel dengan prosentase yang tinggi yaitu sekitar 8 % memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ketangguhan daerah lasan. Adanya elemen-elemen pembentuk karbida juga memberi pengaruh terhadap nilai ketangguhan yang didapatkan. Keberadaan karbida pada suatu paduan dapat menekan terjadinya pertumbuhan butir dengan cara menghalangi pergerakan batas butir [2]. Dengan ini maka terbentuknya butir kasar (*coarse grain*) selama proses pembekuan daerah lasan dapat diminimalisir. Hal inilah yang menyebabkan perbedaan nilai ketangguhan pada penggunaan elektroda MG NOX 35 dan E 7018.

#### 4.4 Data dan Analisa Mikrostruktur

Pengamatan mikrostruktur dilakukan pada daerah logam dasar, HAZ (*Heat Affected Zone*), dan kampuh las. Foto mikro diambil dengan perbesaran 500 kali. Untuk sampel pengelasan dengan elektroda E 7018, etsa yang digunakan pada ketiga daerah yang diamati adalah nital 2% dengan waktu etsa antara 7-15 detik. Sedangkan pada sampel pengelasan dengan elektroda MG NOX 35, etsa yang digunakan sedikit berbeda. Untuk daerah logam dasar dan HAZ (*Heat Affected Zone*) menggunakan etsa nital 2% seperti pada sampel dengan elektroda E 7018. Untuk daerah kampuh las digunakan elektroetsa menggunakan larutan asam oksalat. Pada kampuh las sampel dengan elektroda MG NOX 35 menggunakan elektroetsa karena logam pengisi pada elektroda tersebut adalah *austenitic stainless steel* dimana apabila menggunakan nital 2% maka proses korosi terkontrol larutan etsa tidak terjadi.

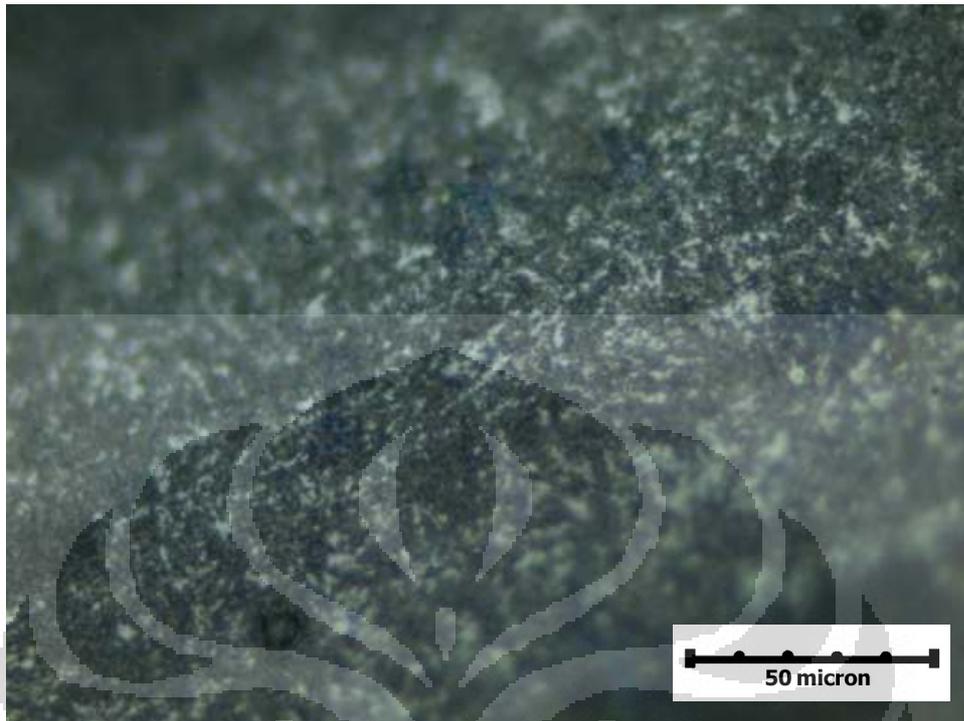
#### 4.4.1 Data dan Analisa Mikrostruktur Logam Dasar Sampel Elektroda E 7018



**Gambar 4. 18** Mikrostruktur Logam Dasar Sampel Tanpa *Preheat* ;E 7018



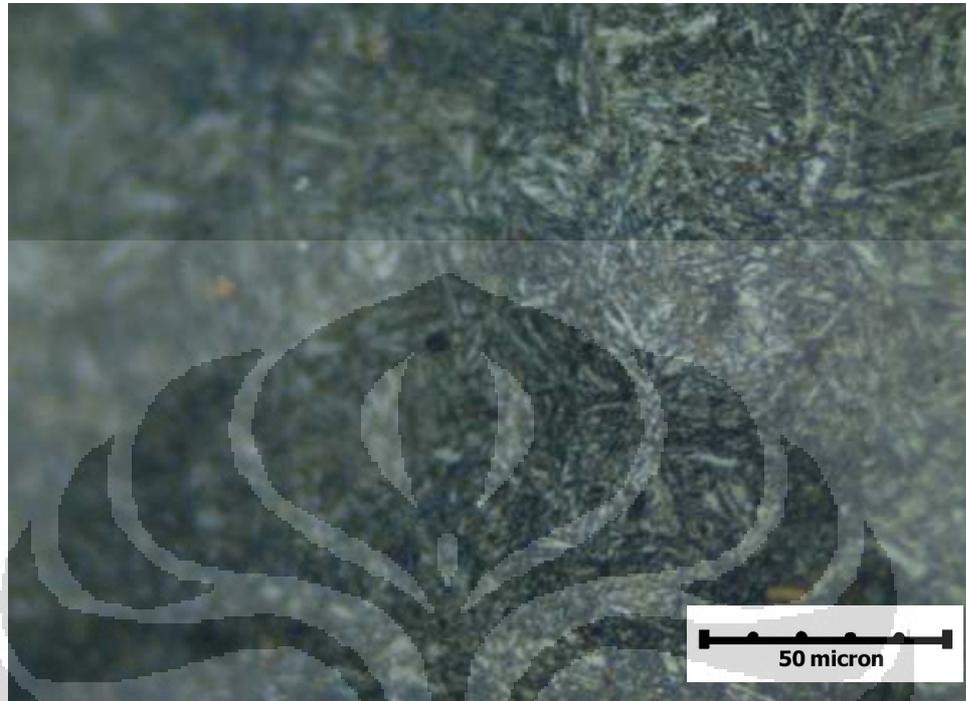
**Gambar 4. 19** Mikrostruktur Logam Dasar Sampel *Preheat* 150°C; E 7018



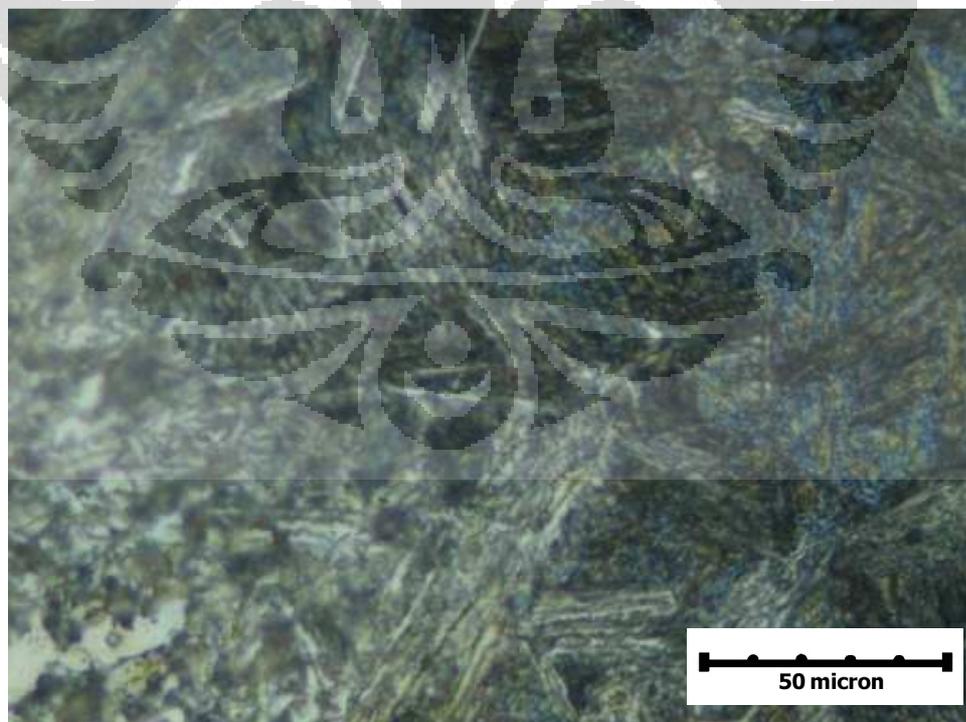
**Gambar 4. 20** Mikrostruktur Logam Dasar Sampel *Preheat* 250<sup>0</sup>C;E 7018

