



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PEMANASAN AWAL DAN PERBEDAAN KETEBALAN  
PELAT TERHADAP KETAHANAN RETAK DAN SIFAT MEKANIS  
BAJA TAHAN AUS CREUSABRO® 8000 DENGAN PENGELASAN  
SMAW *MULTILAYER***

**SKRIPSI**

**RONA KHAIROL PRATAMA  
0806315978**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PEMANASAN AWAL DAN PERBEDAAN KETEBALAN  
PELAT TERHADAP KETAHANAN RETAK DAN SIFAT MEKANIS  
BAJA TAHAN AUS CREUSABRO® 8000 DENGAN PENGELASAN  
SMAW *MULTILAYER***

**SKRIPSI**

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

**RONA KHAIROL PRATAMA  
0806315978**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
JUNI 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 : Rona Khairol Pratama**

**NPM : 0806315976**

**Tanda Tangan : .....**

**Tanggal : Juni 2012**



## HALAMAN PENGESAHAN

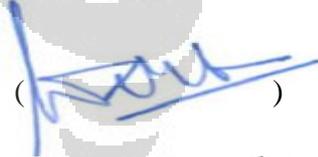
Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Rona Khairol Pratama  
NPM : 0806315976  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Skripsi : Pengaruh Pemanasan Awal dan Perbedaan Ketebalan Pelat Terhadap Ketahanan Retak dan Sifat Mekanis Baja Tahan Aus Creusabro<sup>®</sup> 8000 Dengan Pengelasan SMAW *Multilayer*

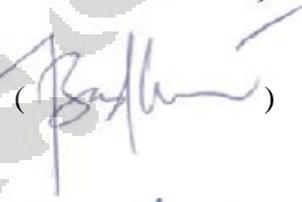
**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

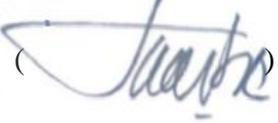
Pembimbing : Dr. Ir. Winarto M.Sc

()

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

()

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

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2012

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas ridho dan rahmat-Nyalah sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Pemanasan awal dan Perbedaan Ketebalan Pelat Terhadap Ketahanan Retak dan Sifat Mekanis Baja Tahan Aus Creusabro® 8000 Dengan Pengelasan SMAW *Multilayer*” yang bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Dalam penulisan skripsi ini penulis mengucapkan terima kasih yang begitu banyak kepada pihak – pihak yang telah membantu penulis dalam pengerjaan dan penyelesaian skripsi ini, khususnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Winarto, MSc, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan nasehat yang berharga sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Dr. Badrul Munir, S.T, M.Eng.Sc, selaku Pembimbing Akademis.
3. Bapak Ismadi Sabandi, Isa Ansori, dan Dedi di PT GAMMA BUANA PERSADA yang telah memberikan bantuan dalam proses pengelasan dan pengujian radiografi.
4. Bapak Roziq Himawan, Ani Rahmat dan Dwijo di P2TKN BATAN yang telah memberikan begitu banyak nasehat dan diskusi untuk pengujian material dalam pengerjaan skripsi ini.
5. Saudara Terry Atmajaya di PT. FSCM yang telah membantu dalam melakukan pengujian kekerasan.
6. Pak Nudin dan Pak Zainal yang telah membantu dalam melakukan pengujian tekuk dan pengambilan foto mikro dalam pengujian dalam skripsi ini.
7. PT Tira Austenite dan PT Alpha Austenite yang telah memberikan bantuan material dalam pengerjaan skripsi ini.

8. Heri Multi Juliandi Harahap, Wahidun Adam dan Achsanul Rizqi yang merupakan sahabat sekaligus teman seperjuangan dalam perjalanan pengerjaan skripsi ini yang telah memberikan waktu dan tenaga untuk saling membantu dalam penyelesaian penulisan skripsi ini.
9. Teman-teman Angkatan 2008, khususnya yang telah bersama-sama mengerjakan tugas akhir yang telah memberikan bantuan selama pengerjaan skripsi ini.
10. 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, Juni 2012

Penulis

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

---

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

Nama : Rona Khairol Pratama

NPM : 0806315976

Departemen : Metalurgi dan Material

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

demikian 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 :

**“ Study Pengaruh Pemanasan Awal dan Perbedaan Ketebalan Pelat Terhadap Ketahanan Retak Dan Sifat Mekanis Baja Tahan Aus Creusabro® 8000 Dengan Pengelasan SMAW *Multilayer* ”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/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 : Juni 2012

Yang menyatakan



(Rona Khairol Pratama)

## ABSTRAK

Nama : Rona Khairol Pratama  
Program Studi : Metalurgi dan Material  
Judul : Pengaruh Pemanasan Awal dan Perbedaan Ketebalan Pelat Terhadap Ketahanan Retak dan Sifat Mekanis Baja Tahan Aus CREUSABRO<sup>®</sup> 8000 Dengan Pengelasan SMAW *Multilayer*

Pengelasan baja tahan aus memiliki masalah serius yang harus ditangani, yaitu terjadinya retak dingin. Sehingga dengan latar belakang tersebut maka lahirlah skripsi ini yang berisi tentang penelitian pengaruh pemanasan awal dan perbedaan ketebalan pelat terhadap ketahanan retak dan sifat mekanis baja tahan aus CREUSABRO<sup>®</sup> 8000 dengan pengelasan smaw *multilayer*. Elektroda yang digunakan adalah elektroda E 7018 dan MG NOX 35. Sampel terdiri dari 8 pasang plat CREUSABRO<sup>®</sup> 8000 dimana 4 pasang sampel dilas dengan elektroda E 7018 sebagai *root* dan MG NOX 35 sebagai *cap*, dan untuk 4 pasang sisanya dilakukan sebaliknya. Proses pemanasan awal dilakukan dengan menggunakan *electrical preheater* pada 4 hasil sambungan dengan variabel tanpa pemanasan awal, dan pemanasan awal 200<sup>0</sup>C. Berdasarkan hasil analisa data, penerapan pengelasan SMAW *multilayer* pada perlakuan pemanasan awal 200<sup>0</sup>C dan tanpa pemanasan awal tidak mengakibatkan adanya retak dingin pada hasil lasan. Selain itu, perlakuan pemanasan awal dapat meningkatkan sifat mekanis pada hasil lasan, lalu logam yang lebih tebal memiliki kekerasan yang lebih tinggi, dikarenakan laju pendinginannya yang lebih cepat.

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

## ABSTRACT

Name : Rona Khairol Pratama  
Study Program : Metallurgy dan Materials  
Title : Effect of Preheating and Different Thickness Plate on Crack Resistance and Mechanical Properties of CREUSABRO® 8000 Wear Resistance Steel Welded by Multilayer SMAW Process.

Wear resistance steel on welding have problem is that occurrence of cold cracks. So with this background is made this project which consist of reseach on effect of preheating and different thickness plate on crack resistance and mechanical properties of CREUSABRO® 8000 wear resistance steel welded by multilayer SMAW process. Welding electrodes that be used are E 7018 and MG NOX 35. All of sample consisted of 8 pieces CREUSABRO® 8000 wear resistance steel plates, where 4 pieces of plates that be joined with E 7018 electrode as root and MG NOX 35 electrode as cap, and 4 pieces plates other do otherwise. The process of preheat is done by using electrical preheater with 4 joining for each variable consisting of without preheat and preheat 200<sup>0</sup>C. Based on the results of data analysis, cold cracking is not consist to the application of SMAW multilayer in without preheat and preheat 200<sup>0</sup>C. Application of preheat also can improve mechanical properties of weld area, and than metal which more thickness have more hardness, it's cause of cooling rate is faster.

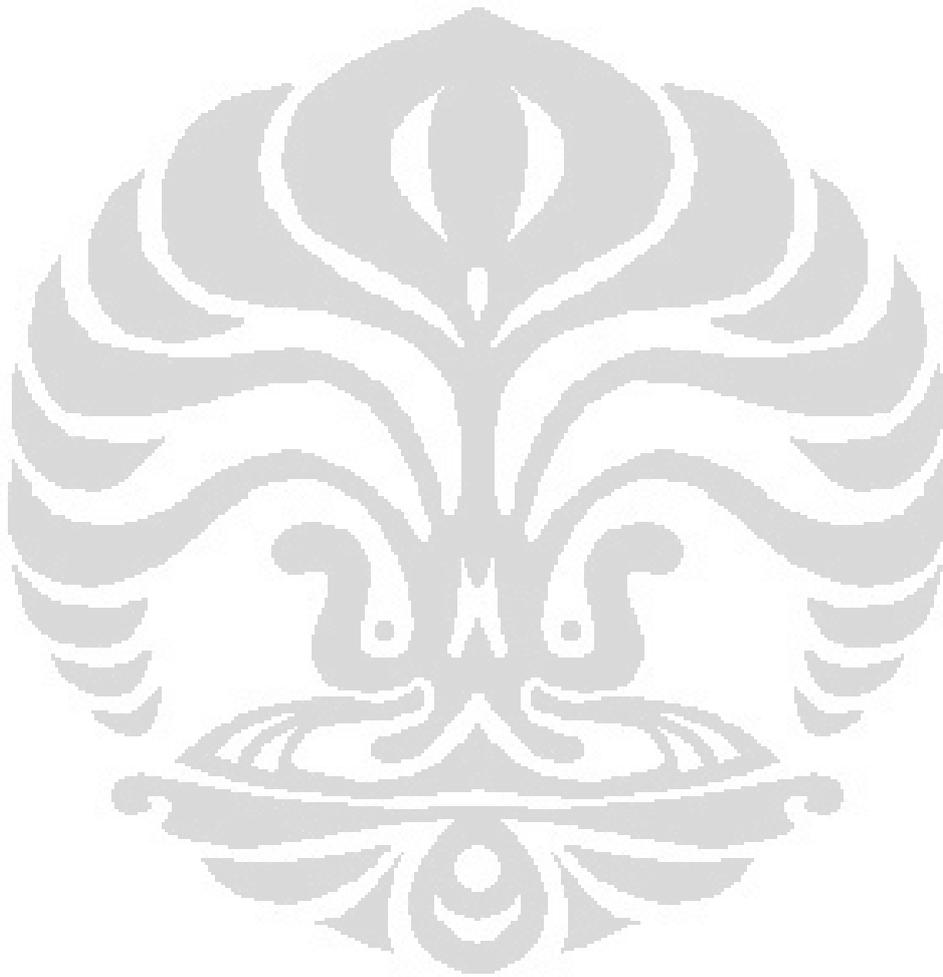
Keywords : Cold cracking, preheat, thickness, mechanical properties, SMAW multilayer.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	2
1.4 Batasan Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2 DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Baja Tahan Aus CREUSABRO® 8000 .....	5
2.2 Pengelasan.....	5
2.3 Pengelasan SMAW .....	6
2.3.1 Pengertian .....	6
2.3.2 Kelebihan dan Kekurangan.....	8
2.4 Dilusi Metal.....	9
2.5 Tegangan Sisa.....	9
2.5.1 Pengertian .....	9
2.5.2 Pengendalian Tegangan Sisa.....	11
2.6 Pemanasan awal.....	11
2.7 Distorsi.....	13
2.8 Retak Dingin ( <i>Cold Crack</i> ) .....	14
2.9 Metalurgi Las .....	16

<b>BAB 3 METODE PENELITIAN .....</b>	<b>18</b>
3.1 Diagram Penelitian .....	18
3.2 Alat dan Bahan .....	19
3.2.1 Alat .....	19
3.2.2 Bahan.....	19
3.3 Persiapan Sampel Las .....	20
3.3.1 Pembuatan Bevel.....	20
3.3.2 Inspeksi Awal Ketebalan dengan UT .....	20
3.3.3 Pemanasan Awal .....	20
3.3.4 Pengelasan .....	22
3.4 Pengujian Sampel .....	23
3.4.1 Persiapan Sampel Pengujian.....	23
3.4.2 Pengujian Radiografi.....	23
3.4.3 Pengujian Ultrasonik (UT).....	24
3.4.4 Uji Mekanis.....	24
3.4.5 Pengamatan Mikro .....	26
<b>BAB 4 DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>27</b>
4.1 Data Radiografi dan Analisa Ketahanan Retak.....	27
4.1.1 Analisa Ketahanan Retak Sampel Tanpa Pemanasan Awal.....	27
4.1.2 Analisa Ketahanan Retak Sampel dengan Pemanasan awal.....	28
4.2 Data Pengujian Ultrasonik dan Analisa Ketahanan Retak.....	30
4.3 Data dan Analisa Distribusi Nilai Kekerasan.....	31
4.3.1 Analisa Distribusi Kekerasan Sampel Pemanasan awal dan Tanpa Pemanasan awal pada Sampel Ketebalan 12mm. ....	32
4.3.2 Analisa Distribusi Kekerasan Sampel Pemanasan awal dan Tanpa Pemanasan awal pada Sampel Ketebalan 16mm. ....	36
4.3.3 Analisa Distribusi Kekerasan Sampel Tanpa Pemanasan Awal.....	39
4.4 Data dan Analisa Kekuatan Tekuk .....	45
4.4.1 Analisa Pengujian Tekuk Sampel Tanpa Pemanasan Awal .....	46
4.4.2 Analisa Pengujian Tekuk Sampel dengan Pemanasan Awal 200°C	47
4.4.4 Analisa Pengujian Tekuk Sampel Keteban 16 mm.....	49
4.5 Data dan Analisa Uji Keausan.....	50
4.6 Data dan Analisa Mikrostruktur .....	51
4.6.1 Analisa Mikrostruktur Logam Dasar Sampel Pemanasan Awal dan Tanpa Pemanasan Awal.....	51

4.6.2 Analisa Mikrostruktur Inti las.....	53
4.6.3 Analisa Mikrostruktur HAZ.....	55
<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>58</b>
5.1 Kesimpulan.....	58
5.2 Saran .....	58
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>59</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>61</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Contoh aplikasi material tahan aus pada industri tambang dan alat berat[1].....	1
Gambar 2. 1 Pengelasan SMAW .....	7
Gambar 2. 2 Peralatan Pengelasan SMAW .....	7
Gambar 2. 3 <i>Electrode Holder</i> .....	8
Gambar 2. 4 Skema Mekanisme Terbentuknya Tegangan Sisa (a) saat dilakukan pemanasan, (b) saat pendinginan[7]. .....	10
Gambar 2. 5 Rekomendasi temperatur preheat minimum pada beberapa jenis material dan ketebalan (mm) [8].....	12
Gambar 2. 6 Grafik CEV dan temperatur <i>preheat</i> pada baja tahan aus.....	12
Gambar 2. 7 Macam - macam distorsi yang terjadi pada pengelasan[9] .....	14
Gambar 2. 8 Grafik temperatur pendinginan dari 300°C ke 100 °C (T300-100) terhadap. Koefisien Sensitifitas Retak (PW) [17] .....	15
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	18
Gambar 3. 2 Bentuk Sambungan (a) Sebelum; (b) Pengelasan .....	20
Gambar 3. 3 Pemanasan awal dengan <i>Electrical Heater Elements</i> .....	21
Gambar 3. 4 Termometer Inframerah .....	21
Gambar 3. 5 Radiografi Test .....	23
Gambar 3. 6 Pengujian Ultrasonik.....	24
Gambar 3. 7 Penampang Indentor Uji Microhardness.....	24
Gambar 3. 8 Pengujian Keausan.....	25
Gambar 3. 9 Lokasi Pengambilan Foto Mikro dan Uji Kekerasan.....	26
Gambar 4. 35 Grafik Laju Keausan Tiap Sampel .....	50
Gambar 4. 39 Logam induk dengan pemanasan awal .....	52
Gambar 4. 40 <i>Root</i> E7018 tanpa pemanasan awal .....	53
Gambar 4. 41 <i>Root</i> E7018 pemanasan awal.....	53
Gambar 4. 44 <i>Cap</i> MG NOX 35 tanpa pemanasan awal .....	54
Gambar 4. 45 <i>Cap</i> MG NOX 35 pemanasan awal .....	54
Gambar 4. 57 HAZ1 <i>root</i> E 7018 pemanasan awal.....	56
Gambar 4. 58 HAZ2 <i>root</i> E 7018 tanpa pemanasan awal.....	56
Gambar 4. 66 HAZ <i>root</i> MG NOX 35 tanpa pemanasan awal .....	57
Gambar 4. 67 HAZ <i>root</i> MG NOX 35 pemanasan awal .....	57

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Komposisi Kimia CREUSABRO® 8000.....	2
Tabel 1. 2 Sifat Mekanis CREUSABRO® 8000.....	3
Tabel 2. 1 Komposisi Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO® 8000.....	5
Tabel 2. 2 Sifat Mekanis Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO® 8000.....	5
Tabel 3. 1 Ukuran Pelat CREUSABRO® 8000.....	19
Tabel 3. 6 Prosedur las yang digunakan.....	22
Tabel 3. 7 Ukuran Sampel Pengujian.....	23
Tabel 4. 1 Data dan Jenis Cacat Hasil Pengujian Ultrasonik.....	30
Tabel 4. 2 Distribusi Kekerasan CREUSABRO®8000 12 mm; <i>Root</i> Elektroda E 7018.....	31
Tabel 4. 3 Distribusi Kekerasan CREUSABRO®8000 12 mm; <i>Root</i> Elektroda MG NOX 35.....	31
Tabel 4. 4 Distribusi Kekerasan CREUSABRO®8000 16 mm; <i>Root</i> Elektroda E 7018.....	31
Tabel 4. 5 Distribusi Kekerasan CREUSABRO®8000 16 mm; <i>Root</i> Elektroda MG NOX 35.....	32
Tabel 4. 6 Hasil uji tekuk sampel CREUSABRO® 8000 dengan ketebalan 12 mm.....	45
Tabel 4. 7 Hasil uji tekuk sampel CREUSABRO® 8000 dengan ketebalan 16 mm.....	46
Tabel 4. 8 Data laju keausan.....	50

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Radiografi .....	61
Lampiran 2. Hasil Uji Aus .....	62
Lampiran 3. Grafik Pengujian Tekuk Sampel Ketebalan 12mm .....	63
Lampiran 4. Grafik Pengujian Tekuk Sampel Ketebalan 16mm .....	64
Lampiran 5. Tabel Hasil Pengujian Ultrasonik .....	65
Lampiran 6. Gambar Contoh Cacat Lasan .....	66



## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang Masalah

Pada zaman dengan teknologi yang serba moderen ini, setiap kelompok berlomba – lomba untuk menghasilkan suatu hal yang dapat digunakan untuk kehidupan masyarakat luas.

Kekayaan tanah Indonesia akan mineral – mineral berharga seperti Minyak mentah (>3,5 Milliar barel), Gas alam ( $\pm$  3,2 Triliun barel), Batubara termal (Eksportir kedua terbesar di dunia), Geotermal (40% dari sumber geotermal dunia), Minyak sawit (19 juta Ton/tahun), Kakao (770 ribu Ton/tahun), Seng / Sn ( 65ribu ton/tahun) memberikan predikat sebagai salah satu negara penghasil mineral terbesar di dunia bagi Indonesia [1]. Dengan prospek – prospek kekayaan alam yang dimiliki Indonesia menarik para investor untuk berinvestasi. Dengan semakin banyaknya industri – industri yang tumbuh tentu harus dibarengi dengan inovasi – inovasi di bidang teknologi agar dapat meningkatkan optimalitas dalam pengelolaan sumber daya alam yaitu dengan peralatan – peralatan dengan *performance* tinggi. Peralatan – peralatan yang digunakan pada industri ini pada umumnya dibuat dengan material baja tahan aus. Hal ini disebabkan karena proses eksplorasi barang tambang yang dilakukan berhubungan dengan batuan dan mineral yang memiliki kekerasan tinggi.



**Gambar 1. 1** Contoh aplikasi material tahan aus pada industri tambang dan alat berat[1].

Masalah yang terjadi pada penggunaan material tahan aus ini ada pada proses pengelasan. Pengelasan baja ini sangat rentan terhadap terjadinya retak dingin (*cold cracking*) yang terjadi pada daerah las - lasan atau yang biasa disebut dengan daerah HAZ. Hal ini lah yang melatar belakangi produsen baja saat ini banyak berusaha untuk mengembangkan material baja berkekuatan tinggi namun memiliki daya tahan tinggi terhadap retak dingin ini. Tetapi tetap saja retak dingin ini menjadi masalah yang sangat diperhatikan dalam pengaplikasian material yang memiliki kekuatan tinggi ini [2,3].

Adanya permasalahan ini, yakni retak dingin yang timbul setelah pengelasan dari alat – alat berat yang diperbaiki dapat mengganggu berjalannya proses eksplorasi jika baja tahan aus ini digunakan dalam bidang ini sehingga mempengaruhi produktifitas dari industri karena harus memberikan waktu lebih untuk melakukan perbaikan sehingga menjadi kurang ekonomis. Retak dingin yang terbentuk di daerah las ini mengakibatkan terjadinya penurunan kekuatan dari material yang berarti dapat mengakibatkan umur pakainya pun menjadi berkurang.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mengetahui pengaruh perlakuan preheat, dan ketebalan pelat terhadap ketahanan retak pada plat baja tahan aus CREUSABRO<sup>®</sup> 8000.
2. Mengetahui hubungan perlakuan preheat, dan ketebalan pelat 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
0,240	1,168	0,289	0,875	0,227	0,0005

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

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

Kekerasan (HB)	Kekuatan Tarik (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 adalah E-7018 dan MG NOX 35

**Tabel 1. 3** Komposisi Kimia Kawat las

Kawat Las	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	V
E 7018	0,12	0,2	0,3	0,3	1,6	0,75	0,04	0,03	0,08
MG NOX 35	0,14	18	8	1,5	4,75	1,00	0,04	0,03	0,75

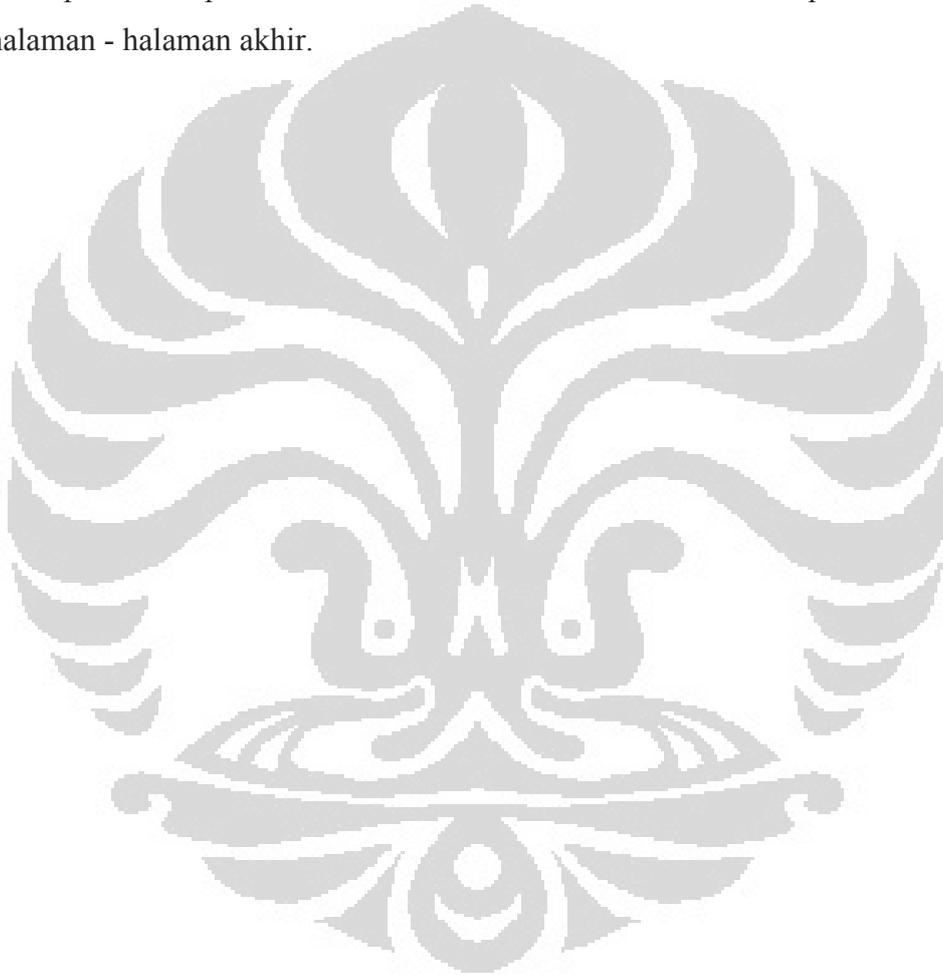
2. Parameter las disesuaikan dengan prosedur las yang telah dibuat.
3. Pemeriksaan - pemeriksaan yang dilakukan :
  - a. X-Ray Radiografi Test (RT) dan pengujian Ultrasonik (UT)
  - b. Kekerasan
  - c. Kekuatan tekuk
  - d. Keausan
  - e. Mikrostruktur daerah las

#### 1.4 Batasan Penelitian

1. Material yang digunakan adalah material aktual yang digunakan sebagai barang produksi dari perusahaan manufaktur.
2. Penelitian fokus terhadap pemanasan awal dan sifat mekanis dari material.
3. Proses pemanasan awal yang dilakukan adalah dengan menggunakan Pemanasan awal.
4. Sistem pengelasan yang dilakukan disesuaikan dengan sistem yang sudah ada.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Bab 1 berisikan latar belakang, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, batasan penelitian dan metode penulisan. Bab 2 menjelaskan dasar teori mengenai Baja tahan aus Cruesabro<sup>®</sup> 8000, pengelasan, pengelasan SMAW, dilusi metal, tegangan sisa, pemanasan awal, distorsi retak dingin dan metalurgi las. Bab 3 menjelaskan dan membahas tentang metode penelitian yang dilakukan. Bab 4 membahas tentang data pengujian dan analisisnya. Bab 5 berisi tentang kesimpulan dari penelitian. Dan untuk daftar referensi dan lampiran terletak pada halaman - halaman akhir.