Mikrostruktur dari logam dasar sampel pengelasan dengan elektroda E 7018 ditunjukkan pada **Gambar 4.18**, **Gambar 4.19**, dan **Gambar 4.20**. Dilihat dari hasil foto mikro dari ketiga sampel logam dasar tersebut, secara umum memiliki fasa *acicular ferrite* dan *pearlite*. Fasa *acicular ferrite* memiliki warna terang dengan bentuk yang tidak beraturan. Sementara, fasa *pearlite* memiliki ciri warna yang gelap.

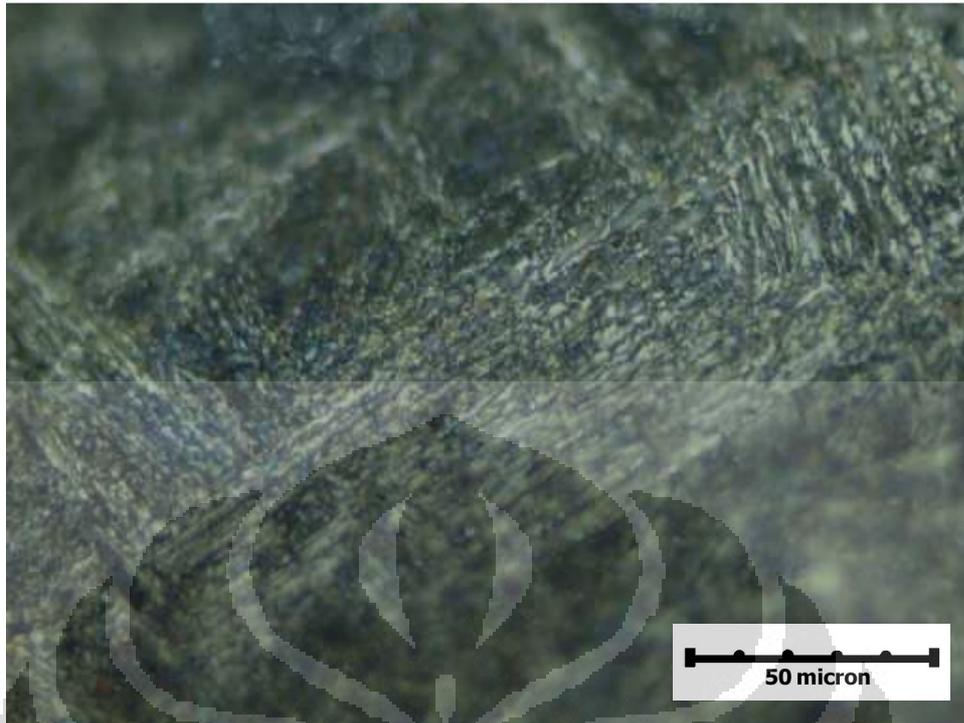
#### 4.4.2 Data dan Analisa Mikrostruktur HAZ Sampel Elektroda E 7018



**Gambar 4. 21** Mikrostruktur HAZ Sampel Tanpa *Preheat* ;E 7018



**Gambar 4. 22** Mikrostruktur HAZ Sampel *Preheat* 150°C; E 7018

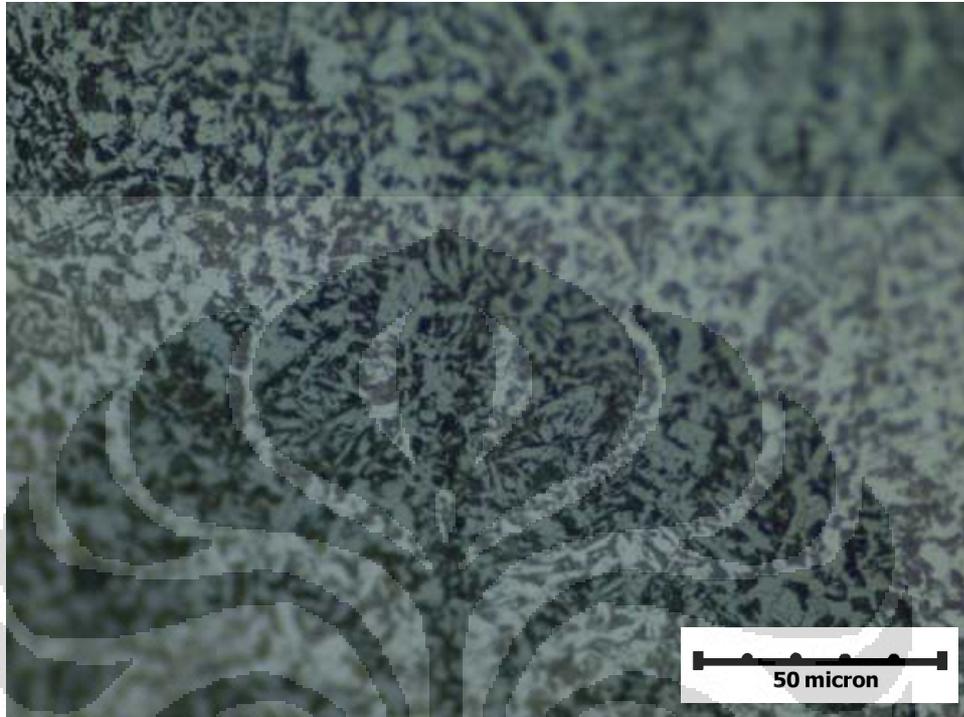


**Gambar 4. 23** Mikrostruktur HAZ Sampel *Preheat* 250<sup>0</sup>C; E 7018

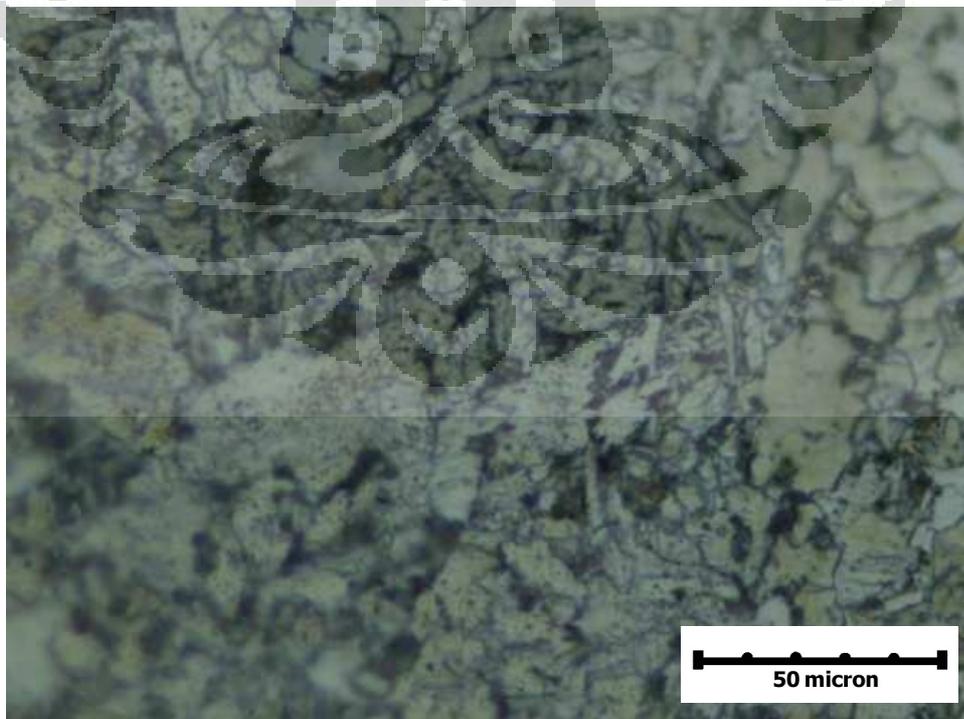
Mikrostruktur dari logam dasar sampel pengelasan dengan elektroda E 7018 ditunjukkan pada **Gambar 4.21**, **Gambar 4.22**, dan **Gambar 4.23**. Dilihat dari hasil foto mikro dari ketiga sampel logam dasar tersebut, secara umum memiliki fasa yang sama dengan fasa di logam dasar yaitu *ferrite* dan *pearlite*. Fasa *ferrite* yang terlihat pada daerah HAZ ini memiliki bentuk yang berbeda dengan *ferrite* yang ada di logam dasar dimana bentuknya cenderung pipih.

Pada suatu proses pengelasan sebenarnya daerah HAZ terbagi menjadi 2 bagian yaitu HAZ halus dan HAZ kasar. Dilihat dari foto mikro yang didapatkan, daerah HAZ yang diamati adalah daerah HAZ halus. Adanya perlakuan *preheat* yang diberikan pada masing-masing sampel memberikan pengaruh terhadap struktur yang terbentuk pada daerah HAZ. Pada ketiga sampel HAZ diatas, adanya perlakuan *preheat* dengan temperatur yang semakin tinggi ternyata memberikan struktur yang lebih besar dan kasar. Hal ini terkait dengan perbedaan laju pendinginan dari masing-masing sampel dimana dengan semakin kecil laju pendinginan yang terjadi menyebabkan terjadinya pertumbuhan pada butir dari sampel.

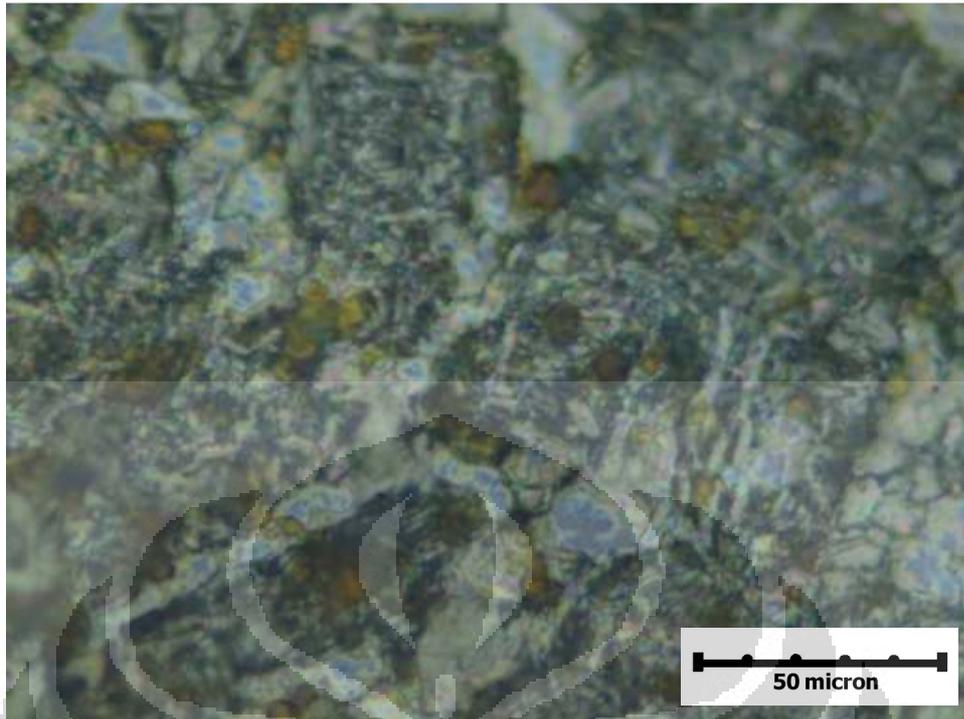
#### 4.4.3 Data dan Analisa Mikrostruktur Kampuh Las Sampel Elektroda E 7018



**Gambar 4. 24** Mikrostruktur Kampuh Las Sampel Tanpa *Preheat*; E 7018



**Gambar 4. 25** Mikrostruktur Kampuh Las Sampel *Preheat* 150°C; E 7018

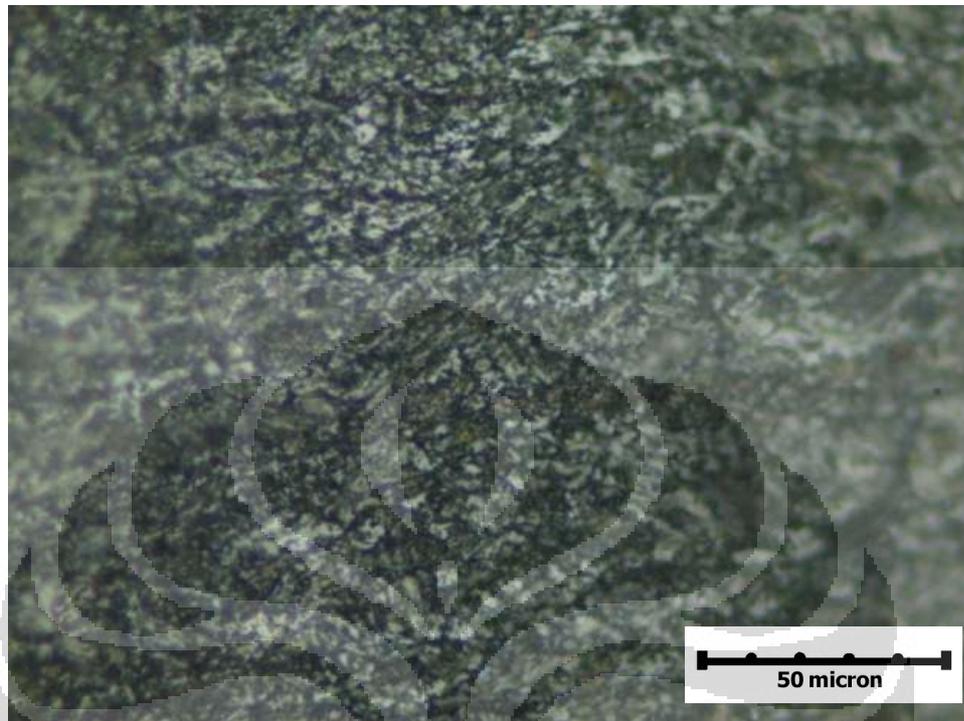


**Gambar 4. 26** Mikrostruktur Kampuh Las Sampel *Preheat* 250<sup>0</sup>C; E 7018

Mikrostruktur dari logam dasar sampel pengelasan dengan elektroda E 7018 ditunjukkan pada **Gambar 4.24**, **Gambar 4.25**, dan **Gambar 4.26**. Dilihat dari hasil foto mikro dari ketiga sampel logam dasar tersebut, secara umum memiliki fasa *acicular ferrite* dan *pearlite*.

Sampel dengan perlakuan *preheat* memiliki struktur yang cenderung lebih besar dan kasar dibandingkan sampel tanpa *preheat*. Seperti halnya yang terjadi pada daerah HAZ, adanya perbedaan laju pendinginan memberikan pengaruh terhadap struktur dari sampel dengan perlakuan *preheat*.