## BAB 2

### DASAR TEORI

#### 2.1 Baja Tahan Aus CREUSABRO® 8000

Baja tahan aus CREUSABRO® 8000 merupakan jenis baja tahan aus dimana masuk dalam kategori baja HSLA (*High Strength Low Alloy Steel*) yaitu baja dengan paduan rendah dengan kekuatan tinggi. Baja CREUSABRO® 8000 ini 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® 8000 ditunjukkan pada Tabel 2.1, dan sifat mekanis dari baja tahan aus CREUSABRO® 8000 ditunjukkan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2. 1** Komposisi Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO® 8000

<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Ni</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>S</b>
<b>0,240</b>	1,168	0,289	0,875	0,227	0,0005

**Tabel 2. 2** Sifat Mekanis Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO® 8000

<i>Hardness</i> <b>(HB)</b>	<i>Yield Strength</i> <b>(MPa)</b>	<b>UTS</b> <b>(MPa)</b>	<b>EL (%)</b>
470	1250	1630	12

#### 2.2 Pengelasan

Pengelasan merupakan salah satu cara yang umum digunakan untuk penyambungan 2 logam atau lebih dengan cara mencairkan logam induk atau benda kerja melalui pemanasan.

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

Menurut AWS, proses penyambungan dengan pemanasan dibagi menjadi 3, yaitu:

1. *Fusion weld.*

*Fusion weld* merupakan proses penyambungan logam yang melibatkan proses pencairan dua atau lebih logam induk yang akan disambung, sehingga menjadi satu sambungan.

2. *Solid state welding.*

*Solid state welding* merupakan proses penyambungan yang dilakukan pada logam yang telah dipanaskan hingga plastis lalu diberikan tekanan (tanpa menggunakan logam pengisi pengisi).

3. *Brazing dan soldering.*

*Brazing* dan *soldering* merupakan teknik penyambungan dengan menggunakan logam pengisi yang memiliki titik lebur lebih rendah dari logam induk, yang membedakan antara *Brazing* dan *soldering* adalah temperatur lebur dari logam pengisi. Untuk *Brazing*, temperatur lebur logam pengisi  $>450^{\circ}\text{C}$ , sedangkan *soldering*, temperatur lebur logam pengisi  $<450^{\circ}\text{C}$ .

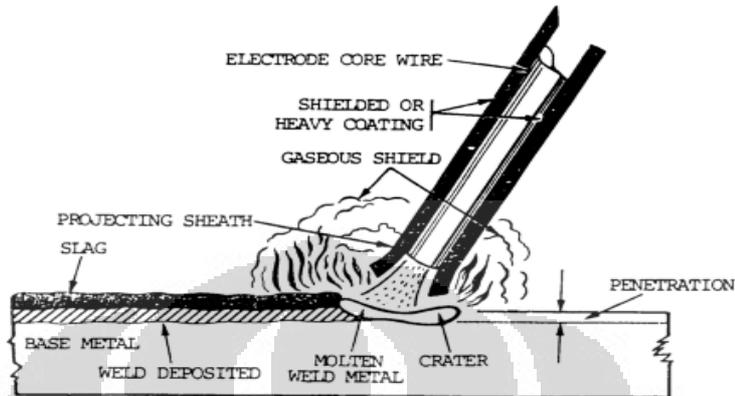
## 2.3 Pengelasan SMAW

### 2.3.1 Pengertian

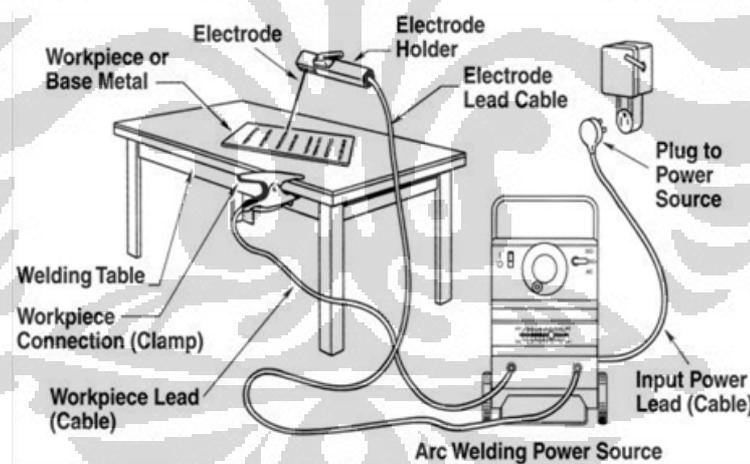
Pengelasan dengan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) yang dapat disebut juga MMAW (*Manual Metal Arc Welding*) dan juga pada umumnya juga disebut dengan *stick welding* karena elektrodanya yang berbentuk *stick*. SMAW merupakan metode pengelasan manual yang menggunakan busur yang terciptakan antara elektoda dan logam yang dilas [4]. Busur listrik tersebut akan menimbulkan panas yang sangat tinggi yang mampu mencairkan logam yang dilas. Loncatan busur tersebut mengandung tetesan logam elektroda yang akan bersatu dengan benda kerja yang akan membentuk kampuh las yang dilindungi oleh kerak yang berasal dari pembungkus elektroda yang digunakan.

SMAW merupakan proses pengelasan sangat sering digunakan di bidang manufaktur dan perbaikan barang – barang mekanik dan alat berat. Tetapi, pengelasan SMAW tidaklah efisien jika dibandingkan dengan pengelasan semi

otomatis yang lain dikarenakan memerlukan waktu untuk mengganti elektroda dan juga harus membersihkan terak. Walaupun begitu, peralatan ini lebih murah dan pengoperasiannya juga mudah.



Gambar 2. 1 Pengelasan SMAW



Gambar 2. 2 Peralatan Pengelasan SMAW

Seperti yang terlihat pada gambar 2.2 di atas, peralatan penting yang digunakan pada pengelasan SMAW, antara lain:

1. Mesin Las
2. *Electrode holder*

*Electrode holder* berfungsi sebagai pemegang elektroda yang akan digunakan untuk pengelasan. (Gambar 2.3)



**Gambar 2. 3** *Electrode Holder*

### 3. Elektroda

Elektroda yang digunakan pada pengelasan SMAW ini dilapisi oleh *flux*, yang berfungsi antara lain [4]:

- a. Gas pelindung, berfungsi untuk melindungi busur dan daerah las dari lingkungan. Gas pelindung yang terbentuk adalah karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ).
- b. *Deoxidizers*, berfungsi mengikat oksigen.
- c. *Slag former*, berfungsi melindungi logam las dari lingkungan dengan membentuk terak (*slag*).
- d. *Ionizing element*, membuat busur lebih stabil.
- e. *Alloying element*.

Berdasarkan AWS, elektroda SMAW dilambangkan dengan susunan kode EXXX, dimana E berarti elektroda lalu X pertama dan kedua menyatakan kekuatan, lalu untuk X yang ketiga menunjukkan posisi pengelasan, dan X terakhir menunjukkan tipe arus dan lapisan.

#### 2.3.2 Kelebihan dan Kekurangan

Keuntungan dari proses pengelasan SMAW, antara lain:

- a. Biaya murah
- b. Pengopersiannya mudah, dan mudah dibawa – bawa (*portable*)
- c. Biaya logam pengisi murah
- d. Dapat digunakan dengan semua posisi pengelasan.

Kekurangan dari proses pengelasan SMAW, antara lain:

- a. Lambat, karena perlu untuk mengganti – ganti elektroda.
- b. Terdapat slag yang harus dihilangkan.
- c. Kurang terproteksi dengan baik dengan atmosfer.

## 2.4 Dilusi Metal

Dilusi merupakan aspek penting yang sering digunakan sebagai hal yang dipertimbangan dalam memilih logam pengisi dalam proses pengelasan. Saat proses pengelasan, antara logam induk dan logam pengisi yang memang sangat berbeda komposisi kimia akan terjadi pencampuran. Pencampuran yang terjadi antara logam induk dan logam pengisi inilah yang disebut dilusi metal [5].

Dilusi lasan didefinisikan sebagai perbandingan antara bagian logam induk yang mencair dengan seluruh bagian logam yang mencair [5]. Dilusi juga didefinisikan sebagai perubahan komposisi kimia dari logam induk akibat pengelasan. Perubahan komposisi ini dikarenakan adanya pencampuran antara logam induk dan logam pengisi dalam kampuh las. Proses pencampuran antara logam induk dan logam pengisi menyebabkan terjadinya perubahan kekuatan tarik dan keuletan material hasil pengelasan [5]

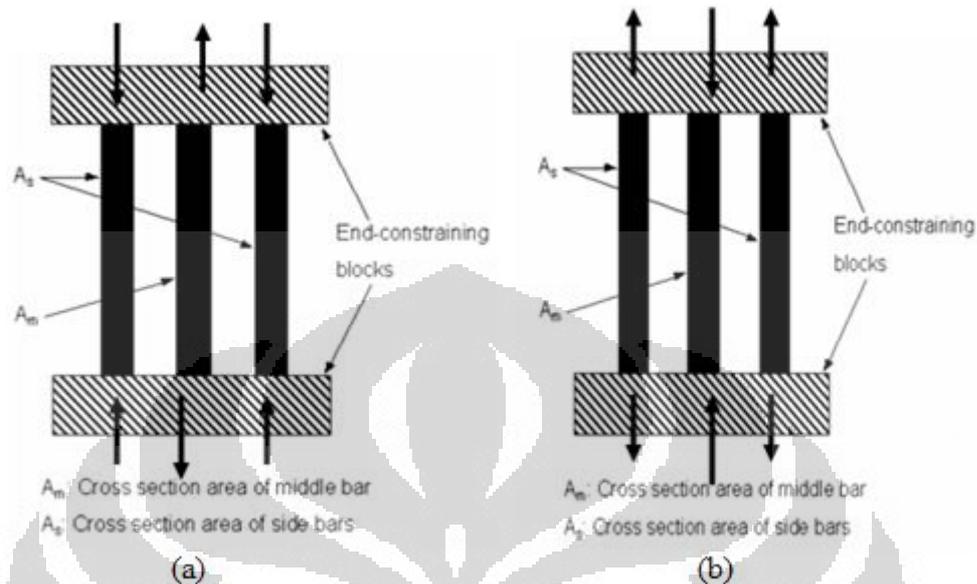
## 2.5 Tegangan Sisa

### 2.5.1 Pengertian

Tegangan sisa atau bisa disebut juga sebagai tegangan dalam merupakan tegangan yang terjebak dan terbentuk pada material dikarenakan proses pengerjaan yang diberikan pada meterial tersebut, seperti proses pemotongan, *bending* ataupun dari proses pengelasan. Tegangan sisa atau tegangan dalam adalah tegangan yang bersifat tetap dengan pengertian tegangan ini tetap akan bekerja meskipun tidak ada gaya dari luar yang ikut bekerja, sehingga adanya tegangan sisa ini dapat menyebabkan turunnya sifat – sifat mekanis dari suatu material seperti ketahanan fatik, ketahanan korosi dan sifat – sifat mekanis lainnya.

Dalam proses pengelasan, bagian logam yang dilas akan menerima panas yang kemudian akan terjadi pengembangan termal yang kemudian terjadi pelelehan logam. Setelah pengelasan berhenti, maka proses pelelehan digantikan dengan proses pendinginan (*solidifikasi*). Proses dari proses pelelehan menuju solidifikasi ini merupakan awal terbentuknya tegangan sisa karena terjadinya proses pembekuan ini diikuti dengan penyusutan dari volume material yang dilas

yang menyebabkan terjadinya regangan. Regangan ini menyebabkan terjadinya tegangan yang bersifat tetap yang merupakan tegangan sisa [6].



**Gambar 2. 4** Skema Mekanisme Terbentuknya Tegangan Sisa (a) saat dilakukan pemanasan, (b) saat pendinginan[7].

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pada Gambar 2.5 di atas terlihat gambaran terbentuknya tegangan sisa dari sambungan las. Misalkan batang  $A_m$  merupakan daerah las, sedangkan batang  $A_s$  merupakan daerah sekitar pengelasan yang tidak mengalami pengaruh panas, jadi  $A_m$  mendapatkan pengaruh panas dan  $A_s$  tidak. Pada saat dilakukan proses pengelasan maka batang  $A_m$  akan mengalami tegangan tekan yang mengakibatkan terjadinya pemuaian akibat pengaruh panas tetapi tertahan oleh batang  $A_s$  yang tidak terpengaruhi oleh panas, yang berarti arah tegangan dari batang  $A_s$  berlawanan dengan batang  $A_m$ . Lalu, saat batang  $A_m$  mengalami pendinginan, batang  $A_m$  yang awalnya mengalami tegangan tekan akan berubah menjadi tegangan tarik dan batang  $A_s$  akan menahannya dengan tegangan tekan [7].

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

dapat menyebabkan retak pada daerah lasan dan daerah yang terpengaruh oleh panas yaitu HAZ.

### 2.5.2 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. Pemanasan awal

Pemanasan awal 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. Temperatur antar lapis

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

#### c. *Post Weld Heat Treatment*

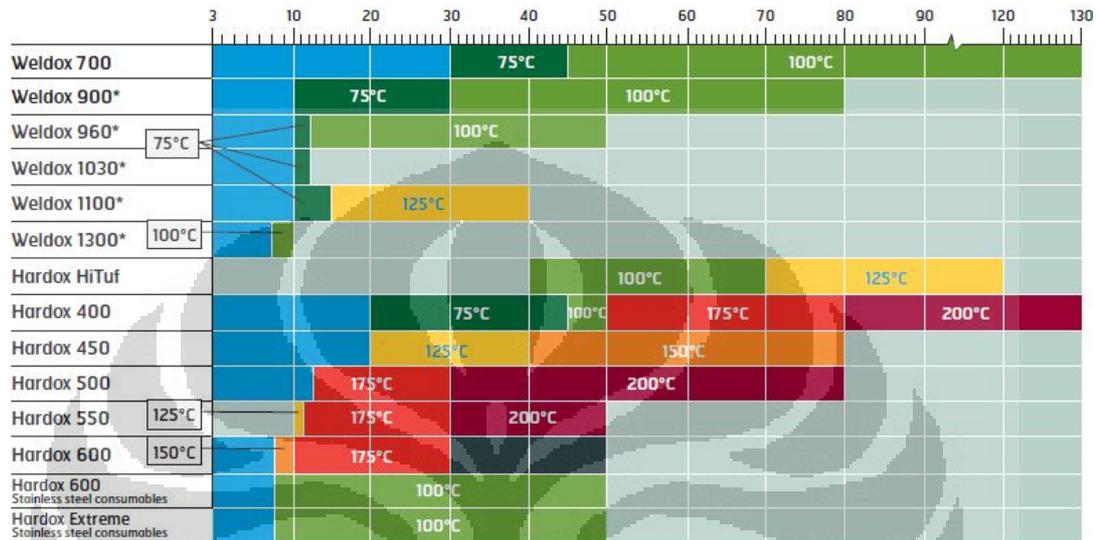
*Postweld* (pemanasan setelah pengelasan) adalah proses penurunan tegangan sisa dan penyeragaman sifat mekanis material. Dalam proses PWHT ini pengaruh temperatur dan waktu harus diperhatikan.

## 2.6 Pemanasan Awal

Pemanasan awal adalah proses pemanasan yang dilakukan pada material sebelum pengelasan dimana besarnya temperatur pemanasan berada disekitar temperatur pengelasan. Caranya adalah dengan cara memanaskan kampuh las pada temperatur tertentu. Tujuan dilakukan preheating pada material induk sebelum pengelasan antara lain:

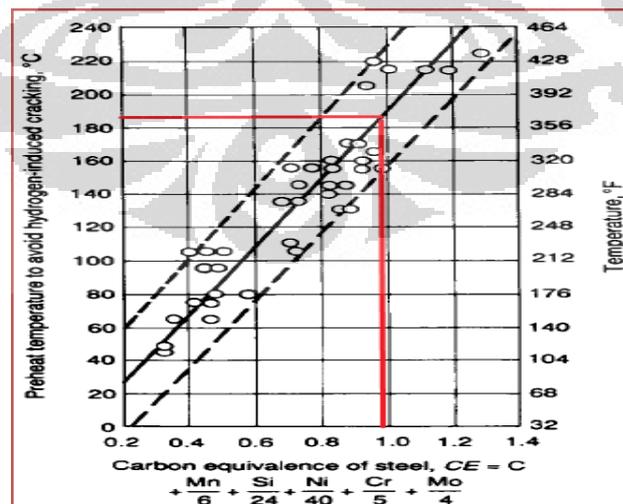
1. Mengontrol laju pendinginan
2. Menurunkan residual stress dan distorsi
3. Menghilangkan air pada daerah pengelasan

Penentuan temperatur preheat dapat dilihat dengan 2 cara, yaitu dari ketebalan, dan dari *Carbon Equivalence*.



**Gambar 2.5** Rekomendasi temperatur preheat minimum pada beberapa jenis material dan ketebalan (mm) [8].

Penentuan temperatur preheat selain dengan ketebalan pelat, dapat diketahui juga dengan cara perhitungan *Carbon equivalence* yang kemudian dicocokkan pada grafik CEV (*carbon equivalence*) dan temperatur.



**Gambar 2.6** Grafik CEV dan temperatur *preheat* pada baja tahan aus

## 2.7 Distorsi

Distorsi merupakan pergeseran atau perubahan bentuk dari benda kerja akibat adanya tegangan dalam logam las yaitu tegangan memanjang dan tegangan melintang yang menyebabkan penyusutan. Penyusutan ini tidak bisa di hindari karena dalam proses pengelasan membutuhkan pemanasan dengan temperatur yang tinggi, sehingga sangat sulit untuk menghindari terjadi penyusutan saat terjadinya proses pendinginan dan mengakibatkan benda kerja yang bentuk awalnya lurus menjadi bengkok setelah pengelasan.

Beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya distorsi antarlain:

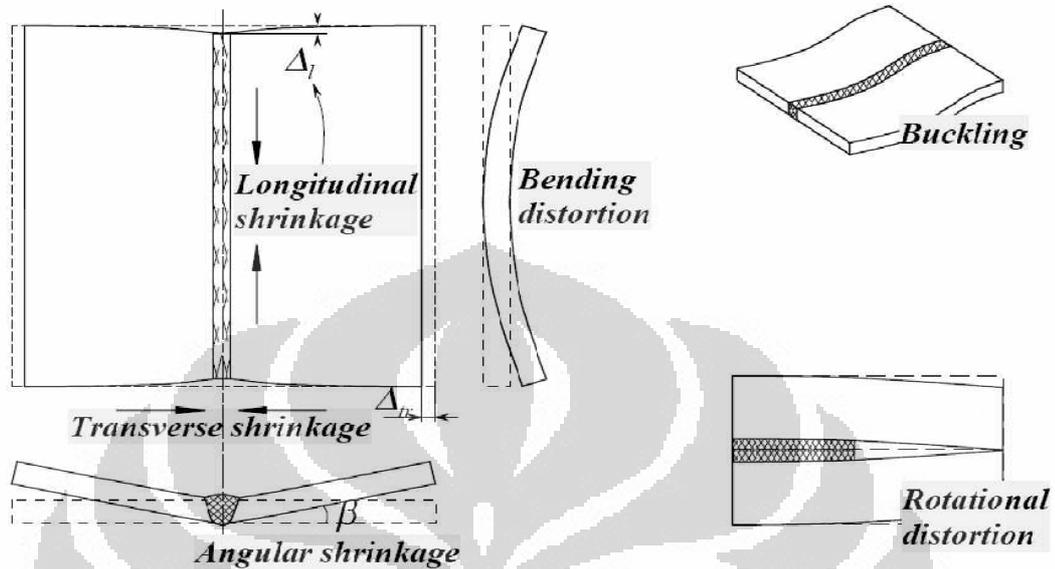
1. Tipe penyampungan dan preparasi
2. Urutan pengelasan
3. Prosedur pengelasan
4. Pengelasan bersambung atau pengelasan terputus – putus
5. Jumlah pass pengelasan
6. Tegangan alami yang terdapat di dalam struktur las
7. Pre- dan post-weld heating
8. Arus, kecepatan las dan jarak busur.

Jenis distorsi yang terjadi pada pengelasan (lihat Gambar 2.8)[9] :

1. *Transverse shrinkage*  
*Transverse shrinkage* penyusutan yang terjadi tegak lurus dengan terhadap garis pengelasan.
2. *Angular change*  
*Angular change* merupakan distribusi panas yang tidak merata pada tiap kedalaman yang menyebabkan perubahan dimensi.
3. *Rotational distortion*  
*Rotational distortion* merupakan distorsi sudut dalam bidang plat yang berkaitan dengan perluasan *thermal*.
4. *Longitudinal shrinkage*  
*Longitudinal shrinkage* merupakan penyusutan yang terjadi searah dengan garis pengelasan.

### 5. *Buckling distortion*

*Buckling distortion* merupakan distorsi yang terjadi saat pelatnya menipis karena adanya kompresi dan panas yang diberikan pada benda kerja.



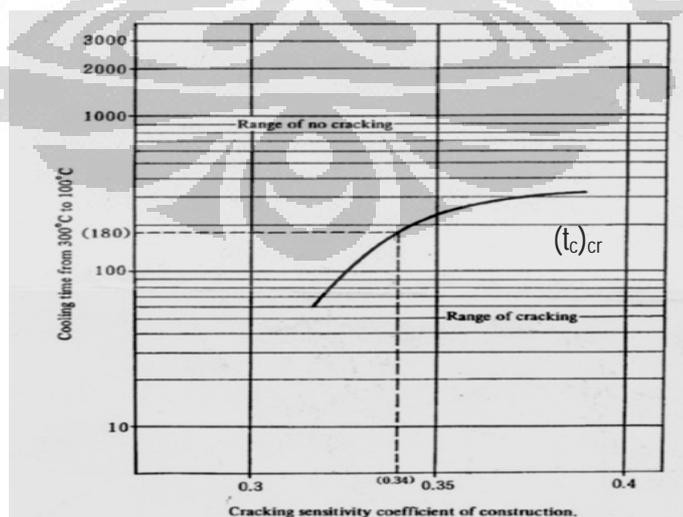
**Gambar 2. 7** Macam - macam distorsi yang terjadi pada pengelasan[9]

### 2.8 Retak Dingin

Retak dingin atau dapat disebut retak akibat hidrogen [10,11] atau retak daerah las (*HAZ cracking*) [12] merupakan salah satu masalah terbesar dalam pengelasan baja struktural karena menyebabkan *premature failure* pada komponen lasan [10]. Retak dingin adalah retak yang terjadi suhu di bawah  $150^{\circ}\text{C}$  [13] dan retak ini akan timbul setelah beberapa menit, beberapa hari, beberapa minggu atau bahkan beberapa bulan [13,14]. Pada artikel mengenai “*Cold Cracks: cause and Cures*” pada *KOBELCO WELDING TODAY*, ada 3 faktor utama yang mempengaruhi retak dingin yaitu: keuletan yang rendah (kekerasan tinggi), residual stress, dan difusi hidrogen. Demikian juga dengan N. Bailey, F.R. Coe, T.G. Gooch, P.H.M Hart, N. Jenkins dan R.J. Pargeter pada tulisan edisi ke-2nya pada tahun 1993 mengenai “*Welding Steels Without Hydrogen Cracking*” sependapat bahwa retak dingin tergantung pada tiga faktor yang berinteraksi yaitu: (i) adanya kelarutan gas hidrogen dalam baja, (ii) terbentuknya tegangan sisa yang tinggi, dan (iii) adanya struktur keras seperti martensit [13].