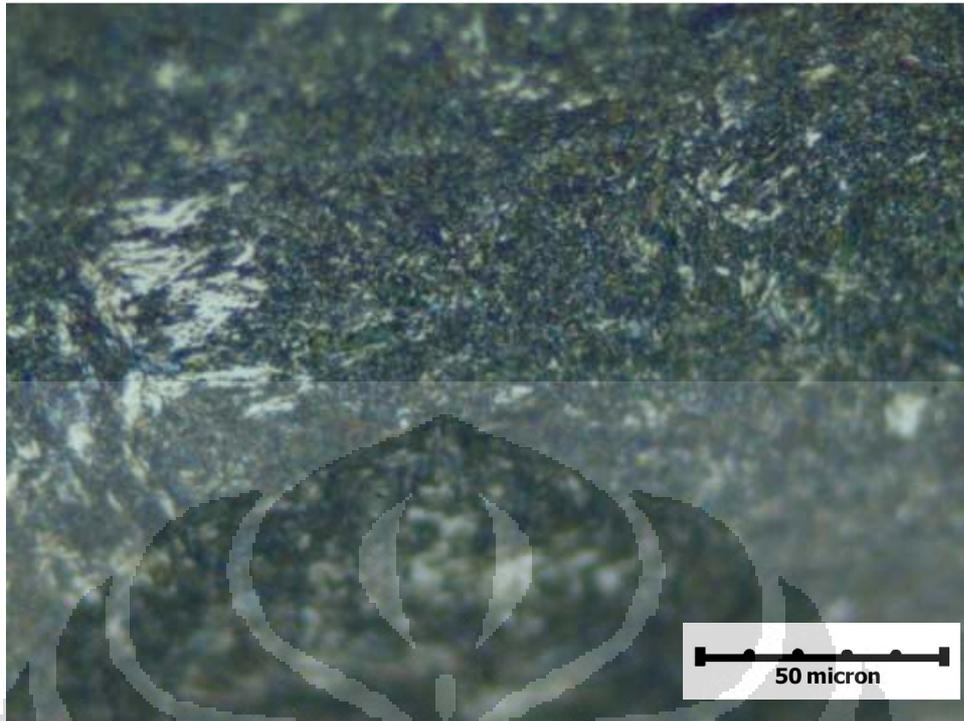
#### 4.4.4 Data dan Analisa Mikrostruktur Logam Dasar Sampel Elektroda MG NOX 35



**Gambar 4. 27** Mikrostruktur Logam Dasar Sampel Tanpa *Preheat* ; MG NOX 35



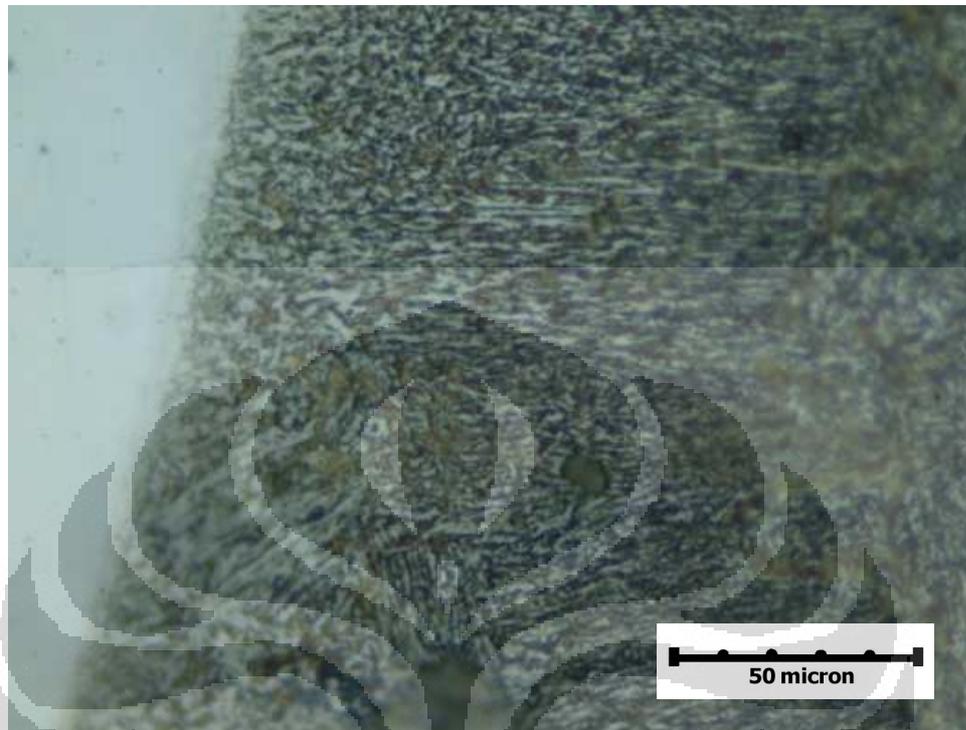
**Gambar 4. 28** Mikrostruktur Logam Dasar Sampel *Preheat* 150<sup>0</sup>C; MG NOX 35



**Gambar 4. 29** Mikrostruktur Logam Dasar Sampel *Preheat* 250<sup>0</sup>C; MG NOX 35

Mikrostruktur dari logam dasar sampel pengelasan dengan elektroda MG NOX 35 ditunjukkan pada **Gambar 4.27**, **Gambar 4.28**, dan **Gambar 4.29**. Dilihat dari hasil foto mikro dari ketiga sampel logam dasar tersebut, secara umum memiliki fasa *acicular ferrite* dan *pearlite*. Fasa yang terlihat pada logam dasar sampel pengelasan dengan elektroda MG NOX 35 ini secara umum sama seperti fasa yang terlihat pada sampel pengelasan dengan elektroda E 7018.

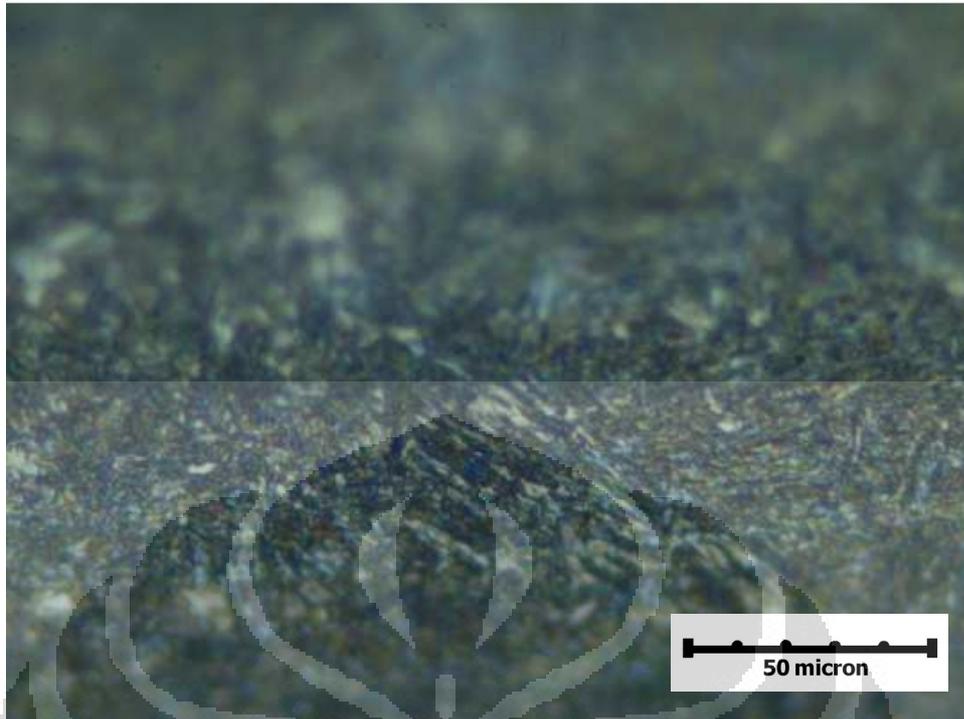
#### 4.4.5 Data dan Analisa Mikrostruktur HAZ Sampel Elektroda MG NOX 35