Beberapa penelitian untuk penentuan prosedur pengelasan (*welding procedure*) dalam rangka menghindari retak pada konstruksi baja telah dilakukan oleh beberapa peneliti [15,16] 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 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 [15] dengan menggunakan kriteria retak las ( $P_w$ ). Kriteria retak las ( $P_w$ ) dapat memperkirakan terjadinya retak dari hubungan beberapa parameter seperti (1) komposisi kimia dari pelat baja ( $P_{CM}$ ), (2) kandungan gas hidrogen di logam lasan ( $H$ ) dan (3) konstanta regangan material ( $K$ ). Waktu pendinginan kritis selama pengelasan diindikasikan oleh  $(t_c)_{cr}$ , yang merupakan waktu minimum pendinginan dari suhu 300 °C sampai 100 °C. Jika waktu pendinginan bagian pengelasan yang sebenarnya lebih besar dari waktu kritis  $(t_c)_{cr}$ , maka retak tidak akan terjadi. Oleh karena itu, dalam rangka untuk mencegah terjadinya retak, perlu untuk memilih kondisi prosedur las sedemikian rupa sehingga pendinginan saat pengelasan bagian-bagian yang lasan lebih besar dari  $(t_c)_{cr}$ .



**Gambar 2. 8** Grafik temperatur pendinginan dari 300°C ke 100 °C (T300-100) terhadap. Koefisien Sensitifitas Retak ( $P_w$ ) [17]

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

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

Keterangan: H = *diffusible hydrogen content in weld metal* (cc/100g)

K = *intensity of restrain* (kg/mm<sup>2</sup>mm)

## 2.9 Metalurgi Las

Pada proses pengelasan, pemberian panas akan membuat logam mengalami pelelehan pada daerah sambungan las. Panas yang berasal dari busur listrik, akan menghasilkan panas dan melelehkan logam induk dan logam pengisi yang kemudian membeku dan saling berikatan di daerah sambungan las.

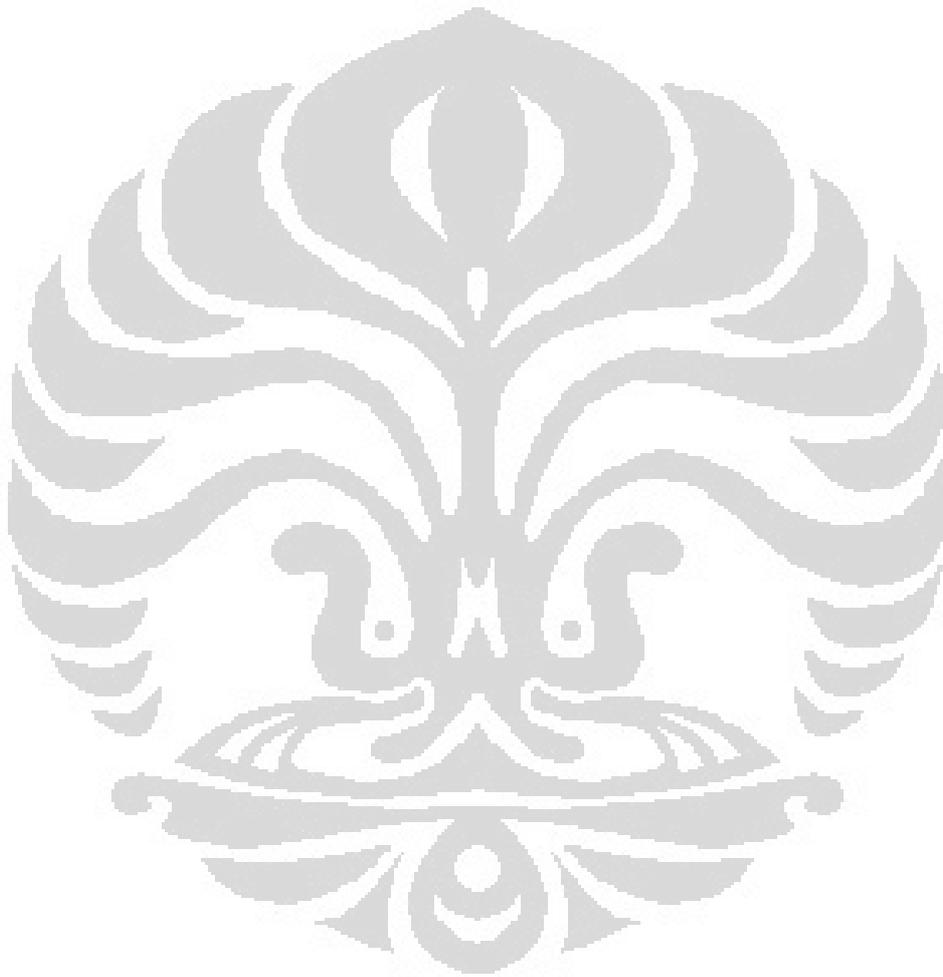
Panas yang di berikan dan laju pendinginan akan mempengaruhi tegangan – regangan dan transformasi fasa yang terjadi pada material didaerah sambungan, yang berarti hal inimempengaruhi sifat mekanik dari hasil pengelasan tersebut.

Proses pemanasan dan pendinginan tersebut mengakibatkan terdapatnya perbedaan temperatur yang diperoleh oleh material. Daerah yang terpengaruhi oleh temperatur dari pengelasan dapat dibagi menjadi menjadi empat daerah, antara lain:

1. Daerah peleburan, merupakan daerah tempat terjadinya pencampuran antara logam pengisi dan logam dasar yang melebur dengan sempurna. Daerah ini merupakan daerah yang memperoleh panas dengan suhu yang paling tinggi yakni di atas titik lebur sehingga memiliki kehomogenitasan yang paling tinggi pula.
2. Daerah antarmuka las, merupakan daerah sempit yang menjadi kontak antarmuka antara logam pengisi dan logam induk. Di daerah ini terjadi pencampuran komposisi antara logam pengisi dan logam induk tetapi dengan laju pendinginan yang lebih cepat dari pada kampuh las.
3. Daerah HAZ, merupakan daerah pada logam induk yang memperoleh pengaruh panas dengan suhu dibawah titik lebur, tetapi suhu yang diperoleh

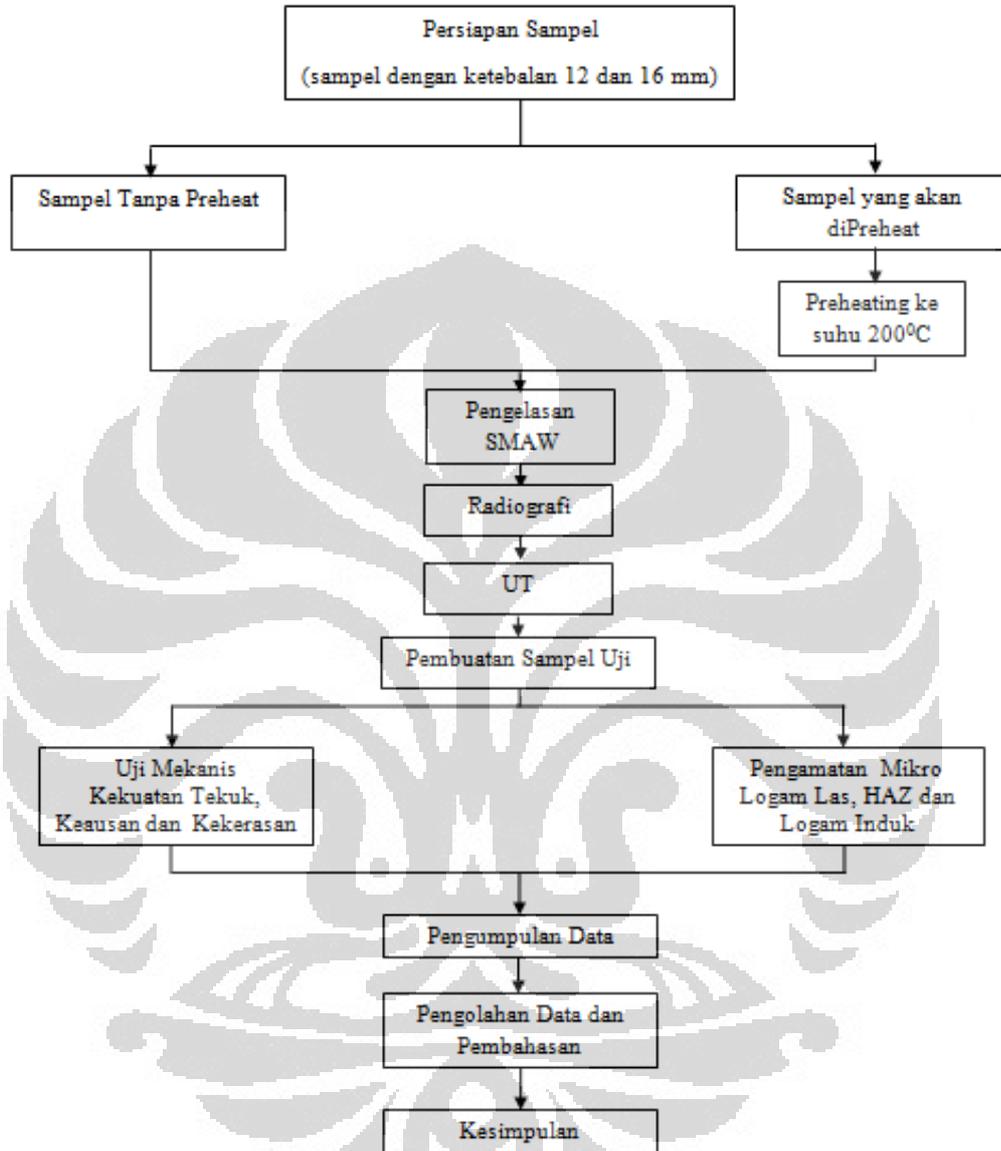
cukup untuk merubah mikrostruktur dari logam induk sehingga sifat mekanik yang dimilikinya menjadi berubah dikarenakan perubahan mikrostruktur tersebut.

4. Daerah Logam Induk, merupakan daerah yang tidak memperoleh pengaruh panas dari suhu yang digunakan untuk pengelasan sehingga tidak mengalami perubahan mekanik ataupun mikrostruktur.



## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Penelitian



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. *Electrical Preheater Elements*
5. *Thermometer Infrared*
6. Mesin uji tekuk shimadzu
7. Mikroskop optik
8. Mikroskop pengukur
9. *Vickers Microhardness Testing Machine*
10. Mesin poles
11. Mesin elektroetsa
12. Alat uji Radiografi
13. Alat uji *Ultrasonic*
14. Alat uji Tekuk
15. Alat uji Aus ogoshi

### 3.2.2 Bahan

1. Pelat Logam

Pelat logam yang digunakan adalah pelat baja tahan aus CREUSABRO<sup>®</sup> 8000 dimana memiliki ukuran sampel sebagai berikut:

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

Material	Dimensi (mm)
CREUSABRO <sup>®</sup> 8000	200 X 100 X 12
	200 X 100 X 16

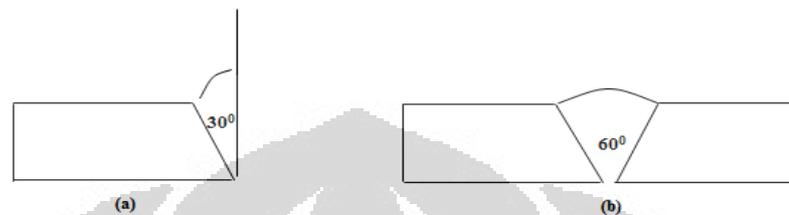
2. Logam Pengisi

Logam pengisi yang digunakan adalah E 7018 dan MG NOX 35

### 3.3 Persiapan Sampel Las

#### 3.3.1 Pembuatan Bevel

Pembuatan bevel dilakukan dengan membuat sudut kemiringan  $30^{\circ}$  sesuai dengan AWS A5.1-81. Dan setelah digabungkan akan membentuk V groove dengan sudut  $60^{\circ}$ .



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

#### 3.3.2 Inspeksi Awal Ketebalan dengan UT

Inspeksi awal ketebalan dengan UT ini bertujuan untuk memastikan tidak terdapatnya cacat pada material yang akan digunakan untuk pengujian dengan melihat apakah ada pengurangan ketebalan pada material yang diinspeksi.

#### 3.3.3 Pemanasan Awal

Dalam penelitian ini terdapat dua variasi sampel berdasarkan temperatur pemanasan awal yang akan diaplikasikan saat pengujian, yaitu sampel tanpa dilakukannya pemanasan awal dan sampel dengan pemanasan awal dengan temperatur pemanasan  $200^{\circ}\text{C}$ . Sampel total berjumlah 8 pasang (4 pasang sampel untuk ketebalan 12 mm dan 16 mm) dimana untuk tiap ketebalan (ketebalan 12 mm dan 16 mm) dialokasikan 2 pasang untuk dilakukan pemanasan awal dan 2 pasang untuk tanpa pemanasan awal, sehingga totalnya 4 pasang sampel dilakukan pemanasan awal dan 4 pasang sampel lagi tanpa perlakuan pemanasan awal.



**Gambar 3. 3** Pemanasan awal dengan *Electrical Heater Elements*

Proses Pemanasan awal dilakukan dengan cara dipanaskan dengan *Electric Preheater Elements* pada permukaan logam induk, seperti yang terlihat pada Gambar 3.3 di atas. Pemanasan dilakukan selama kurang lebih 50-60 menit dengan suhu  $250^{\circ}\text{C}$  yang ditutup dengan kain *wool* tebal untuk menjaga temperatur pemanasan agar tetap bertahan di kisaran  $200^{\circ}\text{C}$ , hal ini dilakukan untuk menjaga seluruh bagian pelat agar memiliki temperatur yang seragam.



**Gambar 3. 4** Termometer Inframerah

Pengukuran temperatur pada pelat yang telah dilakukan pemanasan awal dilakukan dengan menggunakan Termometer Inframerah seperti yang terlihat pada Gambar 3.4 di atas.

### 3.3.4 Pengelasan

Proses pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah SMAW atau juga biasa disebut dengan pengelasan manual. Posisi pengelasan pada pengelasan dalam penelitian ini adalah posisi 1G, yaitu posisi datar. Pengelasan yang dilakukan pada penelitian ini berbeda dengan pengelasan manual lain. Pada penelitian ini digunakan 2 jenis logam pengisi yang berbeda dalam satu produk lasan. Pengelasan ini mengaju pada prosedur las yang telah dibuat sebelum pengelasan.

**Tabel 3. 2** Prosedur las yang digunakan  
**PROSEDUR PENGELASAN**

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

JOINTS (QW-402)		Details	
Joint Design <b>GROOVE</b>			
Backing <b>WITHOUT</b>			
Backing Material (Type) ~			
<input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Nonfusing Metal <input type="checkbox"/> Nonmetallic <input type="checkbox"/> Other			
Note: Weld detail shown above is only reference, engineering design drawing shall take precedence for production welding			

BASE METALS (QW-403)			
P-No. <b>11 B</b>	Group No. ~	to P-No. <b>11 B</b>	Group No. ~
OR			
Specification type and grade ~			
To Specification type and grade ~			
OR			
Chem. Analys and Mech. Prop.		N/A	
To Chem. Analys and Mech. Prop.		N/A	
Thickness Range :			
Base Metal :	Groove <b>12mm thru 16mm</b>	Fillet ~	
Other _____			

FILLER METALS (QW-404)	
Spec. No. (SFA)	<b>SFA-5.1</b>
AWS No. (Class)	<b>E 7018 &amp; E 307</b>
F-No.	<b>4</b>
A-No.	<b>1</b>
Size of Filler Metals	<b>3.2 mm</b>
Weld Metal	
Thickness Range :	
Groove	<b>12 mm</b>
Fillet	
Electrode- Flux (Class)	<b>E 7018 &amp; E 307</b>
Flux Trade Name	<b>Tira Austenite (or equivalent)</b>
Consumable Insert	<b>N/A</b>
Other _____	

### 3.4 Pengujian Sampel

#### 3.4.1 Persiapan Sampel Pengujian

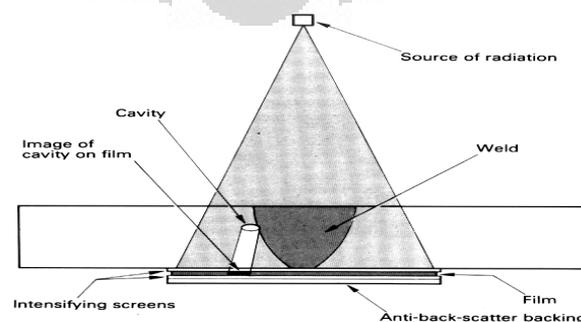
Persiapan sampel pengujian dilakukan dengan melakukan pemotongan pada pelat baja tahan aus CREUSABRO® 8000 yang telah dilas. Pemotongan dilakukan dengan menggunakan mesin *abrasive cutting* di workshop pengelasan PNJ. Ukuran sampel pengujian seperti yang terlihat pada tabel 3. 2.

Tabel 3. 3 Ukuran Sampel Pengujian

Pengujian	Ukuran Sampel (mm)
Kekerasan dan keausan	30 x 10 x 12
	30 x 10 x 16
Tekuk ( Face Bend)	200 x 20 x 12
	200 x 20 x 16
Pengamatan makro dan mikro	30 x 10 x 12
	30 x 10 x 16

#### 3.4.2 Pengujian Radiografi

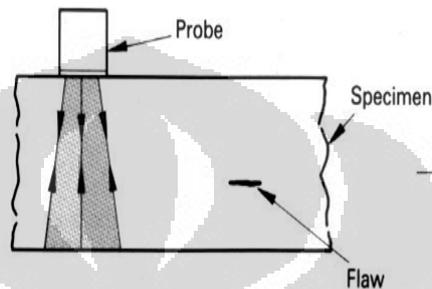
Pengujian radiografi memiliki tujuan untuk melihat adanya cacat pada logam las terutama cacat retak dingin. Pada pengujian ini juga akan dilihat perbedaan kuantitas cacat retak dingin pada sampel tanpa pemanasan awal dan dengan pemanasan awal pada temperatur 200<sup>0</sup>C. Pengujian ini dilakukan di PT Gamma Buana Persada.



Gambar 3. 5 Radiografi Test

### 3.4.3 Pengujian Ultrasonik (UT)

Pengujian Ultrasonik bertujuan untuk mengetahui adanya cacat pada logam las dengan menggunakan gelombang ultrasonic yang diberikan pada obyek melalui sumber (probe), dimana pantulan gelombang akan mengindikasikan ada atau tidaknya cacat. Pengujian ini dilakukan di BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional).



Gambar 3. 6 Pengujian Ultrasonik

### 3.4.4 Uji Mekanis

#### 1. Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan yang dilakukan di Laboratorium QC (*Quality Control*) FSCM ini bertujuan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada sampel pengelasan yaitu pada logam induk, daerah HAZ dan pada kampuh las.

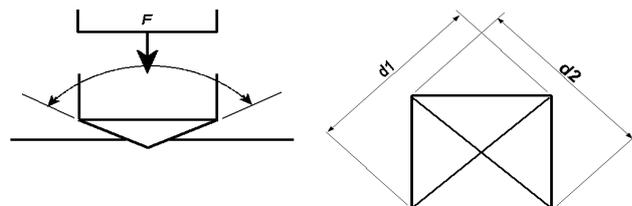
$$VHN = \frac{1852 \times P}{d^2} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

k : 1852

P : beban (*gramforce*)

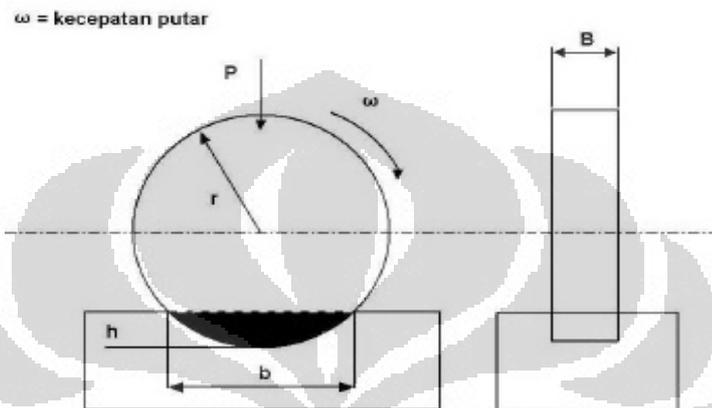
d : diameter jejak ( $\mu\text{m}$ )



Gambar 3. 7 Penampang Indentor Uji Microhardness

## 2. Uji Keausan

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



**Gambar 3. 8** Pengujian Keausan

Volume material yang terabrasi ( $W$ ) :

$$W = B.b^3/12r \dots\dots\dots (4)$$

Dengan  $B$  adalah tebal revolving disc (mm),  $r$  jari-jari disc (mm),  $b$  lebar celah material yang terabrasi (mm),

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

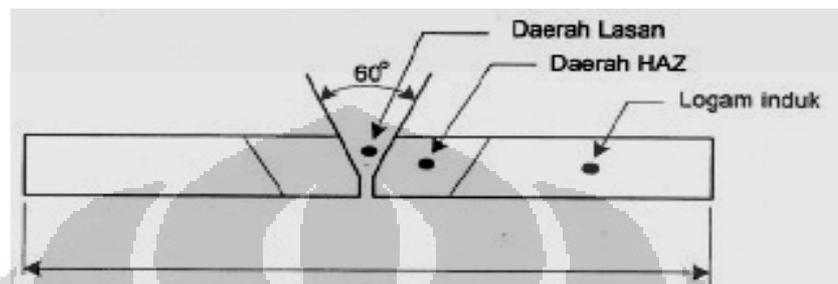
$$V = W/x = B.b^3/12r.x \dots\dots\dots (5)$$

## 3. Uji Tekuk

Uji tekuk memiliki tujuan untuk mengetahui kekuatan sambungan las pada daerah muka las. Pengujian ini dilakukan di laboratorium metalurgi fisik dengan menggunakan mesin uji tekuk Shimadzu.

### 3.4.5 Pengamatan Mikro

Pengamatan struktur makro dan mikro dilakukan untuk melihat permukaan hasil lasan secara mikro, fasa dan permukaan fraktografi. Pengambilan struktur mikro dilakukan pada daerah logam las, HAZ, dan logam induk.



**Gambar 3. 9** Lokasi Pengambilan Foto Mikro

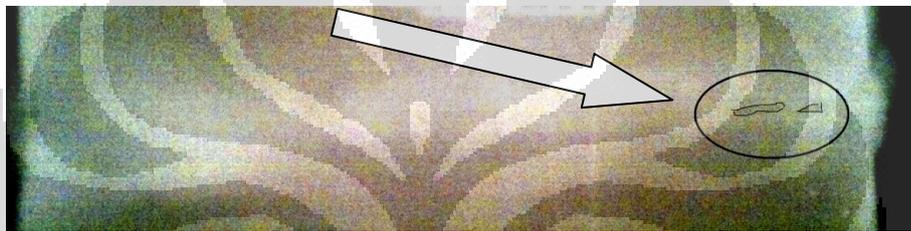
## BAB 4

### DATA DAN PEMBAHASAN

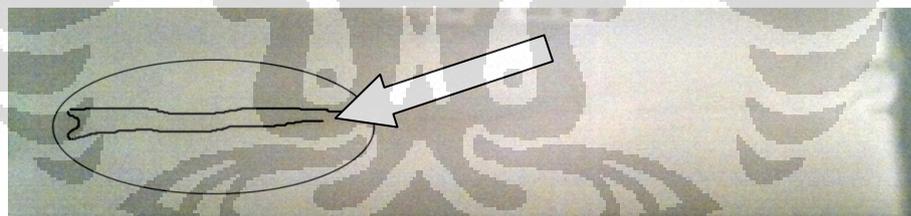
#### 4.1 Data Radiografi dan Analisa Ketahanan Retak

##### 4.1.1 Analisa Ketahanan Retak Sampel Tanpa Pemanasan Awal

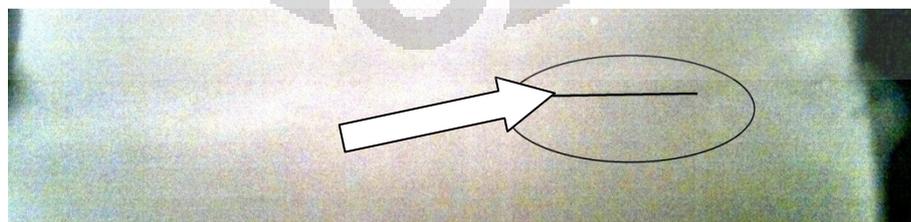
Berdasarkan data hasil foto radiografi pada sampel dengan tanpa pemanasan awal didapatkan hasil bahwa pada keempat sampel tersebut tidak ditemukan adanya retak dingin. Hasil foto radiografi dari sampel tanpa pemanasan awal ditunjukkan pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 berikut ini.



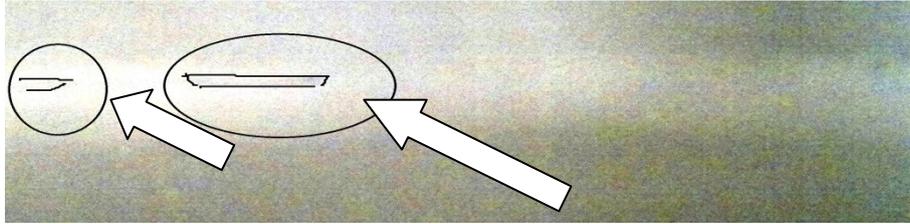
**Gambar 4. 1** Foto Radiografi Sampel Pengelasan ketebalan 12 mm dengan Elektroda *root* E 7018; Tanpa Pemanasan awal



**Gambar 4. 2** Foto Radiografi Sampel Pengelasan ketebalan 12 mm dengan Elektroda *root* MG NOX 35; Tanpa Pemanasan awal



**Gambar 4. 3** Foto Radiografi Sampel Pengelasan ketebalan 16 mm dengan Elektroda *root* E 7018; Tanpa Pemanasan awal

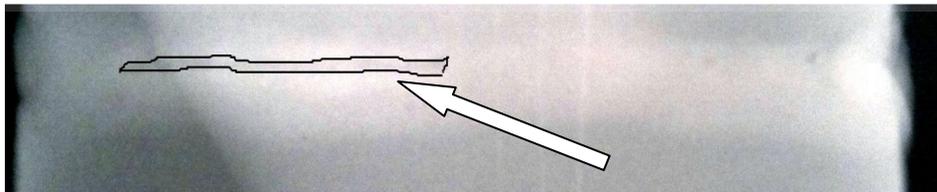


**Gambar 4. 4** Foto Radiografi Sampel Pengelasan ketebalan 16 mm dengan Elektroda *root* MG NOX 35; Tanpa Pemanasan awal

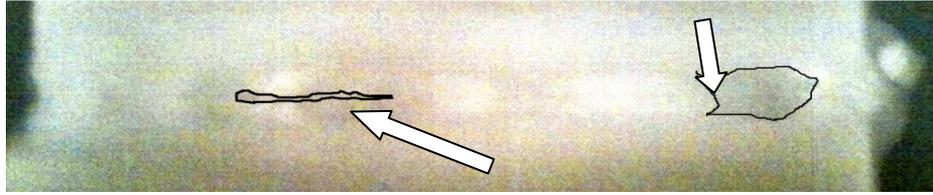
Adanya pengelasan *multilayer* yang diberikan pada keempat sampel ini memberikan pengaruh terhadap kehadiran retak dingin pada daerah pengelasan. Laju pendinginan yang terjadi dengan pengelasan multi layer yang diberikan memperkecil adanya gradien temperatur pada saat terjadi proses pembekuan. Dengan ini, keempat sampel memiliki laju pendinginan yang lebih lambat sehingga dengan pendinginan yang lebih lambat mengakibatkan terjadinya pembentukan tegangan sisa dan fasa-fasa getas yang sangat minim. Dengan sedikitnya tegangan sisa dan fasa-fasa getas yang sangat kecil sehingga retak dingin yang diakibatkan dari tegangan sisa dan fasa – fasa getas tersebut tidak terbentuk. Tetapi, dengan tidak adanya retak dingin bukan berarti tidak terdapat cacat dalam hasil lasan. Pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 terlihat bahwa cacat yang terjadi adalah cacat yang memiliki bentuk bidang seperti *slag of inclusion*, *incomplete penetration* dan *lack of fusion*.

#### 4.1.2 Analisa Ketahanan Retak Sampel dengan Perlakuan Pemanasan awal

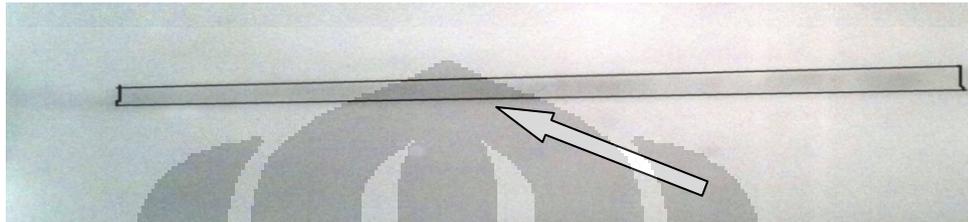
Hasil foto radiografi dari sampel tanpa perlakuan pemanasan awal ditunjukkan pada Gambar 4.5, Gambar 4.6, Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 berikut ini.



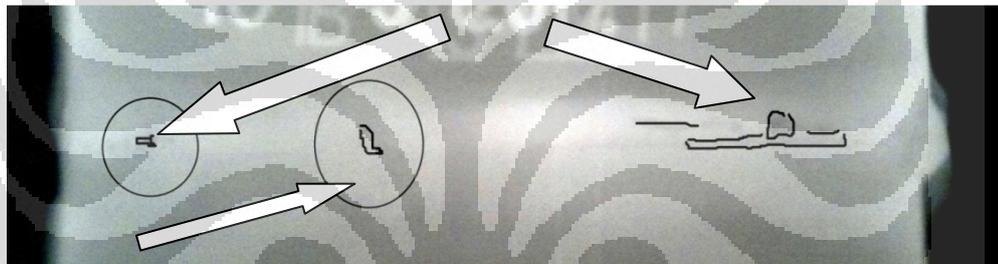
**Gambar 4. 5** Foto Radiografi Sampel Pengelasan ketebalan 12 mm dengan Elektroda *root* E 7018; Pemanasan awal 200°C



**Gambar 4. 6** Foto Radiografi Sampel Pengelasan ketebalan 12 mm dengan Elektroda *root* MG NOX 35; Pemanasan awal 200°C



**Gambar 4. 7** Foto Radiografi Sampel Pengelasan ketebalan 16 mm dengan Elektroda *root* E 7018; Pemanasan awal 200°C



**Gambar 4. 8** Foto Radiografi Sampel Pengelasan ketebalan 16 mm dengan Elektroda *root* MG NOX 35; Pemanasan awal 200°C

Adanya pengelasan *multilayer* yang diberikan pada keempat sampel ini memberikan pengaruh terhadap kehadiran retak dingin pada daerah pengelasan. Laju pendinginan yang terjadi dengan pengelasan multi layer yang diberikan memperkecil adanya gradien temperatur pada saat terjadi proses pembekuan. Dengan ini, keempat sampel memiliki laju pendinginan yang lebih lambat sehingga dengan pendinginan yang lebih lambat mengakibatkan terjadinya pembentukan tegangan sisa dan fasa-fasa getas yang sangat minim. Dengan sedikitnya tegangan sisa dan fasa-fasa getas yang sangat kecil sehingga retak dingin yang diakibatkan dari tegangan sisa dan fasa – fasa getas tersebut tidak terbentuk. Dengan adanya perlakuan pemanasan awal butir yang dihasilkan juga

lebih kasar (*coarse grain*) sehingga *ductility* juga lebih baik. Dengan rendahnya tegangan sisa yang terbentuk dan keuletan yang lebih tinggi pada daerah lasan maka retak dingin tidak terjadi. Tetapi, dengan tidak adanya retak dingin bukan berarti tidak terdapat cacat dalam hasil lasan. Pada Gambar 4.5, Gambar 4.6, Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 terlihat bahwa cacat yang terjadi adalah cacat yang memiliki bentuk bidang seperti *slag of inclusion*, *incomplete penetration* dan *lack of fusion*. Jenis cacat tersebut merupakan cacat yang diakibatkan kesalahan dari pengelas yang bertugas untuk menyambung sampel.

#### 4.2 Data Pengujian Ultrasonik dan Analisa Ketahanan Retak

Tabel 4. 1 Data dan Jenis Cacat Hasil Pengujian Ultrasonik

Kode	Ketebalan (mm)	Cacat	Panjang (mm)	Kedalaman (mm)
C8-E70-np12	12	-	0	0
C8-MG-np12	12	Cacat planar	35	4,2 - 11,23
			16	6,14 - 9,8
C8-E70-p12	12	Cacat planar	32	4,79 - 8,08
C8-MG-p12	12	Cacat planar	5	2,7 - 8,27
			8	4,8 - 7,41
C8-E70-np16	16	Cacat planar	18	4,47 - 15,69
C8-MG-np16	16	Cacat planar	14	12,6 - 13,47
			36	12,6 - 15,6
C8-E70-p16	16	Cacat planar	all	8,75 - 12,47
C8-MG-p16	16	Cacat planar	9	8,09-10,8

Keterangan kode:  
 C8-E70-np12 dan C8-E70-np16 : *root* E 7018 dan *cap* MG NOX 35, tanpa pemanasan awal.  
 C8-MG-np12 dan C8-MG-np16 : *root* MG NOX 35 dan *cap* E 7018, tanpa pemanasan awal.  
 C8-E70-p12 dan C8-E70-p16 : *root* E 7018 dan *cap* MG NOX 35, pemanasan awal 200°C.  
 C8-MG-p12 dan C8-MG-p16 : *root* MG NOX 35 dan *cap* E 7018, pemanasan awal 200°C.

Berdasarkan hasil pengujian ultrasonik yang telah terekam dari Tabel 4.1 cacat pengelasan yang terjadi pada sampel dengan tanpa perlakuan pemanasan

awal, didapatkan bahwa hasil bahwa pada semua sampel tersebut tidak ditemukan adanya retak dingin. Cacat yang terdapat pada sampel berdasarkan pengujian ini adalah *Incomplete penetration*, *lack of fusion* dan *slag of inclusion* yang merupakan merupakan cacat yang berbentuk bidang akibat kesalahan dari pengelas dan bukan akibat dari perlakuan yang diaplikasikan pada sampel.

### 4.3 Data dan Analisa Distribusi Nilai Kekerasan

Tabel 4. 2 Distribusi Kekerasan CREUSABRO@8000 12 mm; Root Elektroda E 7018

Pemanasan awal (°C)	Root / Cap	Kekerasan (VHN)							
		Logam Dasar	HAZ	Kampuh Las	HAZ	Logam Dasar	Cap	Interface	Root
		1	2	3	4	5	1	2	3
No	Cap	349	320	230	351	376	253	252	246
	Root	341	332	197	328	346			
200	Cap	450	394	359	368	393	359	349	215
	Root	443	332	209	328	382			

Tabel 4. 3 Distribusi Kekerasan CREUSABRO@8000 12 mm; Root Elektroda MG NOX 35

Pemanasan awal (°C)	Root / Cap	Kekerasan (VHN)							
		Logam Dasar	HAZ	Kampuh Las	HAZ	Logam Dasar	Cap	Interface	Root
		1	2	3	4	5	1	2	3
No	Cap	397	382	362	384	410	427	393	239
	Root	379	353	351	351	370			
200	Cap	423	413	317	388	408	351	277	237
	Root	418	376	238	311	373			

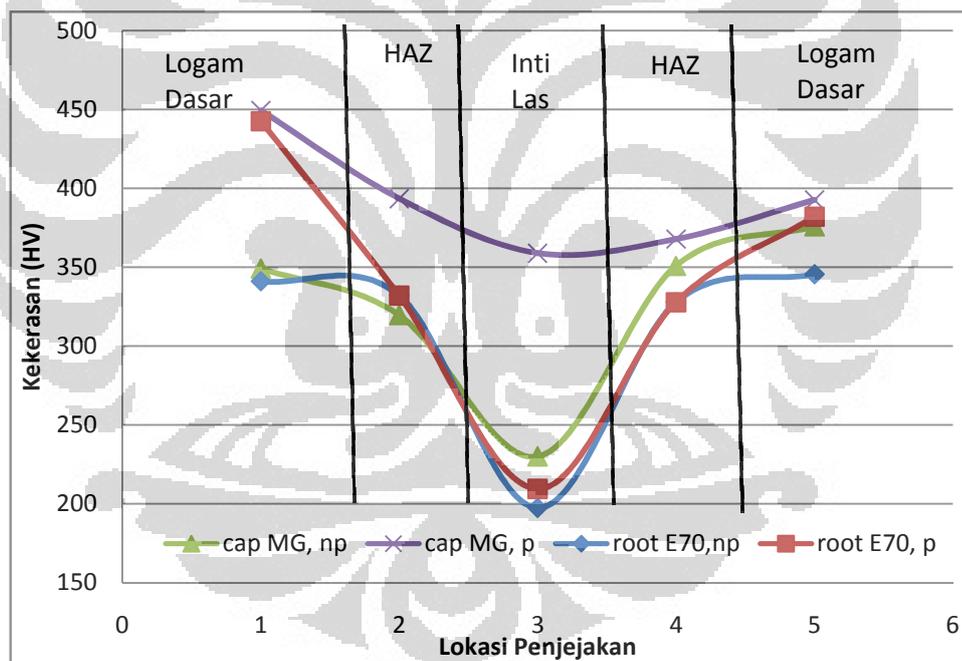
Tabel 4. 4 Distribusi Kekerasan CREUSABRO@8000 16 mm; Root Elektroda E 7018

Pemanasan awal (°C)	Root / Cap	Kekerasan (VHN)							
		Logam Dasar	HAZ	Kampuh Las	HAZ	Logam Dasar	Cap	Interface	Root
		1	2	3	4	5	1	2	3
No	Cap	388	340	330	384	413	320	214	175
	Root	333	320	306	321	410			
200	Cap	423	416	342	359	402	419	369	288
	Root	450	351	186	352	383			

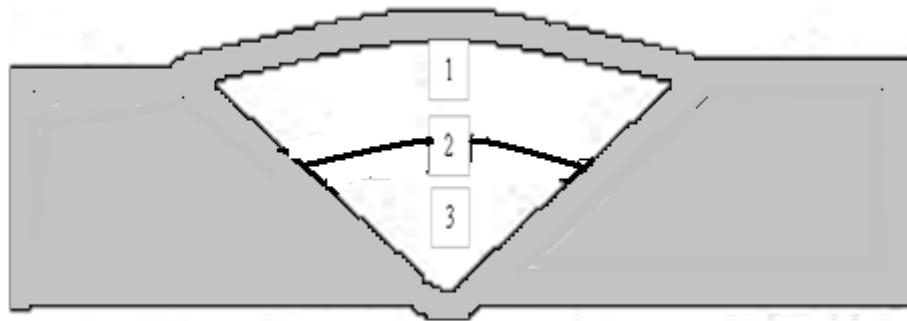
**Tabel 4. 5** Distribusi Kekerasan CREUSABRO®8000 16 mm; *Root* Elektroda MG NOX 35

Pemanasan awal (°C)	Root / Cap	Kekerasan (VHN)							
		Logam Dasar	HAZ	Kampuh Las	HAZ	Logam Dasar	Cap	Interface	Root
		1	2	3	4	5	1	2	3
No	Cap	415	384	361	362	405	399	298	229
	Root	395	383	223	317	398			
200	Cap	478	371	325	351	418	342	312	214
	Root	461	308	279	294	424			

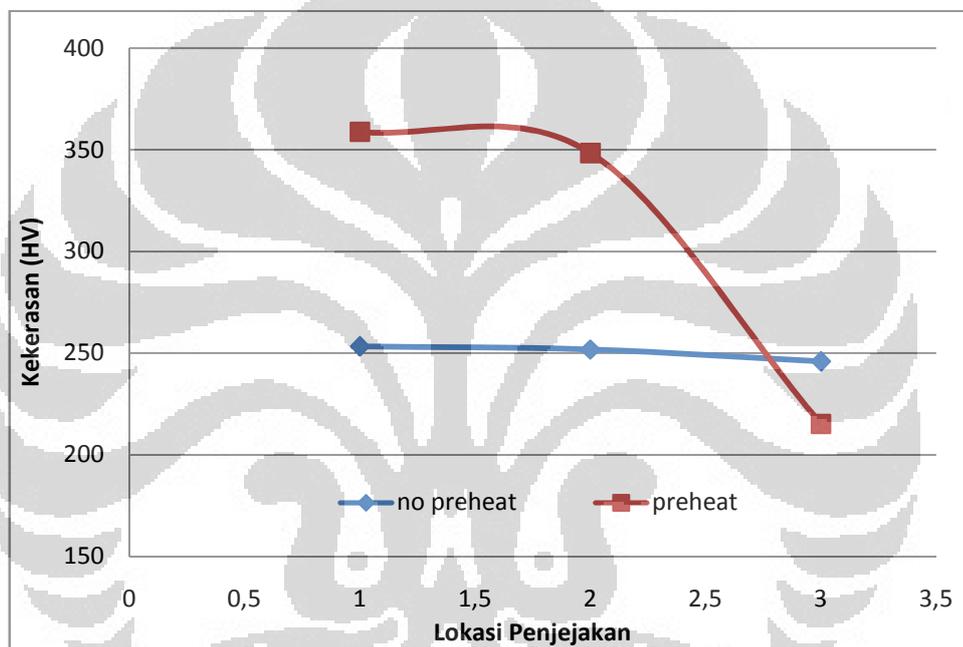
#### 4.3.1 Analisa Distribusi Kekerasan Sampel Pemanasan awal dan Tanpa Pemanasan awal pada Sampel Ketebalan 12mm.



**Gambar 4. 9** Grafik distribusi kekerasan pada Berbagai Daerah Sampel CREUSABRO®8000 12 mm; *cap* MG NOX 35 dan *root* E 7018.



Gambar 4. 10 Urutan lokasi enjejakan di daerah las



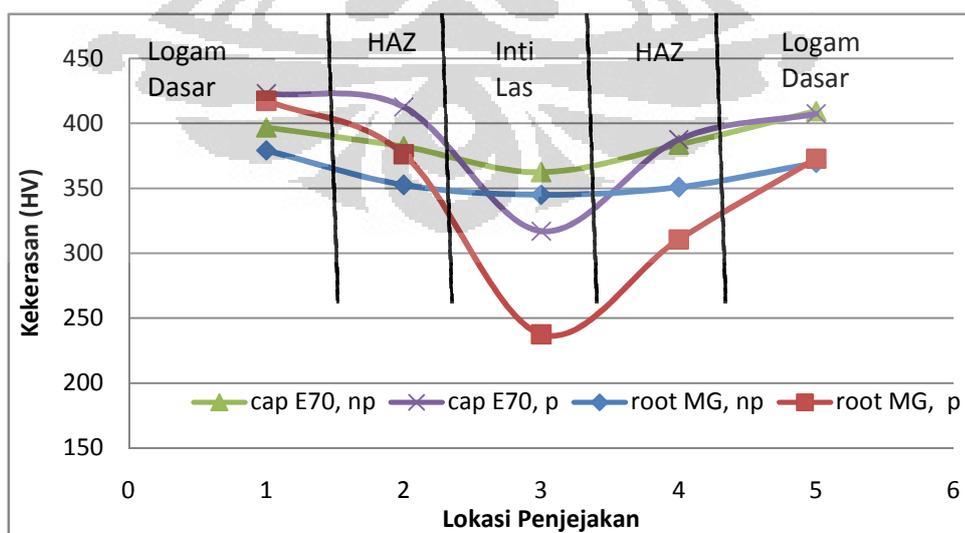
Gambar 4. 11 Grafik distribusi kekerasan pada Daerah Las CREUSABRO®8000 12 mm; Elektroda *root* E7018 dan *cap* MG NOX 35.

Gambar 4.9, di atas menunjukkan distribusi nilai kekerasan dari 2 sampel (tebal 12 mm) dengan *root* E7018 dan *cap* MG NOX 35 pada daerah logam dasar, HAZ, dan kumpuh las pada sampel las dengan elektroda E 7018 sebagai *root* dan MG NOX 35 sebagai *cap*. Pada masing-masing perlakuan pemanasan awal, nilai kekerasan tertinggi terletak pada logam dasar diikuti HAZ dan terakhir adalah kumpuh las. Pada Gambar 4.10 merupakan lokasi penjejakan dalam pengujian kekerasan mikro dengan hasil yang terlihat pada Gambar 4.11 terlihat *trend* penurunan kekerasan dari *cap*, *Interface*, dan *root*.

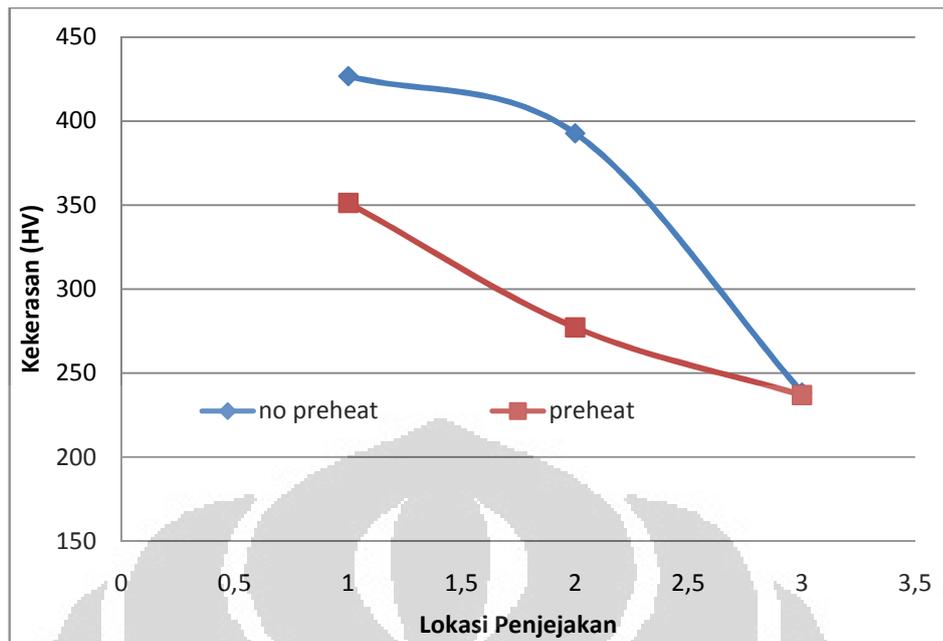
Logam dasar merupakan daerah dengan nilai kekerasan paling tinggi karena sifat mekanis dari CREUSABRO® 8000 yang memiliki kekerasan tinggi. Untuk HAZ memiliki nilai kekerasan yang menurun dibandingkan dengan logam dasar. Pengaruh panas saat proses pengelasan berlangsung mempengaruhi struktur butir dari daerah ini dimana menurunkan nilai kekerasannya.

Sedangkan pada kampuh las dimana menggunakan logam pengisi *austenitic stainless steel* (MG NOX 35) dan *carbon steel* (E 7018), nilai kekerasan menurun dibandingkan kekerasan logam dasar dan HAZ. Elektroda MG NOX 35 dan E 7018 memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan logam dasar yang digunakan yaitu CREUSABRO® 8000.

Pada Gambar 4.11, MG NOX 35 diberi perlakuan pemanasan awal memiliki kekerasan yang lebih tinggi jika dibandingkan tanpa perlakuan pemanasan awal. Hal ini terjadi karena pemanasan awal yang diberikan menyebabkan kecilnya laju pendinginan yang terjadi dimana dengan keadaan ini memberikan waktu untuk terbentuknya karbida pada daerah lasan. Sedangkan pada E 7018, yaitu nilai kekerasan E 7018 dengan Pemanasan awal akan turun karena kecepatan pendinginan sangat ditentukan oleh ada atau tidaknya perlakuan pemanasan awal yang dilakukan. Semakin besar temperatur pemanasan awal maka semakin lambat kecepatan pendinginan yang terjadi, sehingga solidifikasi yang lambat menyebabkan butir memperoleh waktu untuk semakin besar sehingga kekerasan pun menurun.