**Gambar 4. 30** Mikrostruktur HAZ Sampel Tanpa *Preheat*; MG NOX 35



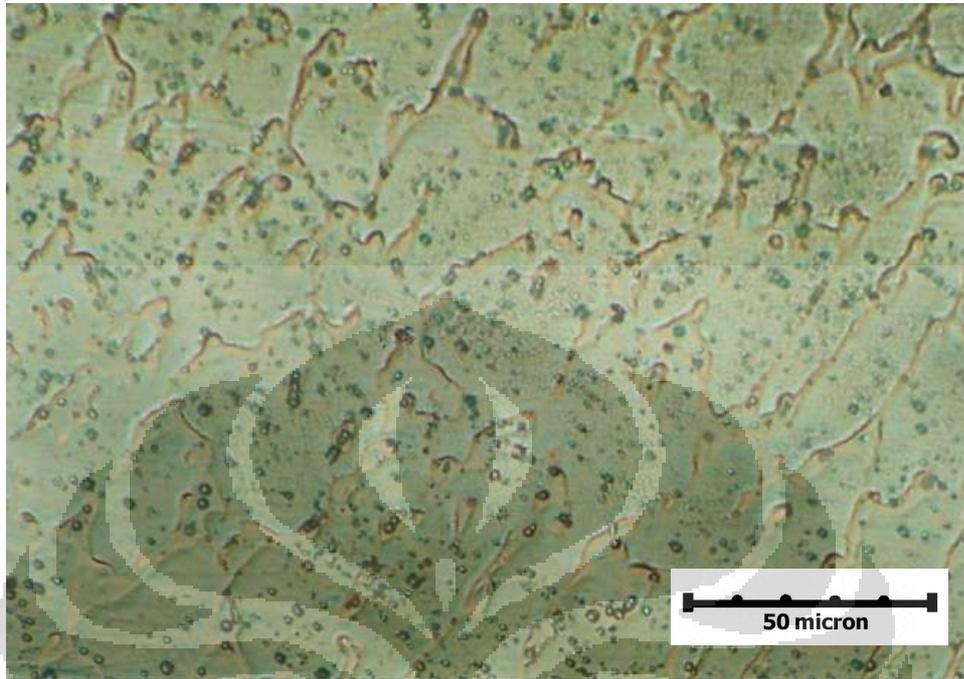
**Gambar 4. 31** Mikrostruktur HAZ Sampel *Preheat* 150°C; MG NOX 35



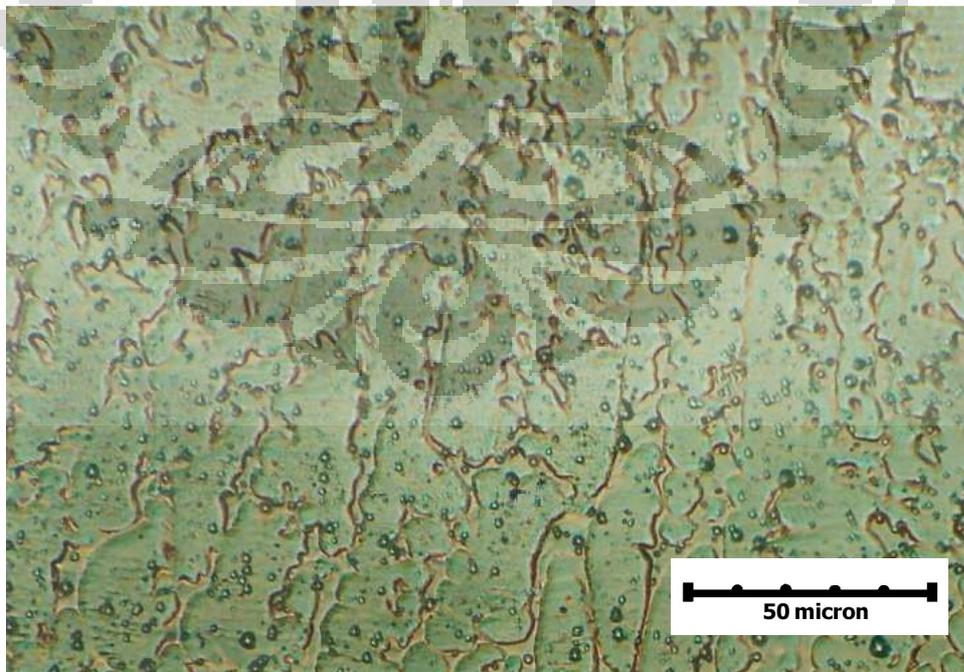
**Gambar 4. 32** Mikrostruktur HAZ Sampel *Preheat* 250<sup>0</sup>C; MG NOX 35

Mikrostruktur dari logam dasar sampel pengelasan dengan elektroda MG NOX 35 ditunjukkan pada **Gambar 4.30**, **Gambar 4.31**, dan **Gambar 4.32**. Dilihat dari hasil foto mikro dari ketiga sampel logam dasar tersebut, secara umum memiliki fasa yang sama dengan fasa di logam dasar yaitu *ferrite* dan *pearlite*. Fasa *ferrite* yang terlihat pada daerah HAZ ini memiliki bentuk yang berbeda dengan *ferrite* yang ada di logam dasar dimana bentuknya cenderung pipih. Struktur mikro pada sampel pengelasan dengan elektroda MG NOX 35 ini tidak jauh berbeda dengan sampel pengelasan dengan elektroda E 7018.

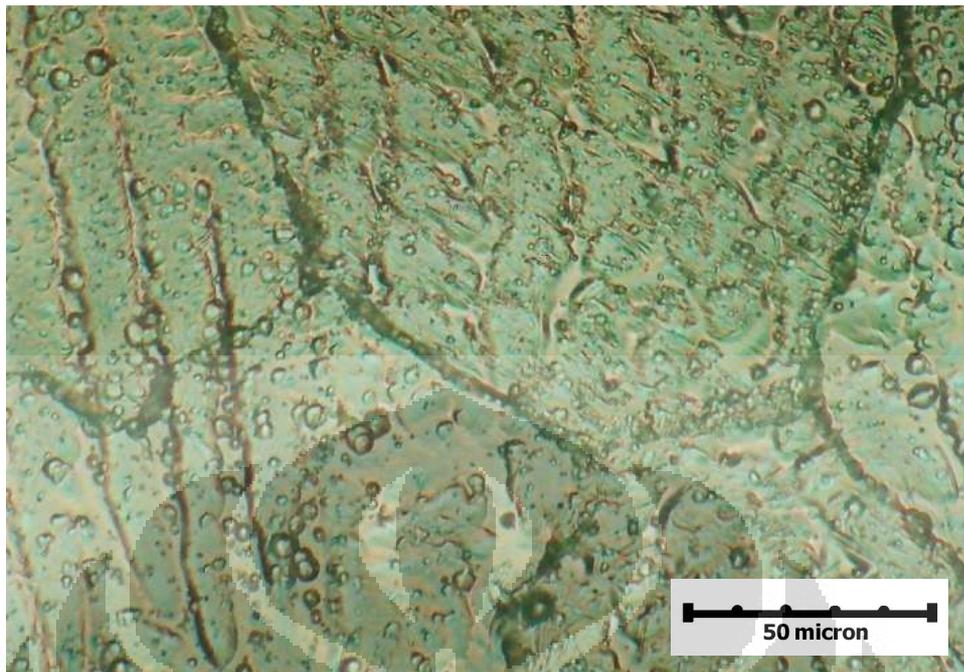
#### 4.4.6 Data dan Analisa Mikrostruktur Kampuh Las Sampel Elektroda MG NOX 35



**Gambar 4. 33** Mikrostruktur Kampuh Las Sampel Tanpa *Preheat*; MG NOX 35



**Gambar 4. 34** Mikrostruktur Kampuh Las Sampel *Preheat* 150<sup>0</sup>C; MG NOX 35



**Gambar 4.35** Mikrostruktur Kampuh Las Sampel *Preheat* 250<sup>0</sup>C; MG NOX 35

Mikrostruktur kampuh las sampel dengan elektroda MG NOX 35 pada berbagai temperatur *preheat* dapat dilihat pada **Gambar 4.33**, **Gambar 4.34** dan **Gambar 4.35**. Secara umum struktur mikro yang terlihat adalah *austenite*. Pada struktur mikro dari kampuh las terlihat adanya karbida yang tersebar berwarna putih bulat. Perbedaan dari ketiga sampel terlihat pada banyaknya karbida pada matrik. Semakin tinggi temperatur *preheat* yang diberikan, jumlah karbida yang terlihat semakin banyak. Laju pendinginan yang lambat pada sampel *preheat* memungkinkan semakin banyaknya karbida yang terbentuk.