**Gambar 4. 12** Grafik distribusi kekerasan pada Berbagai Daerah Sampel CREUSABRO®8000 12mm; Root MG NOX 35 dan cap E 7018.



**Gambar 4. 13** Grafik distribusi kekerasan pada Daerah Las CREUSABRO®8000 12 mm; Elektroda *root* MG NOX 35 dan *cap* E7018.

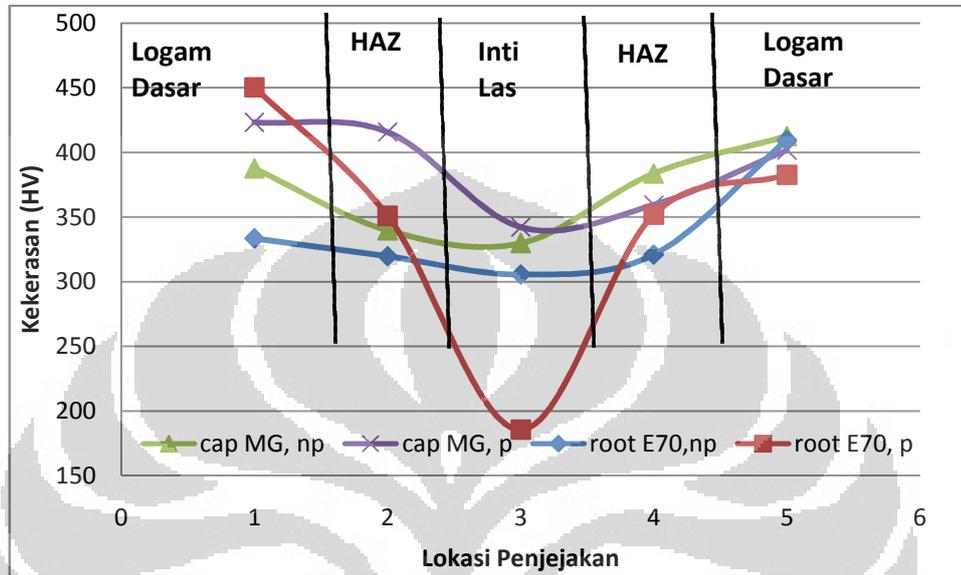
Pada Gambar 4.12 di atas, menunjukkan distribusi nilai kekerasan dari 2 sampel (tebal 12 mm) dengan *root* MG NOX 35 dan *cap* E7018 pada daerah logam dasar, HAZ, dan kampuh las pada sampel las dengan elektroda MG NOX 35 sebagai *root* dan E 7018 sebagai *cap*. Pada masing-masing perlakuan pemanasan awal, nilai kekerasan tertinggi terletak pada logam dasar diikuti HAZ dan terakhir adalah kampuh las. Pada Gambar 4.13 di atas terlihat *trend* penurunan kekerasan dari *cap*, *Interface*, dan *root*.

MG NOX 35 diberi perlakuan pemanasan awal memiliki kekerasan yang rendah jika dibandingkan tanpa pemanasan awal. Hal ini terjadi karena adanya pemanasan awal yang diberikan ditambah dengan temperatur pengelasan untuk *cap* menyebabkan memberikan waktu bagi krom berdifusi ke *fusion line* lasan, sehingga menyebabkan pembentukan karbida terjadi di daerah *fusion line* dan mengakibatkan kekerasan *root* MG NOX 35 dengan pemanasan awal memiliki kekerasan yang lebih rendah.

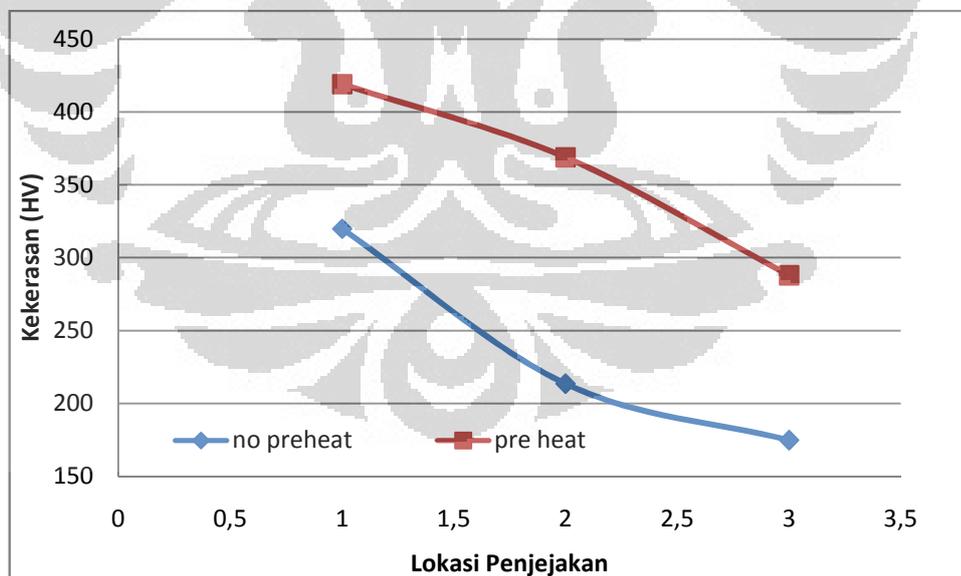
Sedangkan pada E 7018 nilai kekerasan E 7018 dengan Pemanasan awal akan turun karena kecepatan pendinginan sangat ditentukan oleh ada atau tidaknya perlakuan pemanasan awal yang dilakukan. Semakin besar temperatur pemanasan awal maka semakin lambat kecepatan pendinginan yang terjadi,

sehingga solidifikasi yang lambat menyebabkan butir memperoleh waktu untuk semakin besar sehingga kekerasan pun menurun.

#### 4.3.2 Analisa Distribusi Kekerasan Sampel Pemanasan awal dan Tanpa Pemanasan awal pada Sampel Ketebalan 16mm.



**Gambar 4.14** Grafik distribusi kekerasan pada Berbagai Daerah Sampel CREUSABRO®8000 16 mm; *root E 7018 cap MG NOX 35*.

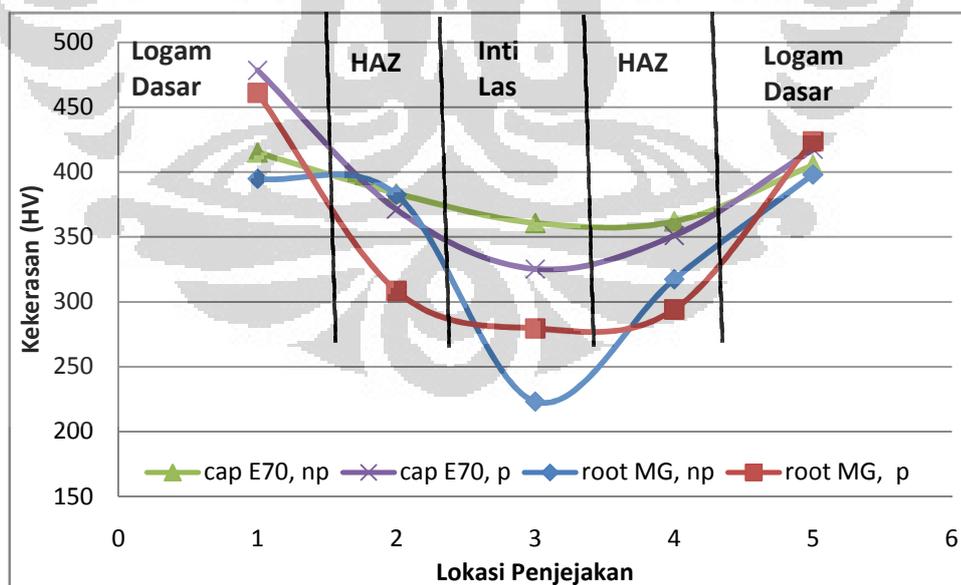


**Gambar 4.15** Grafik distribusi kekerasan pada Daerah Las CREUSABRO®8000 16 mm; Elektroda *root E 7018 cap MG NOX 35*.

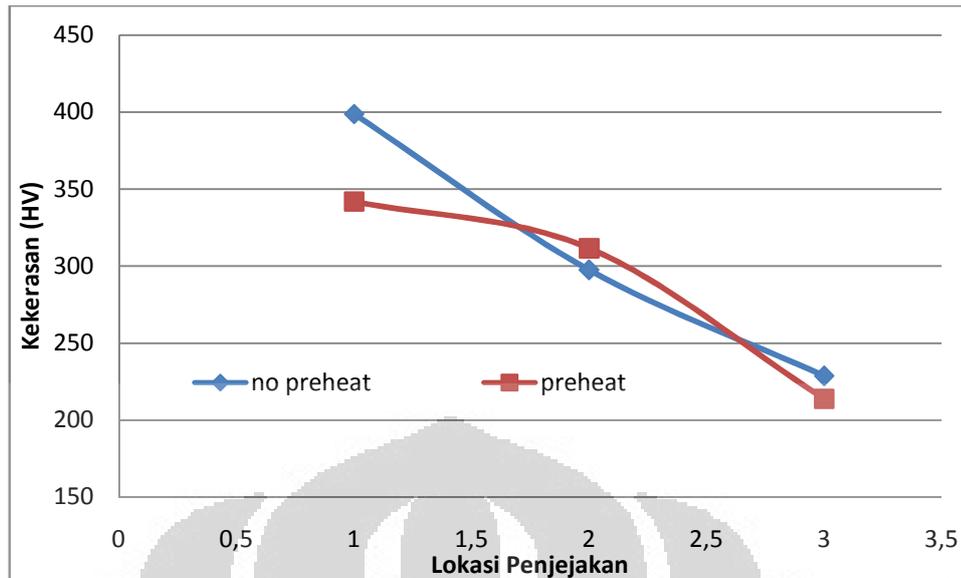
Gambar 4.14, di atas menunjukkan distribusi nilai kekerasan dari 2 sampel (tebal 16 mm) yang tanpa dan dengan pemanasan awal pada daerah logam dasar, HAZ dan kumpuh las pada sampel las dengan elektroda MG NOX 35 sebagai *root* dan E 7018 sebagai *cap*. Pada masing-masing perlakuan pemanasan awal, nilai kekerasan tertinggi terletak pada logam dasar diikuti HAZ dan terakhir adalah kumpuh las. Pada Gambar 4.15 di atas terlihat *trend* penurunan kekerasan dari *cap*, *Interface*, dan *root*.

MG NOX 35 diberi pemanasan awal memiliki kekerasan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan yang lain. Hal ini terjadi karena pemanasan awal yang diberikan menyebabkan kecilnya laju pendinginan yang terjadi yang kemudian dengan keadaan ini memberikan waktu untuk terbentuknya karbida pada daerah lasan yang menghasilkan naiknya kekerasan dari daerah lasan dari MG NOX 35.

Sedangkan pada E 7018 berlaku sebaliknya, yaitu nilai kekerasan E 7018 dengan Pemanasan awal akan turun karena kecepatan pendinginan sangat ditentukan oleh ada atau tidaknya perlakuan pemanasan awal yang dilakukan. Semakin besar temperatur pemanasan awal maka semakin lambat kecepatan pendinginan yang terjadi, sehingga solidifikasi yang lambat menyebabkan butir memperoleh waktu untuk semakin besar sehingga kekerasan pun menurun.



**Gambar 4. 16** Grafik distribusi kekerasan pada Berbagai Daerah Sampel CREUSABRO®8000 16 mm; *Root* MG NOX 35 dan *cap* E7018.



**Gambar 4. 17** Grafik distribusi kekerasan pada Daerah Las CREUSABRO®8000 16 mm; Elektroda *root* MG NOX 35 dan *cap* E7018

Gambar 4.16 di atas menunjukkan distribusi nilai kekerasan dari 2 sampel (tebal 16 mm) yang tanpa dan dengan pemanasan awal pada daerah logam dasar, HAZ dan kampuh las pada sampel las dengan elektroda sebagai MG NOX 35 *root* dan E 7018 sebagai *cap*. Pada masing-masing pemanasan awal, nilai kekerasan tertinggi terletak pada logam dasar diikuti HAZ dan terakhir adalah kampuh las. Pada Gambar 4.17 di atas terlihat *trend* penurunan kekerasan dari *cap*, *Interface*, dan *root*.

Logam dasar merupakan daerah dengan nilai kekerasan paling tinggi karena sifat mekanis dari CREUSABRO® 8000 yang memiliki kekerasan tinggi. Untuk HAZ 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.

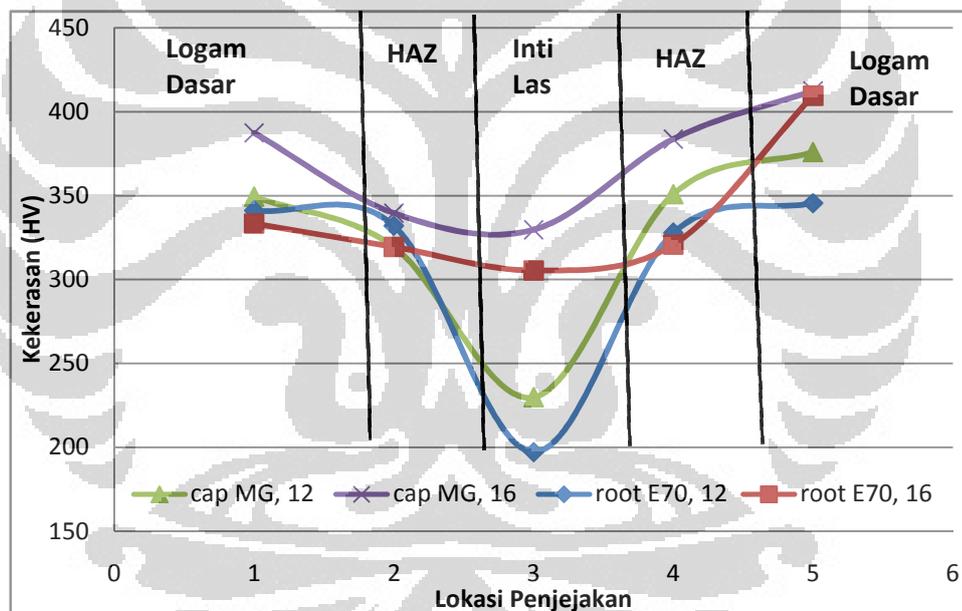
Sedangkan pada kampuh las dimana menggunakan logam pengisi *austenitic stainless steel* (MG NOX 35) dan *carbon steel* (E 7018), nilai kekerasan menurun dibandingkan kekerasan logam dasar dan HAZ. Elektroda MG NOX 35 dan E 7018 memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan logam dasar yang digunakan yaitu CREUSABRO® 8000.

Berdasarkan Gambar 4.16, MG NOX 35 diberi pemanasan awal memiliki kekerasan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan yang lain. Hal ini terjadi

karena pemanasan awal yang diberikan menyebabkan kecilnya laju pendinginan yang terjadi yang kemudian dengan keadaan ini memberikan waktu untuk terbentuknya karbida pada daerah lasan yang menghasilkan naiknya kekerasan dari daerah lasan dari MG NOX 35.

Sedangkan E 7018 berlaku sebaliknya, yaitu nilai kekerasan E 7018 dengan pemanasan awal akan turun karena kecepatan pendinginan lambat yang dikarenakan pemanasan awal mengakibatkan solidifikasi yang lambat dan menyebabkan butir memperoleh waktu untuk semakin besar sehingga kekerasan pun menurun.

#### 4.3.3 Analisa Distribusi Kekerasan Sampel Tanpa Pemanasan Awal

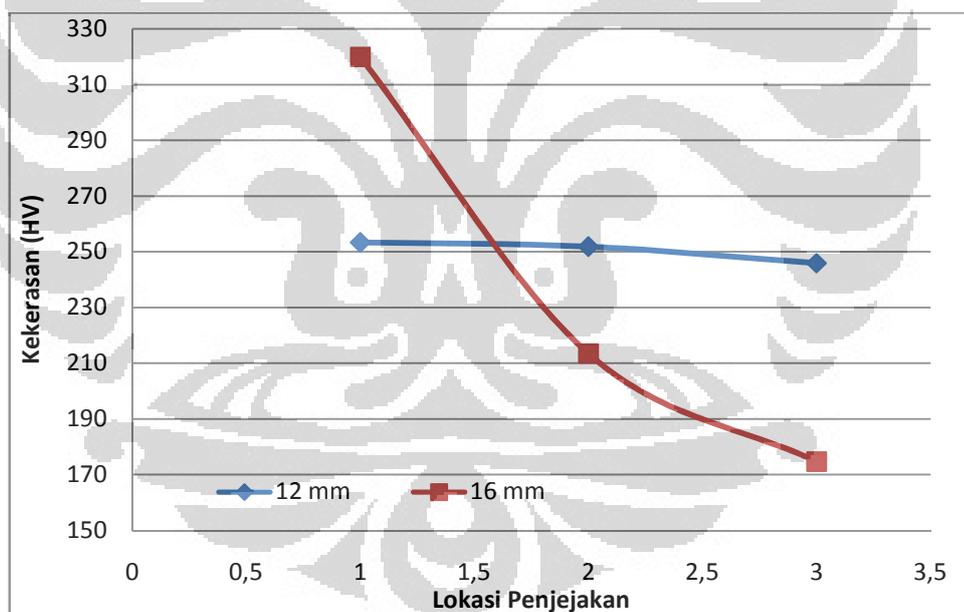


**Gambar 4. 18** Grafik distribusi kekerasan pada Berbagai Daerah sampel CREUSABRO®8000 tanpa pemanasan awal; Elektroda *root* E7018 dan *cap* MG NOX 35.

Pada Gambar 4.18, di atas menunjukkan distribusi nilai kekerasan dari 2 sampel (ketebalan 12 mm dan 16mm) yang tanpa di pemanasan awaling (dengan ketebalan 12 mm dan 16 mm) pada daerah logam dasar, HAZ dan kampuh las pada sampel las dengan elektroda E 7018 sebagai *root* dan MG NOX 35 sebagai *cap*. Pada masing-masing perlakuan pemanasan awal, nilai kekerasan tertinggi terletak pada logam dasar diikuti HAZ dan terakhir adalah kampuh las.

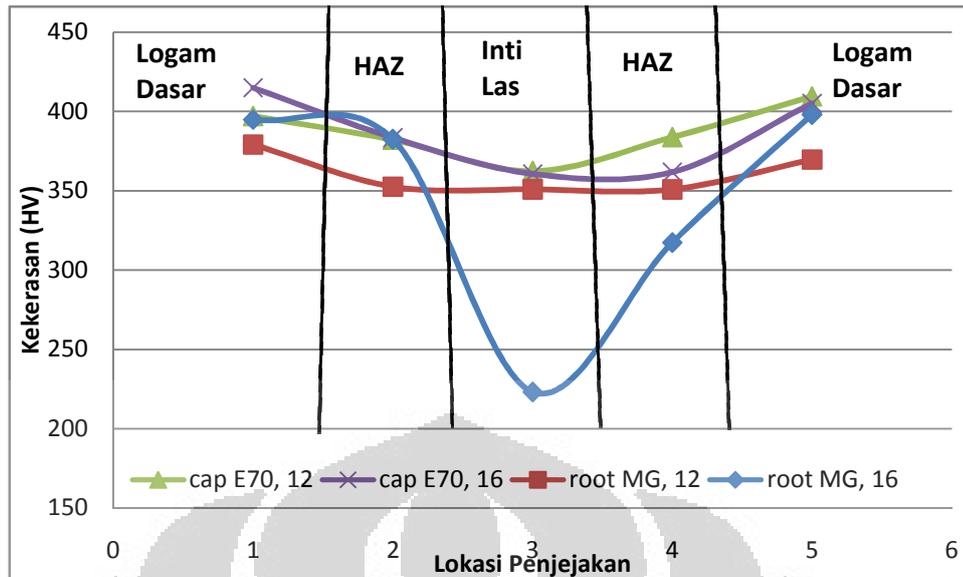
Berdasarkan Gambar 4.19 Kekerasan tertinggi dimiliki oleh *cap* MG NOX 35 dari pelat 16 mm. Hal ini terjadi karena *input* panas yang diberikan cukup besar, sehingga mengakibatkan keadaan yang dapat memberikan waktu untuk terbentuknya karbida pada daerah lasan. Dan hal ini tidak terjadi pada MG NOX 35 dari pelat 12 mm, hal ini kemungkinan karena *input* panas yang diberikan terlalu besar yang berakibat menurunnya kekerasan karena karbida yang diharapkan terbentuk di daerah lasan tidak muncul di daerah lasan tetapi terbentuk di daerah *fusion line*.

Kekerasan dari E 7018 dari pelat 16mm lebih tinggi dibandingkan pelat 12mm. Hal ini dikarenakan pendinginan yang cepat dikarenakan pelat yang tebal mengakibatkan butir dari pelat 16mm lebih halus dari pada 12mm. Seperti yang telah dibahas di atas sebelumnya bahwa laju pendinginan yang cepat mengakibatkan tidak sempatnya butir untuk membesar. Karena semakin besar butir, maka kekerasan pun akan semakin turun.



**Gambar 4. 19** Grafik distribusi kekerasan pada Daerah Las CREUSABRO®8000 tanpa pemanasan awal; Elektroda *root* E7018 dan *cap* MG NOX 35.

Pada Gambar 4.19 di atas terlihat *trend* penurunan kekerasan dari *cap*, *Interface*, dan *root*.

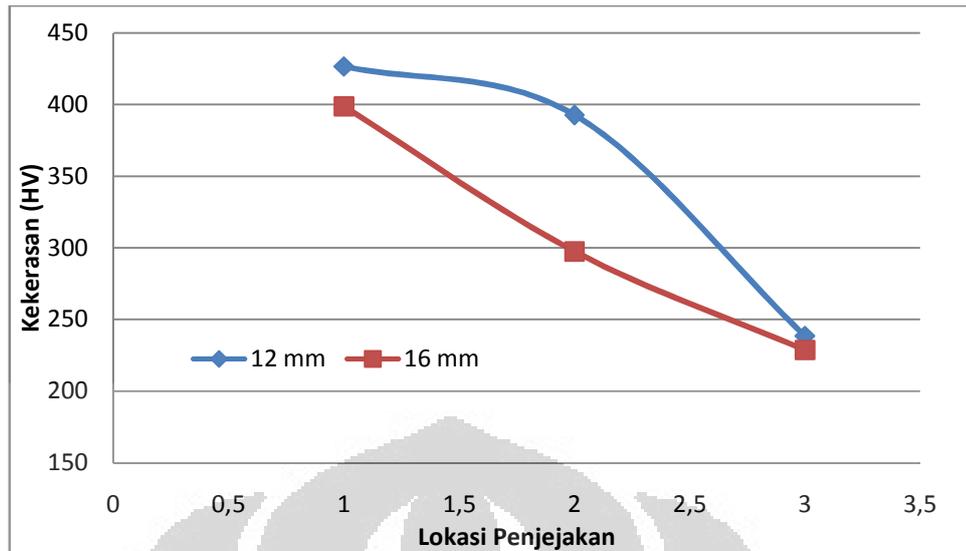


**Gambar 4. 20** Grafik distribusi kekerasan pada Berbagai Daerah sampel CREUSABRO®8000 tanpa pemanasan awal; Elektroda *root* MG NOX 35 dan *cap* E7018.

Gambar 4.20, di atas menunjukkan distribusi nilai kekerasan dari 2 sampel (ketebalan 12mm dan 16mm) yang tanpa di pemanasan awal pada daerah logam dasar, HAZ dan kampuh las pada sampel las dengan elektroda MG NOX 35 sebagai *root* dan E 7018 sebagai *cap*. Pada masing-masing Ketebalan, nilai kekerasan tertinggi terletak pada logam dasar diikuti HAZ dan terakhir adalah kampuh las.

Berdasarkan Gambar 4.20 kekerasan yang dimiliki oleh *root* MG NOX 35 dari pelat 16mm lebih rendah dibandingkan dengan MG NOX dari pelat 12mm. Kecepatan pendinginan dari pelat 16mm lebih tinggi menyebabkan tidak adanya waktu untuk membentuk karbida. Dan hal ini tidak terjadi pada MG NOX 35 dari pelat 12mm, laju pendinginan yang lebih lambat dari pelat dengan ketebalan 12mm ini menyebabkan adanya waktu untuk karbida terbentuk didaerah lasan.

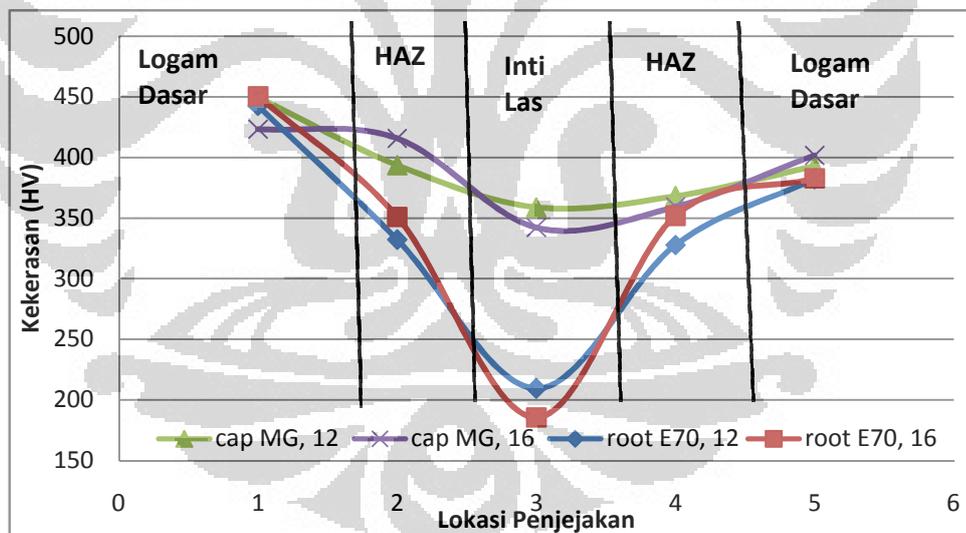
Kekerasan dari E 7018 dari pelat 16mm dan 12m relatif sama. Hal ini dikarenakan pendinginan yang cepat menghasilkan butir yang halus sehingga kekerasan menjadi meningkat.



**Gambar 4. 21** Grafik distribusi kekerasan pada Daerah Las CREUSABRO®8000 tanpa pemanasan awal; Elektroda *root* MG NOX 35 dan *cap* E7018.

Pada Gambar 4.21 di atas terlihat *trend* penurunan kekerasan dari *cap*, *Interface*, dan *root*.

#### 4.3.4 Analisa Distribusi Kekerasan Sampel Perlakuan Pemanasan Awal 200°C

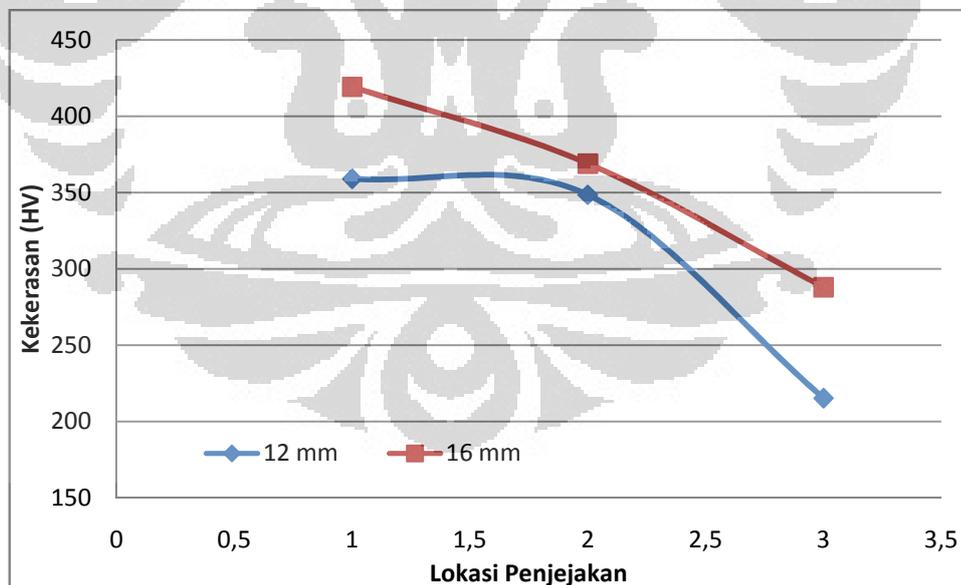


**Gambar 4. 22** Grafik distribusi kekerasan pada Berbagai Daerah sampel CREUSABRO®8000 dengan pemanasan awal; Elektroda *root* E7018 dan *cap* MG NOX 35.

Gambar 4.22, di atas menunjukkan distribusi nilai kekerasan dari 2 sampel (ketebalan 12mm dan 16mm) yang dilakukan perlakuan pemanasan awal pada daerah logam dasar, HAZ dan kampuh las pada sampel las pada elektroda E 7018 sebagai *root* dan MG NOX 35 sebagai *cap*. Pada masing-masing

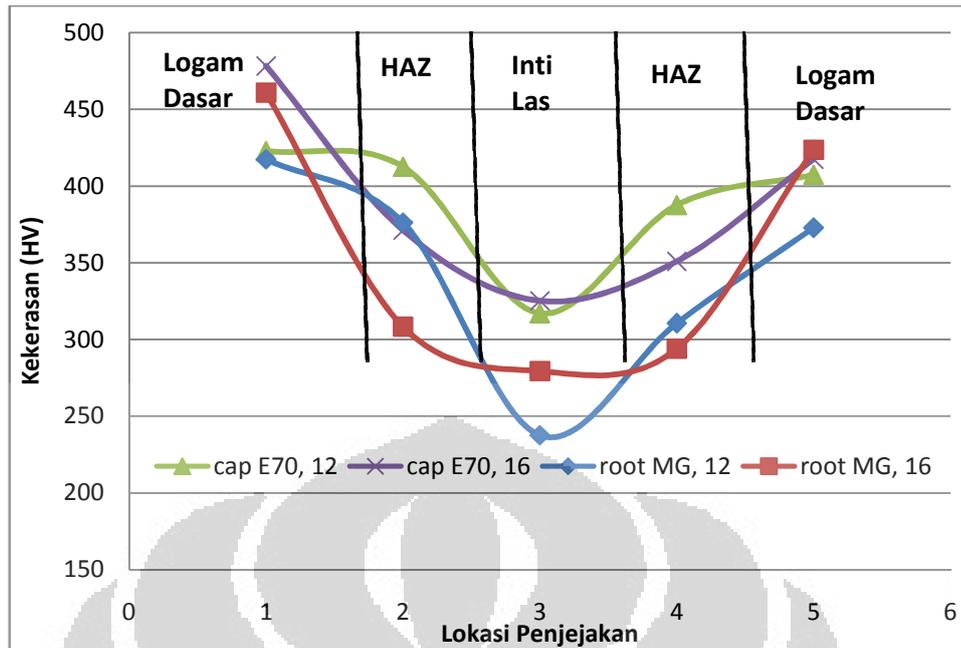
pemanasan awal, nilai kekerasan tertinggi terletak pada logam dasar diikuti HAZ dan terakhir adalah kampuh las.

Berdasarkan Gambar 4.22 Kekerasan yang dimiliki oleh *cap* MG NOX 35 dari pelat 16mm dan 12mm relatif tinggi. Hal ini terjadi karena pemanasan awal yang diberikan cukup besar, sehingga mengakibatkan keadaan yang dapat memberikan waktu untuk terbentuknya karbida pada daerah lasan. Tetapi kekerasan yang dimiliki oleh *root* MG NOX 35 dari pelat 16mm lebih rendah dibandingkan dengan MG NOX dari pelat 12mm. Kecepatan pendinginan dari pelat 16mm lebih tinggi menyebabkan tidak adanya waktu untuk membentuk karbida. Dan hal ini tidak terjadi pada MG NOX 35 dari pelat 12mm, laju pendinginan yang lebih lambat dari pelat dengan ketebalan 12mm ini menyebabkan adanya waktu untuk karbida terbentuk didaerah lasan. Kekerasan dari E 7018 dari pelat 16mm dan 12mm tergolong rendah. Hal ini dikarenakan nilai kekerasan E 7018 dengan Pemanasan awal akan turun karena kecepatan pendinginan lambat yang dikarenakan pemanasan awal mengakibatkan solidifikasi yang lambat dan menyebabkan butir memperoleh waktu untuk semakin besar sehingga kekerasan pun menurun.



**Gambar 4. 23** Grafik distribusi kekerasan pada Daerah Las CREUSABRO®8000 tanpa pemanasan awal; Elektroda *root* E7018 dan *cap* MG NOX 35.

Pada Gambar 4.23 di atas terlihat *trend* penurunan kekerasan dari *cap*, *Interface*, dan *root*.

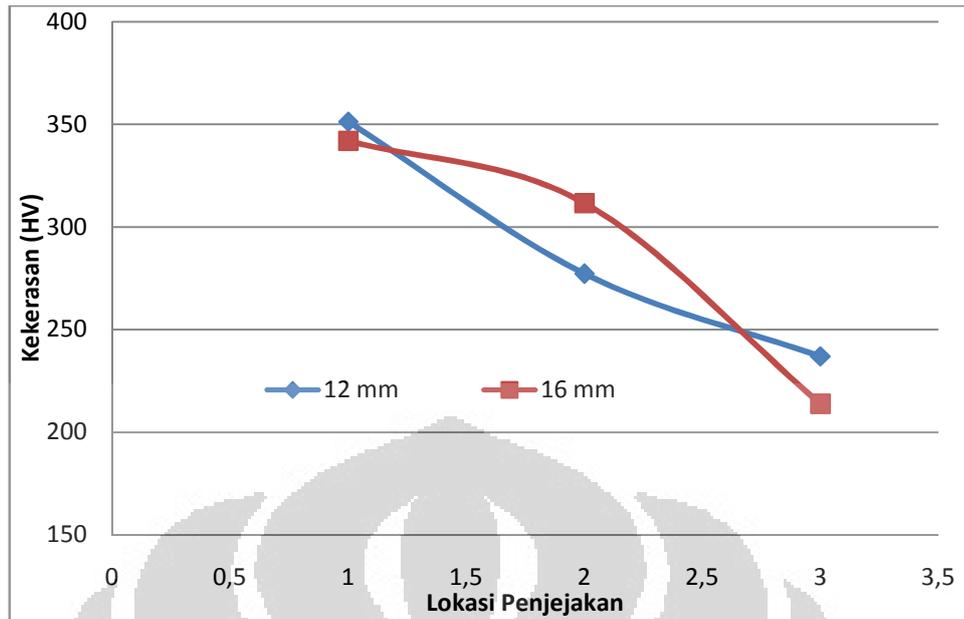


**Gambar 4. 24** Grafik distribusi kekerasan pada Berbagai Daerah sampel CREUSABRO®8000 dengan pemanasan awal; Elektroda *root* MG NOX 35 dan *cap* E7018.

Gambar 4.24, di atas menunjukkan distribusi nilai kekerasan dari 2 sampel (ketebalan 12mm dan 16mm) yang tanpa di pemanasan awal pada daerah logam dasar, HAZ dan kampuh las pada sampel las dengan elektroda MG NOX 35 sebagai *root* dan E 7018 sebagai *cap*. Pada masing-masing Ketebalan, nilai kekerasan tertinggi terletak pada logam dasar diikuti HAZ dan terakhir adalah kampuh las.

Berdasarkan Gambar 4.24 kekerasan yang dimiliki oleh *root* MG NOX 35 dari pelat 12mm lebih rendah dibandingkan dengan MG NOX dari pelat 16mm. Hal ini terjadi karena laju pendinginan yang lambat dan masukan yang panas yang besar, mengakibatkan krom berdifusi dan membentuk karbida di tepi lasan sehinggamenyebabkan menurunnya kekerasan pada daerah lasan. Dan hal ini tidak terjadi pada MG NOX 35 dari pelat 16mm, sehingga kekerasan dari MG NOX dari pelat 16 mm lebih tinggi dibandingkan dengan MG NOX 35 dari pada pelat 12mm.

Kekerasan dari E 7018 dari pelat 16 mm dan 12 mm relatif sama. Hal ini dikarenakan pendinginan yang cepat menghasilkan butir yang halus sehingga kekerasan menjadi meningkat.



**Gambar 4.25** Grafik distribusi kekerasan pada Daerah Las CREUSABRO®8000 tanpa pemanasan awal; Elektroda *root* MG NOX 35 dan *cap* E7018.

Pada Gambar 4.25 di atas terlihat *trend* penurunan kekerasan dari *cap*, *Interface*, dan *root*.

#### 4.4 Data dan Analisa Kekuatan Tekuk

**Tabel 4.6** Hasil uji tekuk sampel CREUSABRO® 8000 dengan ketebalan 12 mm

Kode Sampel	Pemanasan Awal	Beban tekuk maks. (kg)	Keterangan
C8-E70-np12	No	3200	15° patah
C8-MG-np12	No	3250	30° patah
C8-E70-p12	200°C	2950	45° patah
C8-MG-p12	200°C	4300	20° patah

Keterangan kode :

C8-E70-np12 : *root* E 7018 dan *cap* MG NOX 35

C8-MG-np12 : *root* MG NOX 35 dan *cap* E 7018

C8-E70-p12 : *root* E 7018 dan *cap* MG NOX 35

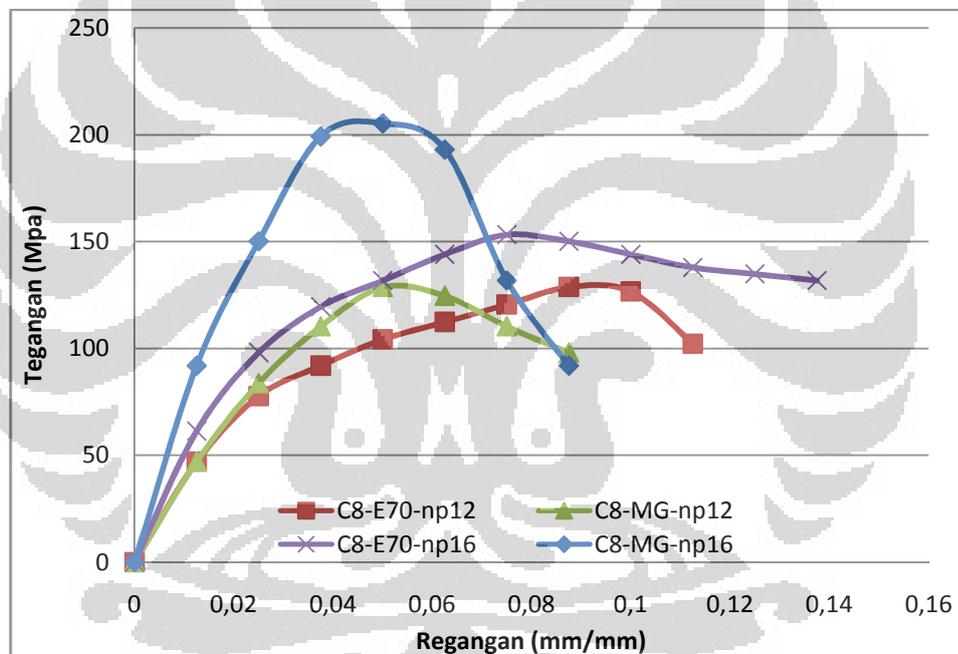
C8-MG-p12 : *root* MG NOX 35 dan *cap* E 7018

**Tabel 4. 7** Hasil uji tekuk sampel CREUSABRO® 8000 dengan ketebalan 16 mm

Kode Sampel	Pemanasan Awal	Beban tekuk maks. (kg)	Keterangan
C8-E70-np16	No	5000	60° patah
C8-MG-np16	No	6800	20° patah
C8-E70-p16	200°C	5400	15° patah
C8-MG-p16	200°C	6600	30° patah

Keterangan kode nomor:  
 C8-E70-np16 : *root* E 7018 dan *cap* MG NOX 35  
 C8-MG-np16 : *root* MG NOX 35 dan *cap* E 7018  
 C8-E70-p16 : *root* E 7018 dan *cap* MG NOX 35  
 C8-MG-p16 : *root* MG NOX 35 dan *cap* E 7018

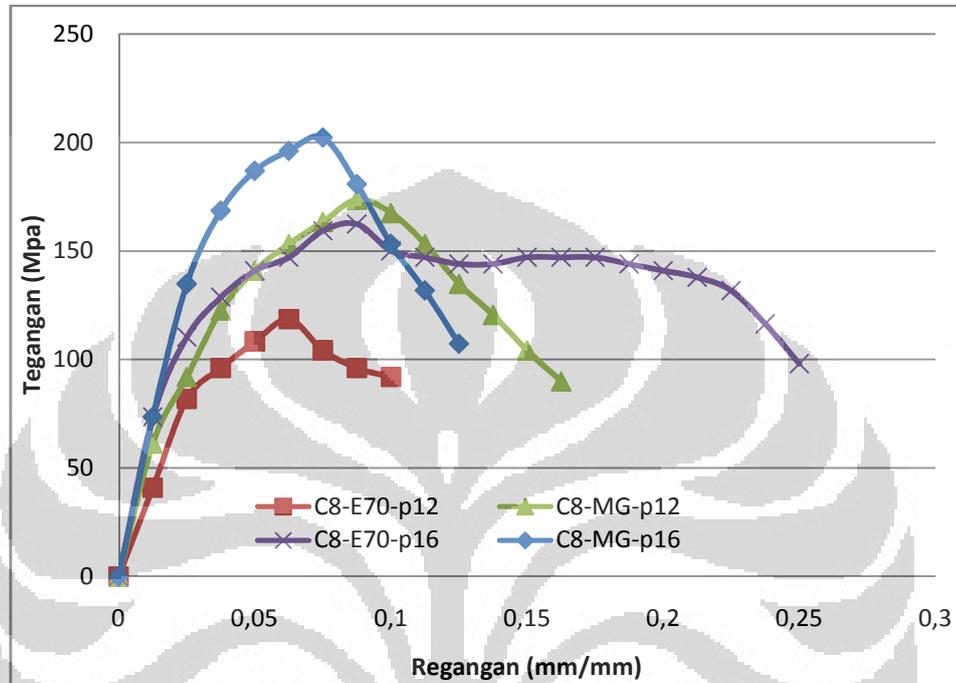
#### 4.4.1 Analisa Pengujian Tekuk Sampel Tanpa Pemanasan Awal

**Gambar 4. 26** Grafik hasil uji tekuk sampel tanpa pemanasan awal pada ketebalan 12 mm dan 16 mm

Grafik dari Gambar 4.26 di atas menunjukkan bahwa sampel dengan *root* MG NOX 35 dengan ketebalan 16 mm memiliki kekuatan paling tinggi dan elongasi yang relatif baik. Elongasi tinggi dimiliki oleh sampel dengan *root* 7018 dengan ketebalan 16 mm dan juga sampel ini memiliki kekuatan yang relatif baik juga.

Karena pengujian tekuk yang dilakukan adalah *face* jadi, ductilitas terbaik dimiliki oleh elektoda MG NOX 35 sebagai *cap* dan sebaliknya kekuatan tertinggi dimiliki oleh E 7018 sebagai *cap*.

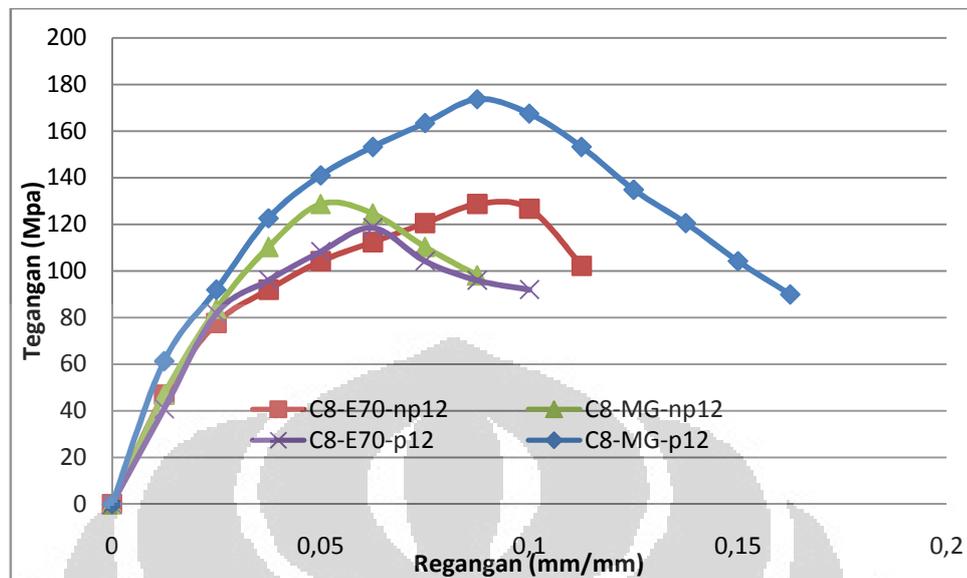
#### 4.4.2 Analisa Pengujian Tekuk Sampel dengan Pemanasan Awal 200°C



Gambar 4. 27 Grafik hasil uji tekuk dengan perlakuan pemanasan awal 200° C pada ketebalan 12 mm dan 16 mm

Grafik dari Gambar 4.26 diatas dapat disimpulkan bahwa kekuatan tekuk paling baik dimiliki oleh sampel dengan *root* Elektroda Edengan ketebalan 16 mm. Sedangkan elongasi paling baik dimiliki oleh sampel dengan *root* elektroda E 7018 dengan ketebalan 16 mm dari kedua grafik dapat disimpulkan bahwa *root* elektroda E 7018 memiliki ketanguhan yang lebih baik serta elongasi yang lebih baik dari pada *root* MG NOX 35. Karena pengujian tekuk yang dilakukan adalah *face* jadi, ductilitas terbaik dimiliki oleh elektoda MG NOX 35 sebagai *cap* dan sebaliknya kekuatan tertinggi dimiliki oleh E 7018 sebagai *cap*.

#### 4.4.3 Analisa Pengujian Tekuk Sampel ketebalan 12 mm



**Gambar 4. 28** Grafik hasil uji tekuk sampel dengan ketebalan 12 mm

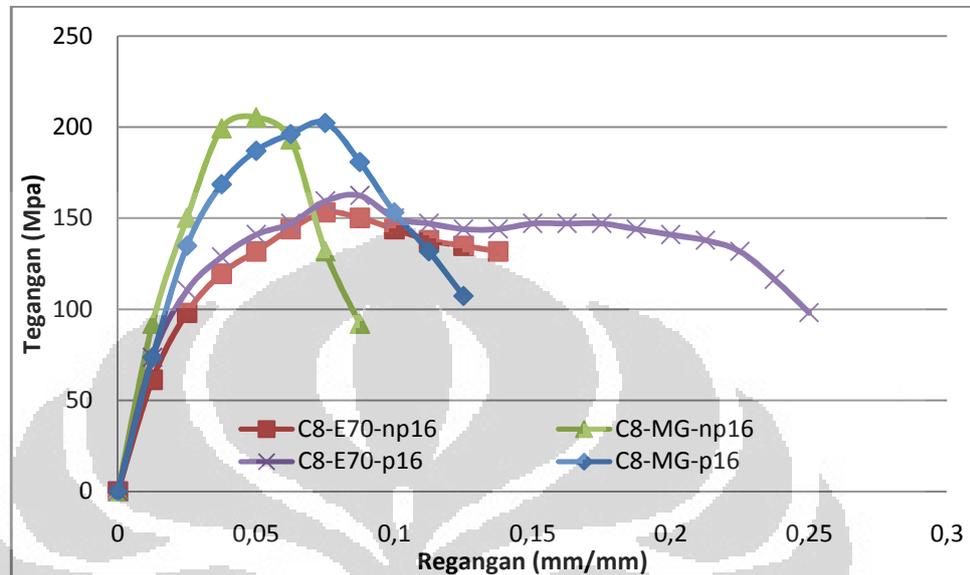
Hasil pengujian tekuk terlihat pada Tabel 4.4 sampel Creusabro 8000 ketebalan 12 mm dengan pengelasan *multilayer* SMAW dengan pemanasan awal 200 °C dan tanpa pemanasan awal. Beban tekuk maksimal paling tinggi dimiliki oleh sampel dengan pemanasan awal dengan kode sampel CR4, CR4 merupakan sampel dengan ketebalan pelat 12 mm dan dilakukan pemanasan awal yang menggunakan MG NOX 35 sebagai *root* dan E 7018 sebagai *cap*. Sedangkan beban tekuk maksimal yang paling rendah dimiliki oleh sampel dengan kode sampel CR3, dimana CR3 merupakan sampel ketebalan 12 mm dengan perlakuan preheat dengan menggunakan E 7018 sebagai *root*.