## BAB 5

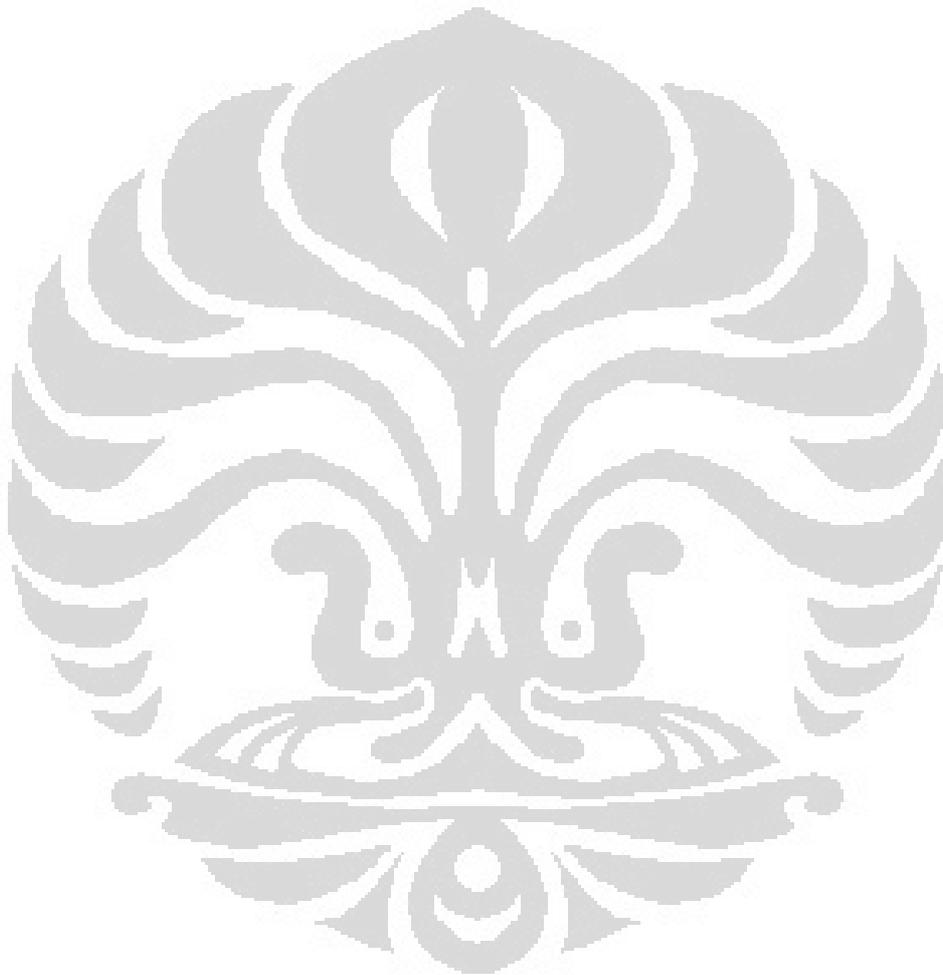
### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Perlakuan *preheat* memberikan pengaruh terhadap ketahanan retak dan sifat mekanis baja tahan aus CREUSABRO<sup>®</sup> 8000. Pelat tanpa perlakuan *preheat* dengan elektroda E 7018 terjadi 2 buah retak dingin dengan ukuran 5-10 mm, pelat dengan perlakuan *preheat* 150<sup>0</sup>C dan 250<sup>0</sup>C tidak terdapat retak dingin. Pelat dengan elektroda MG NOX 35 tidak terjadi retak dingin pada tiap sampel.
2. Elektroda MG NOX 35 yang memiliki kandungan nikel dan unsur pembentuk karbida tinggi memberikan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan elektroda E 7018.
3. Perlakuan *preheat* dan penggunaan kawat las E 7018 memberikan nilai kekerasan kempuh las yang menurun dengan meningkatnya temperatur *preheat*. Nilai kekerasan rata-rata kempuh las sampel tanpa *preheat* adalah 273 VHN, sampel *preheat* 150<sup>0</sup>C sebesar 267 VHN, dan sampel *preheat* 250<sup>0</sup>C sebesar 226 VHN.
4. Perlakuan *preheat* dan penggunaan kawat las MG NOX 35 memberikan nilai kekerasan kempuh las yang meningkat dengan meningkatnya temperatur *preheat*. Nilai kekerasan rata-rata kempuh las sampel tanpa *preheat* adalah 275 VHN, sampel *preheat* 150<sup>0</sup>C sebesar 319 VHN, dan sampel *preheat* 250<sup>0</sup>C sebesar 374 VHN.
5. Urutan nilai keuletan dari yang tertinggi pada sampel dengan elektroda E 7018 adalah sampel *preheat* 250<sup>0</sup>C dengan sudut perpatahan 60<sup>0</sup> diikuti, sampel tanpa *preheat* dengan sudut perpatahan 50<sup>0</sup>, dan sampel *preheat* 150<sup>0</sup>C dengan sudut perpatahan 50<sup>0</sup>.

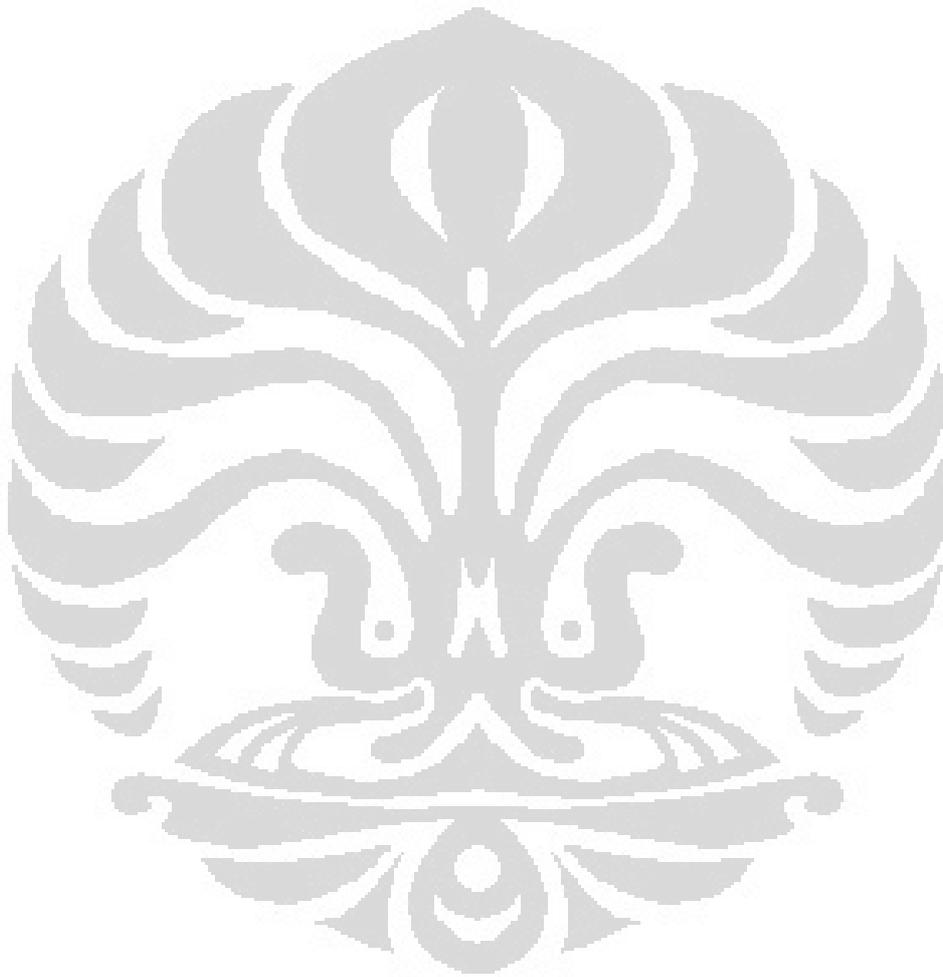
6. Urutan nilai keuletan dari yang tertinggi pada sampel dengan elektroda MG NOX 35 adalah sampel *preheat* 250<sup>0</sup>C dengan sudut perpatahan 40<sup>0</sup> diikuti sampel *preheat* 150<sup>0</sup>C dengan sudut perpatahan 50<sup>0</sup>, dan sampel tanpa *preheat* dengan sudut perpatahan 0<sup>0</sup>



## DAFTAR REFERENSI

- [1]. ASM Handbook Volume 6 : *Welding, Brazing, and Soldering*. ASM International.
- [2]. Sindo Kou, 2002. *Welding Metallurgy 2nd ed.* A Wiley-Interscience publication.
- [3]. Artikel “ *What The Welding Inspector Should Know About Preheating and Postweld Heat Treatment* ”. Diakses 14 November 2011.
- [4]. Kenneth Easterling, 1992. *Introduction to the Physical Metallurgy of Welding, 2nd Edition*. Butterworth Heinemann Limited
- [5]. N. Bailey, F.R. Coe, T.G. Gooch, P.H.M Hart, N. Jenkins, R.J. Pargeter, 1993. *Welding Steels Without Hydrogen Cracking, 2<sup>nd</sup> Ed.* Abington Publishing, England
- [6]. K. Satoh, S. Matsui, and K. Horikawa, 1973. *JSSC Guidance Report on Determination of Safe Preheating Conditions without Weld Cracks in Steel Structures, Transactions of JWRI, Vol. 2.*
- [7]. Kenneth Easterling, *Introduction to the Physical Metallurgy of Welding, 2nd Edition*, Butterworth Heinemann Limited (1992)
- [8]. N. Bailey, F.R. Coe, T.G. Gooch, P.H.M Hart, N. Jenkins, R.J. Pargeter, 1993. *Welding Steels Without Hydrogen Cracking, 2<sup>nd</sup> Ed.*, Abington Publishing, England
- [9]. J. Cwiek, *Hydrogen degradation of high strength weldable steels*, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 20 (2007) pp.223-226.
- [10]. H. Wiryosumarto dan T. Okura .*Teknologi Pengelasan Logam*, 2004. P.T Pradnya Paramita, Jakarta
- [11]. Brosur material dari PT Tita Austenite, Tbk
- [12]. ASM Handbook Volume 10 : *Material Characterization*. ASM International.

- [13]. ASM Handbook Volume 8 : *Mechanical Testing and Evaluation*. ASM International.



## LAMPIRAN

### Lampiran 1. *Welding Procedure Spesification*

<b>Jenis Material : CREUSABRO® 8000</b> <b>Pengelasan : SMAW (Manual)</b> <b>Posisi : Flat (1G)</b> <b>Polaritas : DCEP</b>	<p>The diagram illustrates a V-groove joint for manual arc welding. It shows two plates of 8 mm thickness being joined. The root opening is 3 mm. The bevel angle is 60 degrees. The root face is 3 mm wide. The diagram is labeled with '60°', '3mm', and '8 mm'.</p>	
<b>Tebal Pelat (mm)</b>	8 mm	
<b>Jenis Elektroda</b>	E 7018	MG NOX 35
<b>Diameter Elektroda (mm)</b>	3.2	3.2
<b>Besar Arus (ampere)</b>	110-120 ( <i>filler &amp; cap</i> ) 85-95 ( <i>root</i> )	110-120 ( <i>filler &amp; cap</i> ) 85-95 ( <i>root</i> )
<b>Voltase (volt)</b>	20-25	20-15
<b>Travel Speed ( mm/ min)</b>	75-85	75-85
<b>Preheat (°C)</b>	-	-
	150	150
	250	250