Berdasarkan kurva hasil uji tekuk pada Gambar 4.28 dapat dilihat bahwa sampel dengan pemanasan awal 200 °C lebih ulet jika dibandingkan dengan sampel tanpa pemanasan awal. Kemudian sampel yang *root* nya dilas dengan elektroda MG NOX 35 memiliki keuletan yang paling tinggi daripada sampel yang *root* nya dilas dengan E 7018.

Karena pengujian tekuk yang dilakukan adalah *face bending*, maka yang berpengaruh adalah *cap* dari hasil lasan sehingga keuletan yang terbaik dimiliki oleh E 7018 dan dengan keuletan terburuk adalah MG NOX 35. Hal ini terjadi karena pada MG NOX 35 telah banyak terbentuk karbida sehingga menyebabkan

keuletan yang diharapkan terbentuk tidak terjadi dan digantikan dengan kekerasan yang meningkat.

#### 4.4.4 Analisa Pengujian Tekuk Sampel Keteban 16 mm



Gambar 4. 29 Grafik hasil uji tekuk sampel dengan ketebalan 16 mm

Hasil pengujian tekuk terlihat pada Tabel 4.5 sampel Creusabro 8000 ketebalan 12 mm dengan pengelasan *multilayer* SMAW dengan pemanasan awal 200 °C dan tanpa pemanasan awal. Beban tekuk maksimal paling tinggi dimiliki oleh sampel dengan pemanasan awal dengan kode sampel CR6, CR6 ini merupakan sampel dengan ketebalan pelat 16 mm dan tidak dilakukan pemanasan awal yang menggunakan MG NOX 35 sebagai *root* dan E 7018 sebagai *cap*. Sedangkan beban tekuk maksimal yang paling rendah dimiliki oleh sampel dengan kode sampel CR5, dimana CR5 merupakan sampel dengan ketebalan 16 mm dengan tanpa preheat dengan menggunakan E 7018 sebagai *root*.

Berdasarkan kurva hasil uji tekuk pada Gambar 4.29 dapat dilihat bahwa sampel dengan pemanasan awal 200 °C terlihat paling ulet jika dibandingkan dengan sampel tanpa pemanasan awal. Kemudian Sampel yang *root* nya dilas dengan elektroda E 7018 memiliki keuletan yang paling tinggi daripada sampel yang *root* nya dilas dengan MG NOX 35.

Karena pengujian tekuk yang dilakukan adalah *face bending*, maka yang berpengaruh adalah *cap* dari hasil lasan sehingga keuletan yang terbaik dimiliki oleh MG NOX 35 dan dengan keuletan terburuk adalah E 7018. Hal ini terjadi

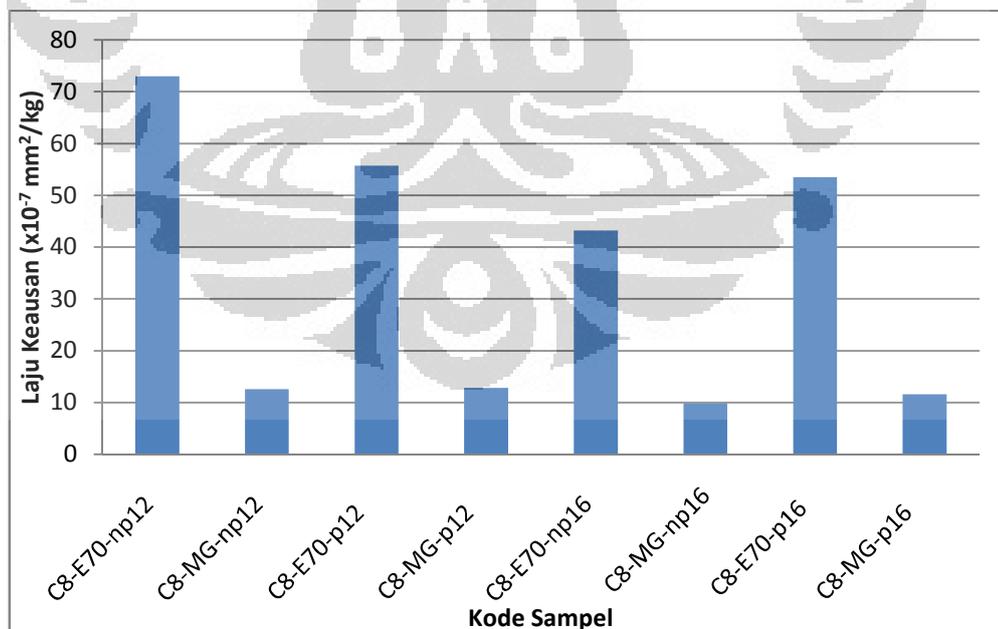
karena pada MG NOX 35 belum terbentuk karbida dengan fasa austenit yang terbentuk mengakibatkan keuletan yang dimiliki oleh MG NOX 35 sangat tinggi.

#### 4.5 Data dan Analisa Uji Keausan

Tabel 4. 8 data laju keausan

Sampel	Tebal (mm)	b1	b2	b3	Laju Keausan ( $\times 10^{-7}$ mm <sup>2</sup> /kg)
C8-E70-np12	12	3,53	3,386	3,659	73
C8-MG-np12	12	1,735	1,904	2,256	12,6
C8-E70-p12	12	2,708	3,505	3,45	55,7
C8-MG-p12	12	2,016	2,041	1,855	12,8
C8-E70-np16	16	2,536	2,756	3,586	43,2
C8-MG-np16	16	1,657	1,804	1,969	9,88
C8-E70-p16	16	2,809	3,351	3,375	53,5
C8-MG-p16	16	1,748	2,159	1,817	11,6

Keterangan kode nomor:  
 C8-E70-np12 dan C8-E70-np16 : *root* E 7018 dan *cap* MG NOX 35, tanpa pemanasan awal.  
 C8-MG-np12 dan C8-MG-np16 : *root* MG NOX 35 dan *cap* E 7018, tanpa pemanasan awal.  
 C8-E70-p12 dan C8-E70-p16 : *root* E 7018 dan *cap* MG NOX 35, pemanasan awal 200°C.  
 C8-MG-p12 dan C8-MG-p16 : *root* MG NOX 35 dan *cap* E 7018, pemanasan awal 200°C.



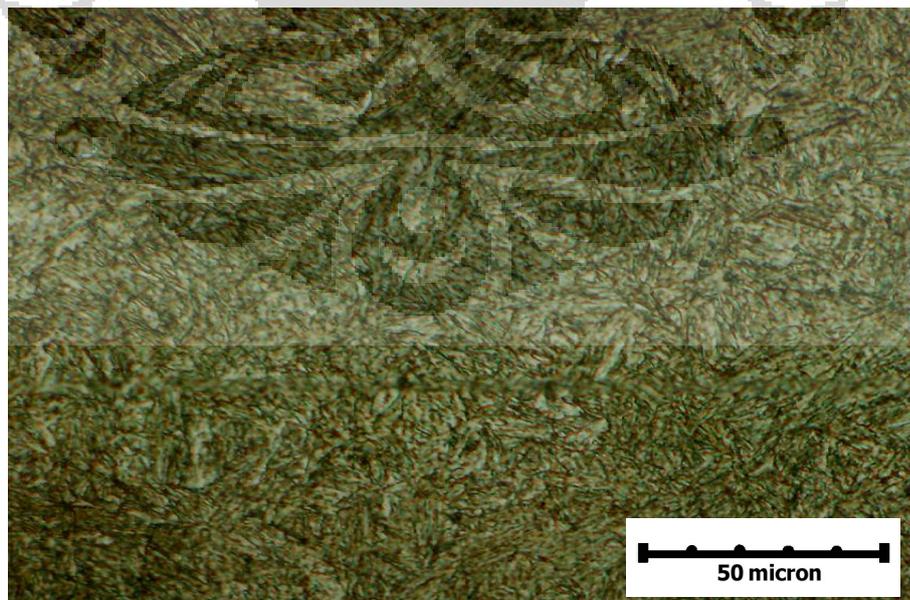
Gambar 4. 30 Grafik Laju Keausan Tiap Sampel di *Cap*

Berdasarkan Gambar 4.30 di atas, laju keausan dari sampel yang memiliki kode E70 dalam pengkodeannya memiliki laju keausan yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang lain. Sampel memiliki kode E70 dalam pengkodeannya merupakan sampel yang menggunakan MG NOX 35 sebagai *cap* dan sampel yang memiliki kode MG dalam pengkodeannya menggunakan E 7018 sebagai *cap*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa laju keausan dari MG NOX 35 lebih tinggi jika dibandingkan dengan E 7018 yang berarti keuletan dari MG NOX 35 lebih tinggi dibandingkan E 7018.

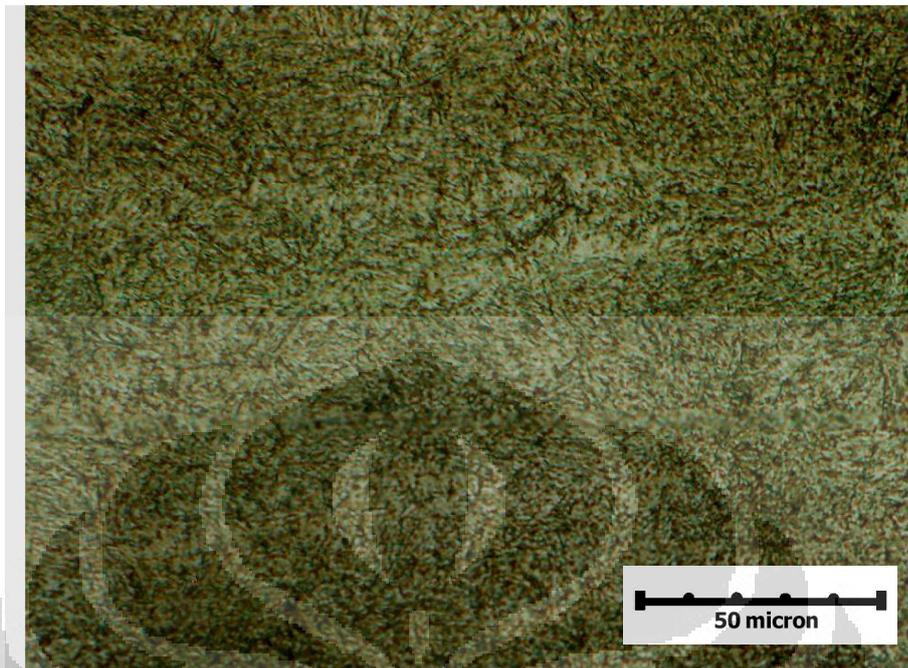
#### 4.6 Data dan Analisa Mikrostruktur

Pengamatan mikrostruktur dilakukan pada daerah logam dasar, HAZ dan kumpuh las 1 dan 2. Foto mikro diambil dengan perbesaran 500 kali (pada HAZ dan logam induk). Etsa yang digunakan pada keempat daerah yang diamati adalah nital 2% dengan waktu etsa antara 7-15 detik untuk kumpuh las dengan logam pengisi E 7018, logam induk dan HAZ lalu dengan elektroetsa menggunakan larutan asam oksalat untuk kumpuh las sampel dengan elektroda MG NOX 35.

##### 4.6.1 Analisa Mikrostruktur Logam Dasar Sampel Pemanasan Awal dan Tanpa Pemanasan Awal



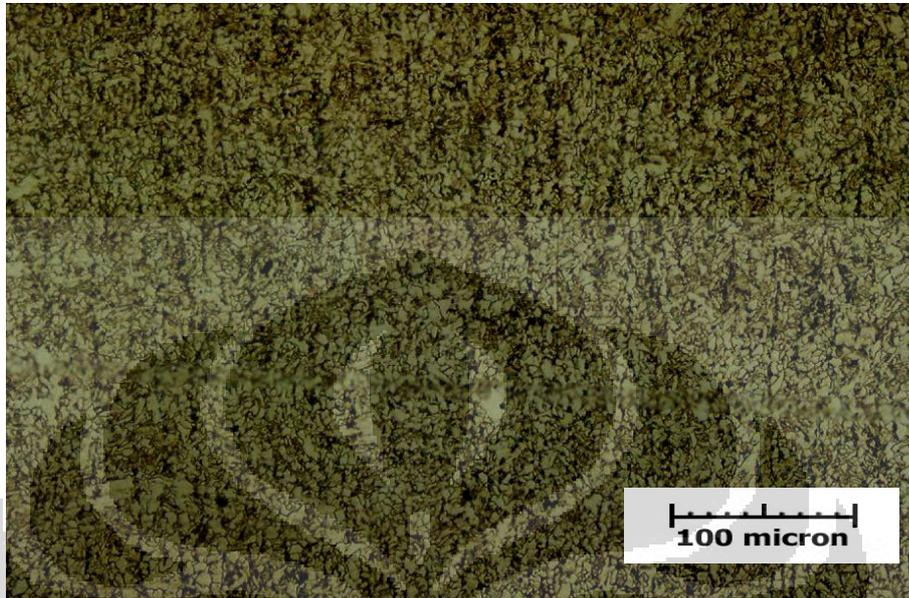
**Gambar 4. 31** Logam induk tanpa pemanasan awal



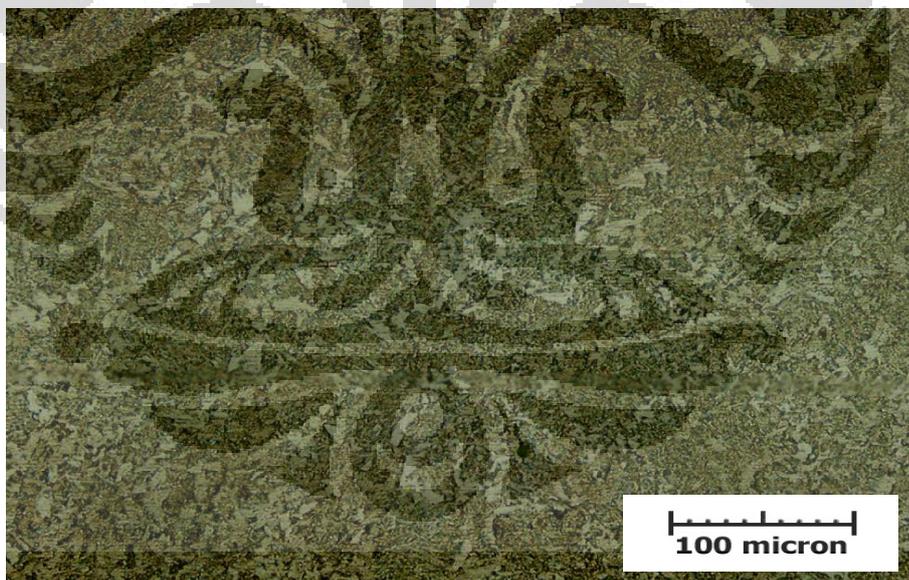
**Gambar 4. 32** Logam induk dengan pemanasan awal

Sebelum dilakukan pengambilan foto mikro dengan perbesaran 500 kali, dilakukan pengetsaan pada sampel dengan menggunakan larutan nital 2% selama jarak waktu 7 – 15 detik. Berdasarkan literatur, mikrostruktur CREUSABRO 8000 terdiri dari martensit, austenit sisa dan *microcarbide*. Berdasarkan pengamatan mikrostruktur yang dilakukan, fasa yang terlihat pada baja Creusabro 8000 tersebut didominasi oleh fasa martensit, sedikit ferit dan beberapa karbida yang terbentuk yang berbentuk titik-titik putih terang. Dilihat Gambar 4.31 dan Gambar 4.32, Perbedaan antara logam induk tanpa pemanasan awal dan logam induk dengan pemanasan awal adalah susunan fasa yang lebih rapih untuk logam yang dilakukan pemanasan awal. Adanya fasa martensit ini menyebabkan logam induk memiliki kekerasan yang sangat tinggi.

#### 4.6.2 Analisa Mikrostruktur Inti las



Gambar 4. 33 Root E7018 tanpa pemanasan awal



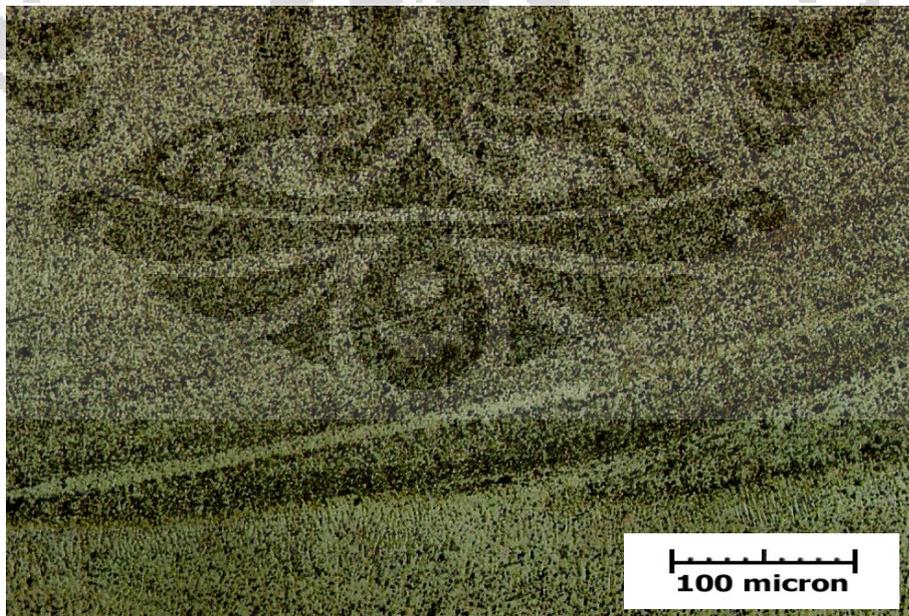
Gambar 4. 34 Root E7018 pemanasan awal

Gambar 4. 33 dan Gambar 4. 34 merupakan gambar foto mikro dengan perbesaran 100 kali dari inti las yang menggunakan elektroda E 7018, mikro struktur yang menunjukkan dominasi dari ferit-perlit dan sedikit austenite. Dari kedua gambar tersebut terlihat perbedaan dari bentuk feritnya dimana pada

perlakuan pemanasan awal terlihat ferit yang terbentuk lebih besar jika seperti yang terlihat pada Gambar 4. 34 dibandingkan dengan tanpa pemanasan awal pada Gambar 4.33. Perbedaan ini dikarenakan perbedaan laju pendinginan yang terjadi diantara keduanya yang mana sampel dengan pemanasan awal memiliki laju pendinginan yang lebih lambat sehingga fasa ferit yang terbentuk pun akan lebih besar.



**Gambar 4. 35** Cap MG NOX 35 tanpa preheat

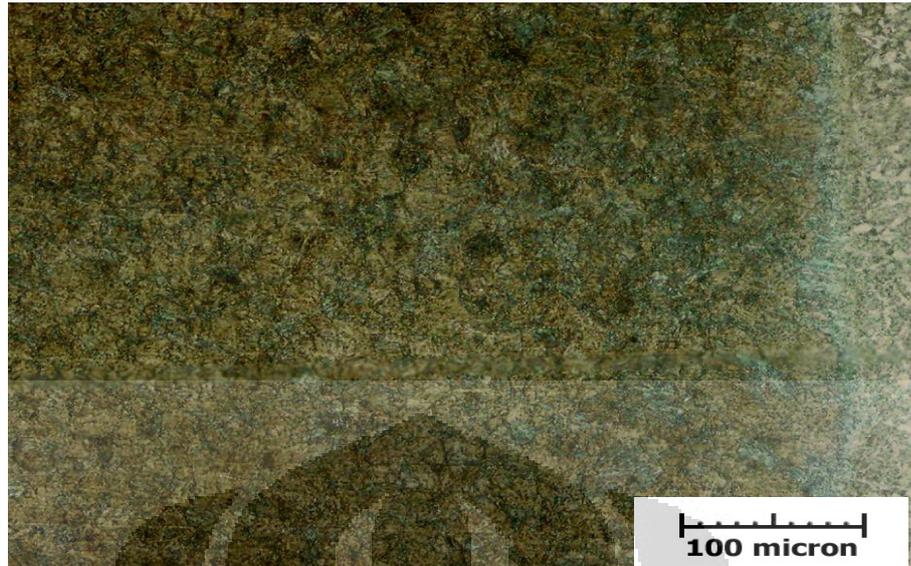


**Gambar 4. 36** Cap MG NOX 35 pemanasan awal

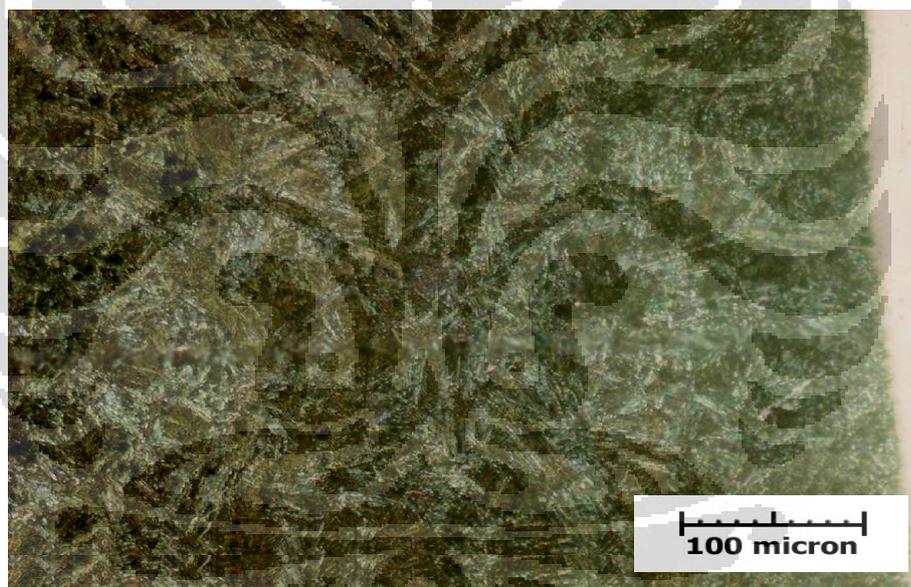
Pada Gambar 4.35 dan Gambar 4.36, mikrostruktur Inti las dengan menggunakan MG NOX 35 yang diambil foto mikro dengan perbesaran 100 kali menggunakan elektro etsa dengan larutan asam oksalat 15%. MG NOX 35 yang pada dasarnya merupakan *austenitic stainless steel*, sehingga matriks awalnya merupakan fasa autenit. Setelah dilakukan pengelasan yang terlihat pada daerah inti lasan pada elektroda fasa yang terbentuk tetap berupa austenit dengan tanda warna dasar yang berwarna abu-abu. Jadi hal ini menandakan bahwa sifat dari MG NOX 35 adalah ulet, dan itu sesuai dengan sebagian besar data yang diperoleh. Perbedaan antara Gambar 4.35 dan Gambar 4.36 terletak pada titik-titik hitam yang terdapat pada kedua gambar. Pada Gambar 4.35 terlihat warna hitam yang berkumpul membentuk garis-garis hitam, sedangkan Gambar 4.36 terlihat warna hitam yang berupa titik – titik yang terlihat tersebar secara merata. Ini merupakan salah karbida yang terbentuk karena efek panas, panas yang diberikan akan mengakibatkan difusi dari atom dari stainless steel dengan artian semakin besar panas yang diberikan ditambah dengan pengaruh pendinginan yang lambat, maka semakin jauh atom akan berdifusi dari tempat awalnya.

#### **4.6.3 Analisa Mikrostruktur HAZ**

Mikrostruktur HAZ dibagi menjadi dua, yaitu HAZ kasar dan HAZ halus. Perbedaan dari kedua jenis HAZ ini terletak pada ukuran butiran karena adanya pengaruh dari panas. seperti yang terjadi pada HAZ halus yang menyebabkan material mengalami rekristalisasi namun tidak sampai terjadi pertumbuhan butir seperti yang dialami daerah HAZ kasar.