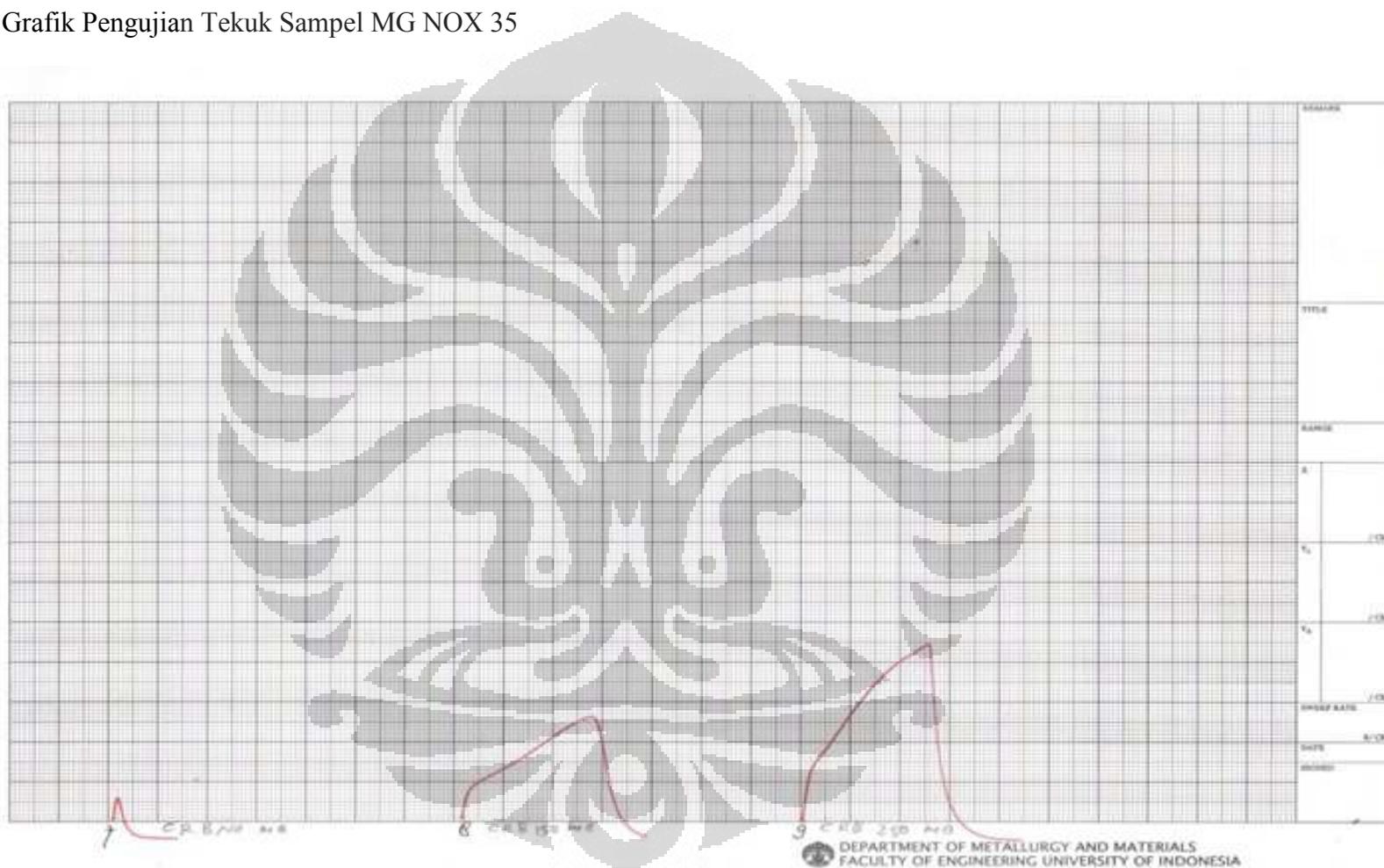
Lampiran 2. Hasil Pengujian Tekuk

		FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA LABORATORIUM UJI DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax: 021 – 7872350 E-mail : <a href="mailto:lap@metal.ui.ac.id">lap@metal.ui.ac.id</a>				Lembar Data Pengujian Tekuk (Bending Testing Data Sheet)	
Mesin Uji	SHIMADZU	No. Kontrol		Tanggal Uji :			
Bahan	BASA	Teknisi Penguji : NURBINI		Pekerja Teknis :			
Identitas Bahan	PLAT LAS	Spesifikasi Bahan Uji : 2-224B		Tanggal Bahan diterima :			
No	Kode Sampel	Bentuk Sampel	Dimensi Sampel (mm)	Luas penampang (mm <sup>2</sup> )	panjang (mm)	Beban tekuk maks. (kg)	Keterangan
7	CR8 NO 14B	<input type="checkbox"/> Bat <input checked="" type="checkbox"/> Plat	t <sub>2</sub> = 8,00 w = 20,35	162,80	54	300	0 PATAH
8	CR8 150 14B	<input type="checkbox"/> Bat <input checked="" type="checkbox"/> Plat	t <sub>2</sub> = 8,00 w = 19,00	152,00	54	1325	40 PATAH
9	CR8 250 14B	<input type="checkbox"/> Bat <input checked="" type="checkbox"/> Plat	t <sub>2</sub> = 8,00 w = 22,55	180,40	54	2225	40 PATAH
10	CR8 NO 101B	<input type="checkbox"/> Bat <input checked="" type="checkbox"/> Plat	t <sub>2</sub> = 8,00 w = 23,50	191,20	54	1850 1750	50 PATAH
11	CR8 150 101B	<input type="checkbox"/> Bat <input checked="" type="checkbox"/> Plat	t <sub>2</sub> = 8,00 w = 24,37	194,96	54	1850 1550	50 PATAH
12	CR8 250 101B	<input type="checkbox"/> Bat <input checked="" type="checkbox"/> Plat	t <sub>2</sub> = 8,00 w = 19,35	154,00	54	1450	60 PATAH
		<input type="checkbox"/> Bat <input type="checkbox"/> Plat					
		<input type="checkbox"/> Bat <input type="checkbox"/> Plat					

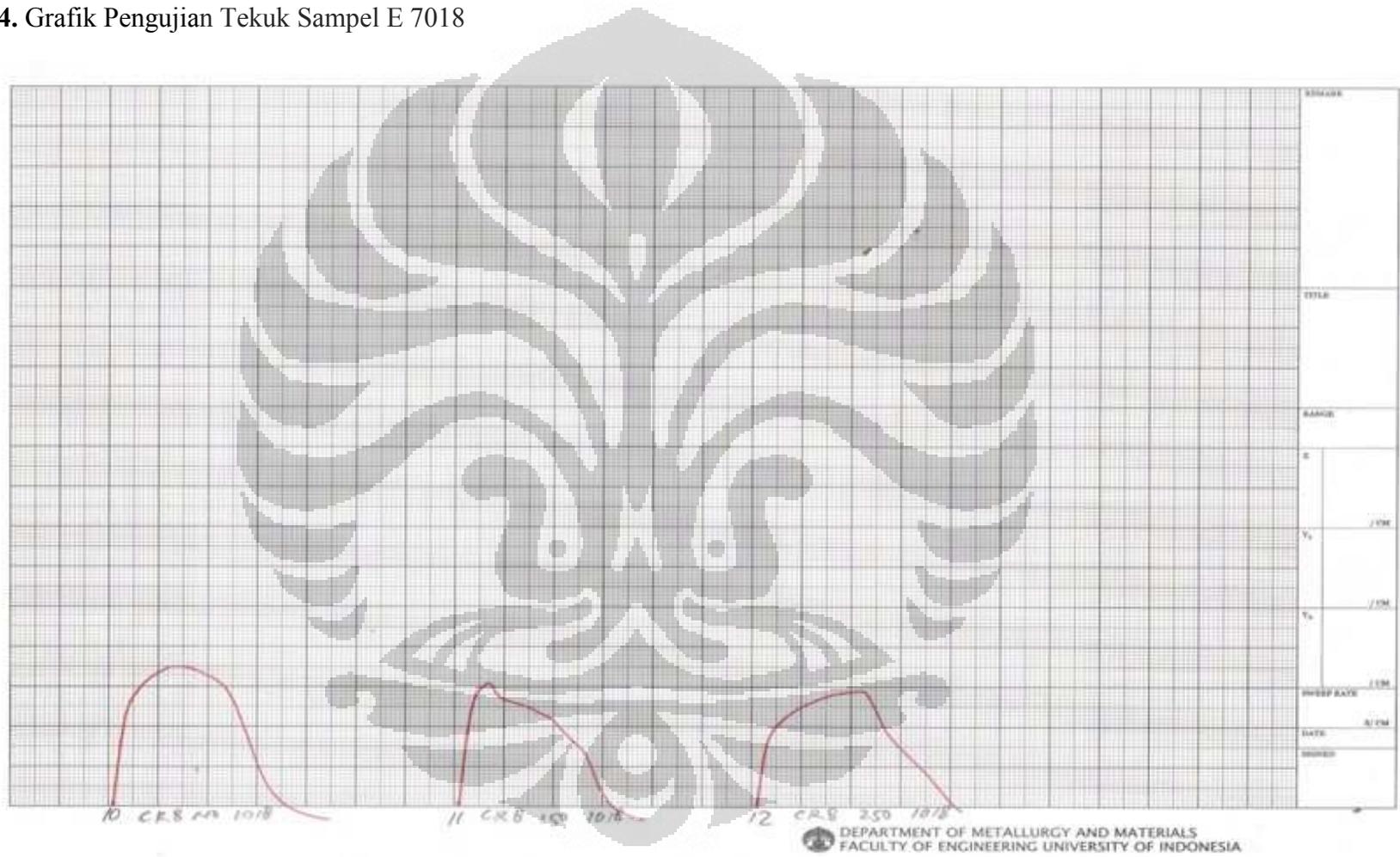
\* Coret yang tidak perlu

FF-27/ LU-OTMM Rev 2

Lampiran 3. Grafik Pengujian Tekuk Sampel MG NOX 35



**Lampiran 4. Grafik Pengujian Tekuk Sampel E 7018**



Lampiran 5. Hasil Radiografi Sampel MG NOX 35 dan E 7018

PT RADIANT UTAMA INTERINSCO TBK												F-NDT-001									
RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT																					
CLIENT: UNIVERSITAS INDONESIA		CONTRACT NO:		REPORT NO: 01		LOCATION: JAKARTA		JOB NO:		DATE: 18-12-2011		PROJECT: TRAINING		SOP NO:		CRITERION:					
TECHNICAL DATA	NO.	JOINT IDENTIFICATION	JOINT NO.	LOCATION	MATERIAL THK (mm)	WELD THK (mm)	PIPE DIA.	WELDER STAMP	DENSITY	SENSITIVITY (%)	EXCESSIVE PENETRATION	INCOMPLETE FUSION	CRACKS	SLAG INCLUSION	POROSITY	EXCESSIVE PENETRATION	ROOT CONCAVITY	CORROSION	RESULT		REMARKS
																			ACU	REJECT	
ESSENTIAL EQUIPMENT																					
SN:		1. CR 8000 NO																			
MATERIAL: CR		2. CR 8000 150																			
WELD PROCESS: SMAW		3. CR 8000 250																			
RAD. TECHNIQUE: SNSI		4. CR 4200 NO																			
SEF: 12"		5. CR 4800 150																			
UG:		6. CR 4800 250																			
SOURCE: 50-175																					
SOURCE SIZE: 3X3																					
CURIE: 64 a																					
FOCAL SPOT SIZE:																					
KV:																					
MA:																					
FILM TYPE: AGFA																					
SIZE: 4" X 10"																					
SCREEN TYPE: LEAD																					
SCREEN THK:																					
FRONT:																					
BACK: 1/0125																					
PLACE OF IQI:																					
IQI: ASTM 1 A																					
TOTAL NUMBER OF FILMS		RADIOGRAPHER:		INSPECTOR:		AL THORIZED INSPECTOR:		CLIENT'S REP:													
4" X 10" = 6 SHEETS		TURUT		TURUT																	
4" X 15" = - SHEETS		OPERATOR:		DATE: 18-12-2011																	
X = - SHEETS		DARKROOM TREAT:		CHECK INSPECTOR:																	
NUMBER OF FILM CASSETTE: - SHEETS																					
DENSITOMETER SN:																					