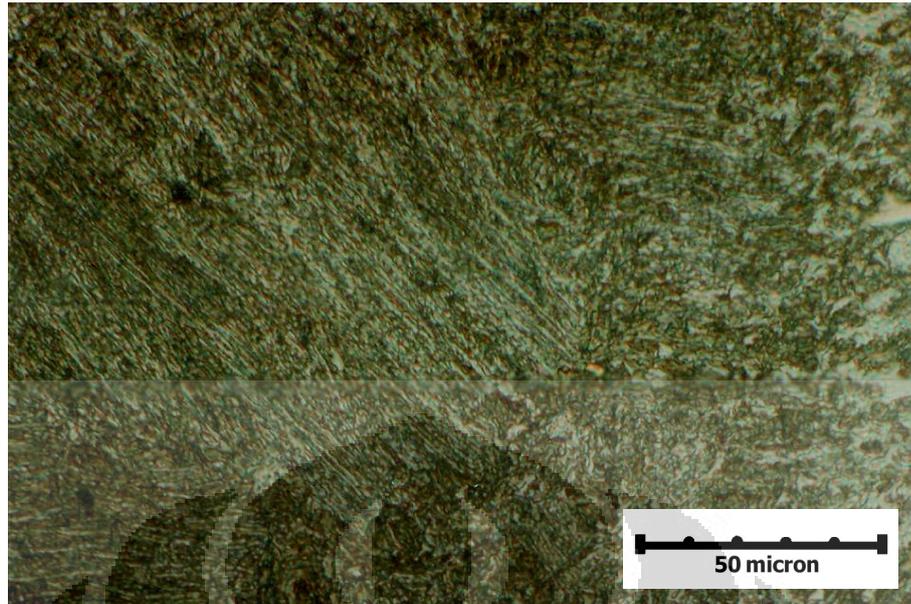


**Gambar 4. 37** HAZ *root* E 7018 preheat

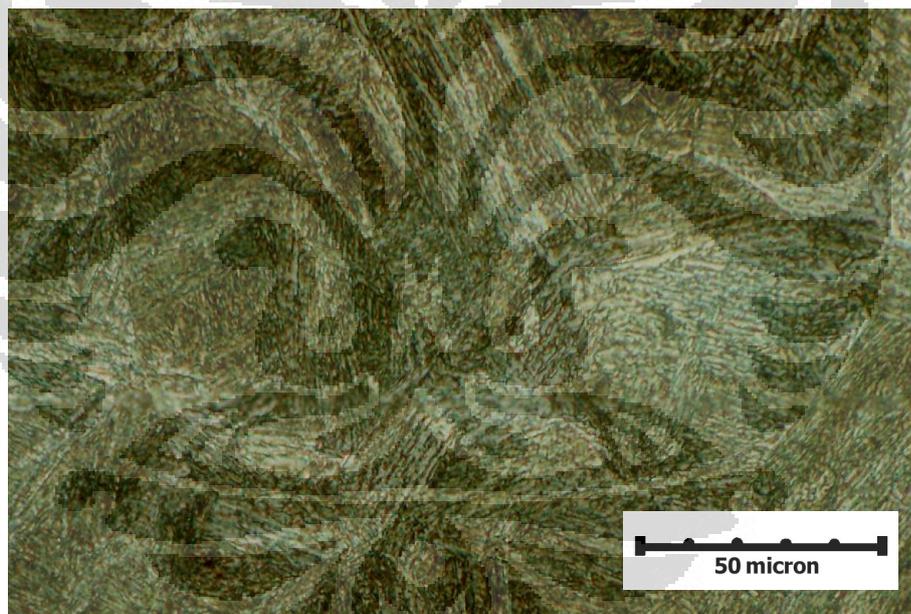


**Gambar 4. 38** HAZ2 *root* E 7018 tanpa pemanasan awal

Dilihat dari foto mikro yang didapatkan adanya pemanasan awal yang diberikan pada masing-masing sampel memberikan pengaruh terhadap struktur yang terbentuk pada daerah HAZ. Pada kedua sampel HAZ diatas, adanya pemanasan awal ternyata memberikan struktur yang lebih rapi dibandingkan sampel tanpa pemanasan awal.



**Gambar 4. 39** HAZ *root* MG NOX 35 tanpa pemanasan awal



**Gambar 4. 40** HAZ *root* MG NOX 35 pemanasan awal

Mikrostruktur dari daerah HAZ seperti yang terlihat pada Gambar 4.37, Gambar 4.38, Gambar 4.39 dan Gambar 5.40. Dilihat dari hasil foto mikro dari kedua sampel logam dasar tersebut, secara umum memiliki fasa yang sama dengan fasa di logam dasar tetapi fasa ferit yang terlihat pada daerah HAZ ini memiliki bentuk yang berbeda dengan fasa ferit yang ada di logam dasar dimana bentuknya cenderung pipih.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. Pengelasan dengan metoda pengelasan manual SMAW *Multilayer*, baja tahan aus CREUSABRO<sup>®</sup> 8000 dengan menggunakan *root* elektroda E 7018 maupun elektroda MG NOX 35 dengan dan tanpa pemanasan awal tidak ditemukan adanya retak dingin.
2. Pemanasan awal yang diberikan mengakibatkan meningkatnya nilai keuletan tetapi dengan mengorbankan menurunnya nilai kekerasan. Pada sampel dengan perlakuan yang sama, sampel yang lebih tebal memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi, dikarenakan laju pendinginannya yang lebih cepat.
3. Laju Keausan untuk pengelasan *multilayer* elektroda E7018 sebagai *cap* lebih kecil karena laju keausannya lebih kecil dibandingkan MG NOX 35 jika digunakan sebagai *cap*.
4. Berdasarkan seluruh data hasil penelitian diperoleh bahwa MG NOX 35 lebih ulet daripada E 7018, sehingga MG NOX 35 lebih baik digunakan sebagai *root*, dan E 7018 sebagai *cap*.
5. Dari pengamatan struktur mikro didapat pada logam induk fasa yang terbentuk adalah martensit, pada inti las MG NOX 35 adalah austenit, pada inti las E 7018 adalah ferrit-perlit dan pada daerah HAZ adalah ferit.

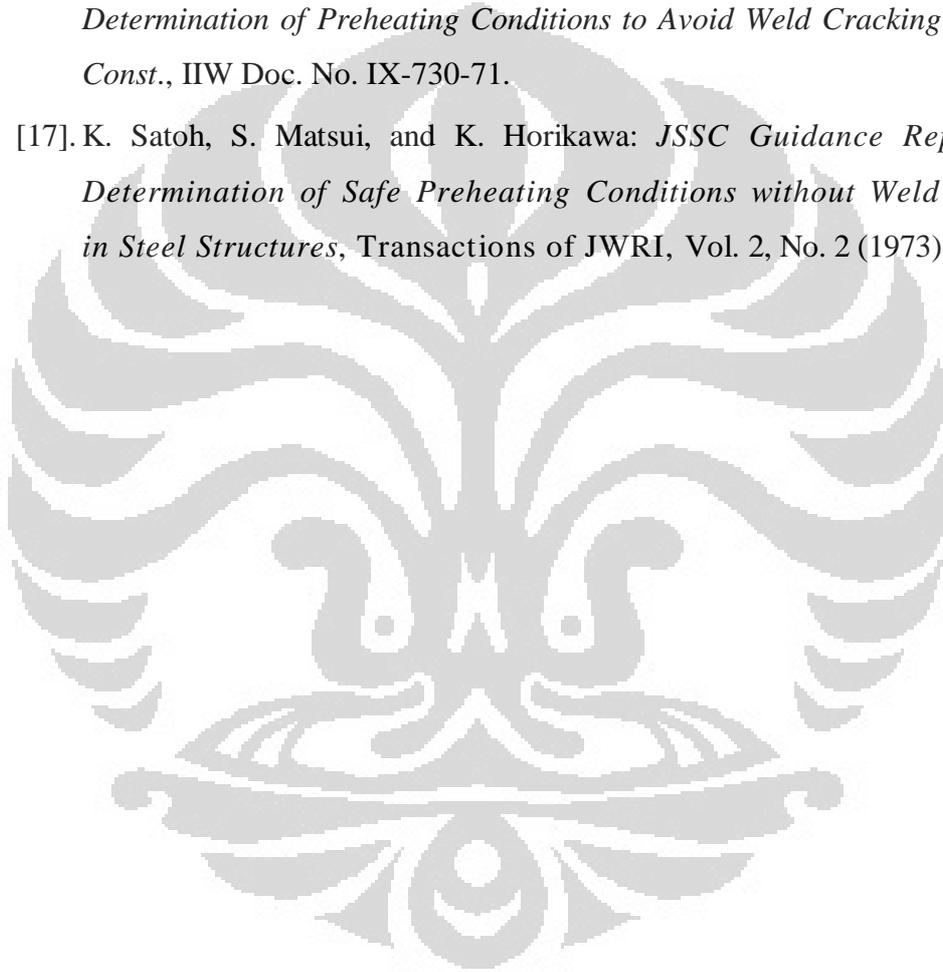
#### 5.2 Saran

Dalam pengerjaan penelitian mengenai pengelasan, berhati – hatilah dalam memilih juru las yang artinya telitilah dalam memilih juru las karena *human error* dari juru las sangat mempengaruhi hasil dari penelitian. Lalu, proses pengelasan jangan dilakukan dalam satu hari jika banyak penyambungan yang akan dilakukan, karena juru las akan jenuh dan itu juga akan menghasilkan las-lasan yang kurang sempurna.

## DAFTAR REFERENSI

- [1]. Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian. *Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia 2011 - 2025*. (2011)
- [2]. J. Cwiek, *Hydrogen degradation of high strength weldable steels*, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 20 (2007) pp.223-226.
- [3]. B. Swieczko-Zurek, S. Sobieszczyk, J. Cwiek, A. Zielinski, *Evaluation of susceptibility of high-strength steels to hydrogen delayed cracking*, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 18 (2006), pp.243-246.
- [4]. ASM Handbook Volume 6 : *Welding, Brazing, and Soldering*. ASM International.
- [5]. Fajar Riyadi dan Dony Setyawan, S.T., M.Eng. *Analisa Mechanical Dan Metallurgical Pengelasan Baja Karbon A36 Dengan Metode SMAW*. Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.
- [6]. Futichah dan Rifa'i Muslich. 2007. *Korelasi Antara Arus Pengelasan Dengan Tegangan Sisa Ada Sambungan Las Tutup–Kelongsong Elemen Bakar Nuklir Zircaloy-2*. BATAN, Serpong.
- [7]. Sindo Kou, 2002. *Welding Metallurgy 2nd ed*. A Wiley-Interscience publication.
- [8]. Welding of Hardox<sup>®</sup> and Weldom<sup>®</sup>.
- [9]. Yudhistira Perdana Putra, Sungging Pintowantoro dan Sadino. *Analisa Tegangan Sisa Dan Distorsi Pada Pengelasan Fillet T-Joint Dengan Metode Elemen Hingga*. Jurusan Teknik Material & Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, ITS, Surabaya.
- [10]. EWF Technical Sheet
- [11]. Pekka Nevasmaa, *Predictive Model For The Prevention Of Weld Metal Hydrogen Cracking In Highstrength Multipass Welds*
- [12]. Weld Cracking, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation

- [13].N. Bailey, F.R. Coe, T.G. Gooch, P.H.M Hart, N. Jenkins, R.J. Pargeter, *Welding Steels Without Hydrogen Cracking*, 2<sup>nd</sup> Ed., Abington Publishing, England (1993)
- [14]. Progress in Low Transformation Temperature (LTT) Filler wires: Review
- [15].Y. Ito and K. Bessyo: *A Prediction of Welding Procedure to Avoid Heat Affected Zone Cracking*, IIW Doc. No. 1X-631-69.
- [16].K. Satoh, S. Matsui, Y. Ito, K. Bessyo, R. Sakurai and S. Takahara, *Determination of Preheating Conditions to Avoid Weld Cracking in Steel Const.*, IIW Doc. No. IX-730-71.
- [17].K. Satoh, S. Matsui, and K. Horikawa: *JSSC Guidance Report on Determination of Safe Preheating Conditions without Weld Cracks in Steel Structures*, Transactions of JWRI, Vol. 2, No. 2 (1973).





Lampiran 2. Hasil uji aus

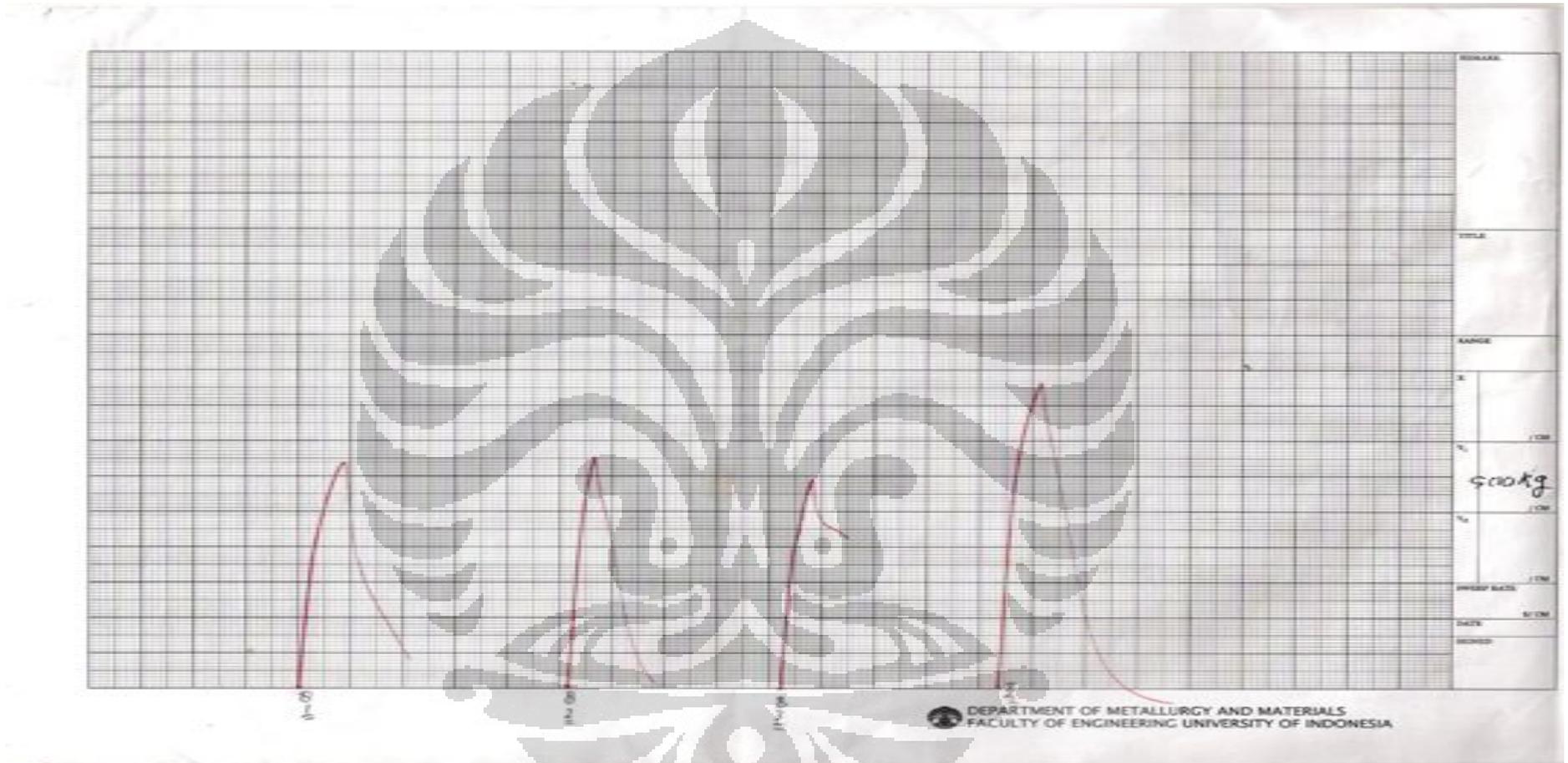
	<b>PRAKTIKUM KARAKTERISASI MATERIAL-1</b> Laboratorium Metalurgi Fisik Departemen Metalurgi dan Material FTUI	
	<b>LEMBAR DATA UJI KEAUSAN</b>	
Nama :		
NPM :	Kelompok :	
Tanggal Praktikum :		

Benda uji : CP. 8000  
 Temperatur : ..... Kondisi uji :  Pelumasan  Non-pelumasan  
 Diameter revolving disc: ..... mm Bahan revolving disc : .....

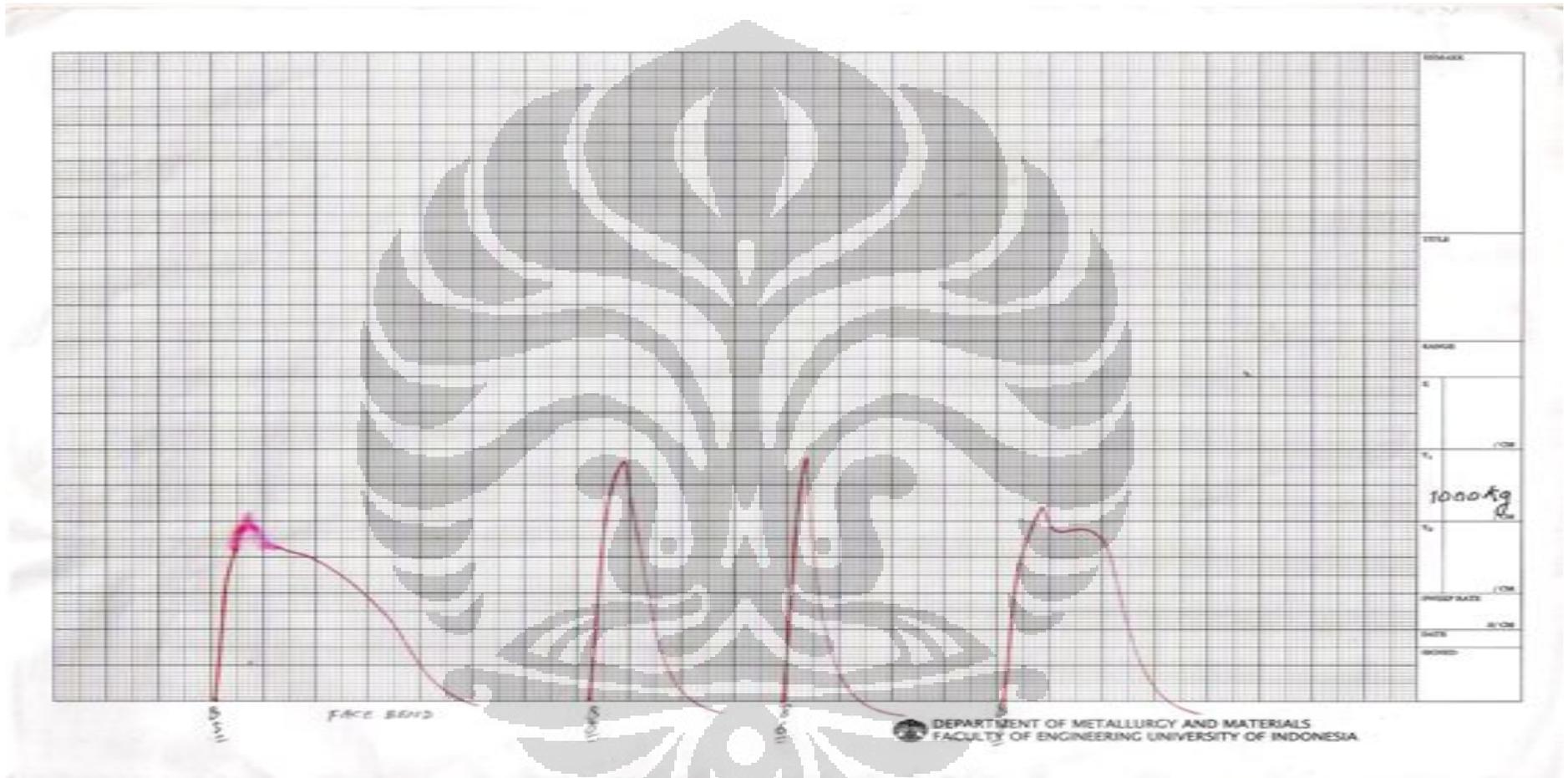
No	Jarak Luncur (mm)	Beban (kg)	Kecepatan (mm/detik)	Lebar celah aus, b (mm)	Laju aus	Deskripsi jejak aus
1.	100.000	12,64	1,97	3,530 3,306 3,659		
2.				1,735 1,904 2,256		
3.				2,708 3,505 3,450		
4.				2,016 2,041 1,855		
5.				2,536 2,756 3,536		
6.				1,657 1,804 1,969		
7.				2,009 3,351 3,375		
8.				1,746 2,159 1,817		
9.						
10.						

Asisten Lab : ..... Paraf : .....

**Lampiran 3.** Grafik Pengujian Tekuk Sampel Ketebalan 12mm



**Lampiran 4.** Grafik Pengujian Tekuk Sampel Ketebalan 16mm

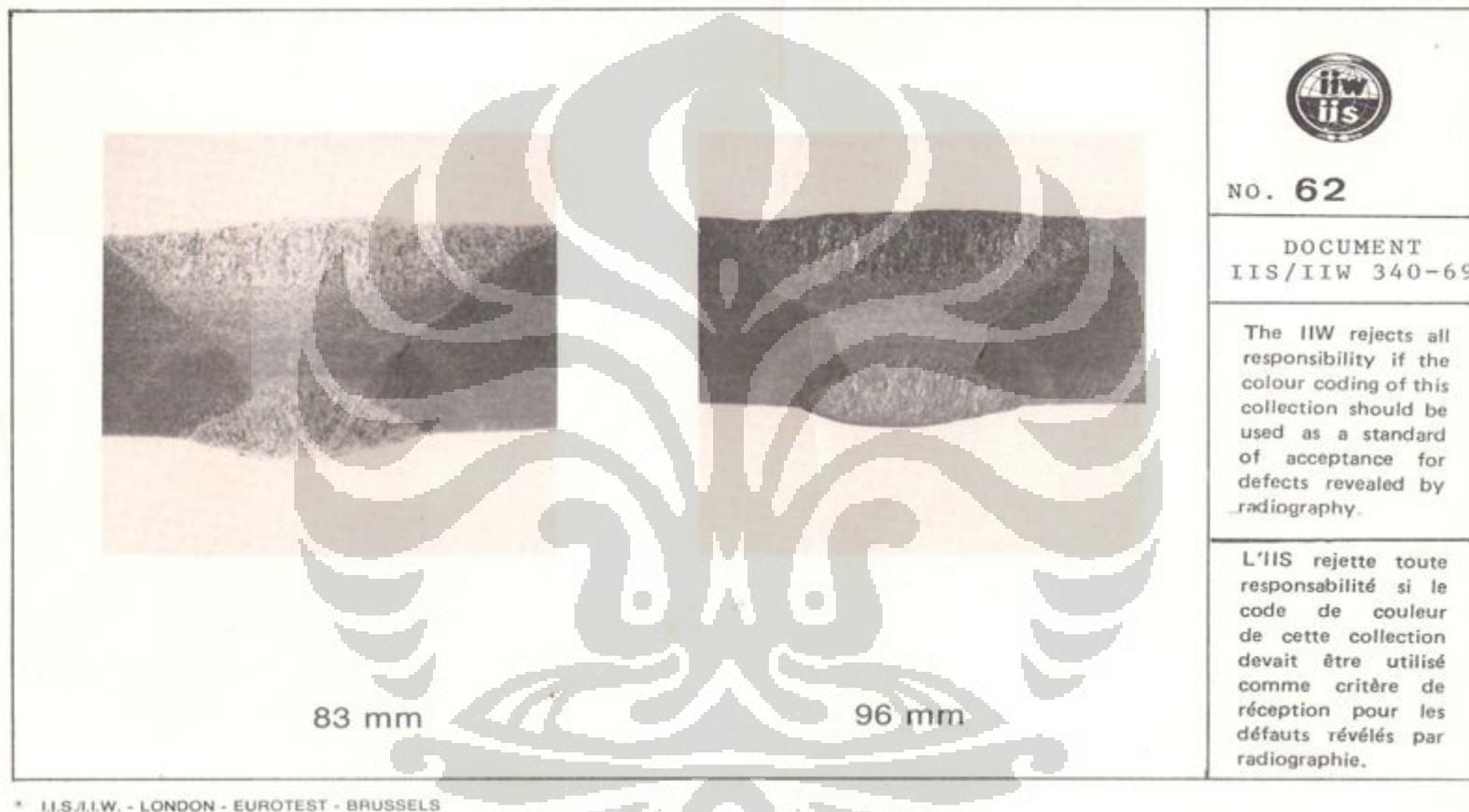


Lampiran 5. Tabel Hasil Pengujian Ultrasonik

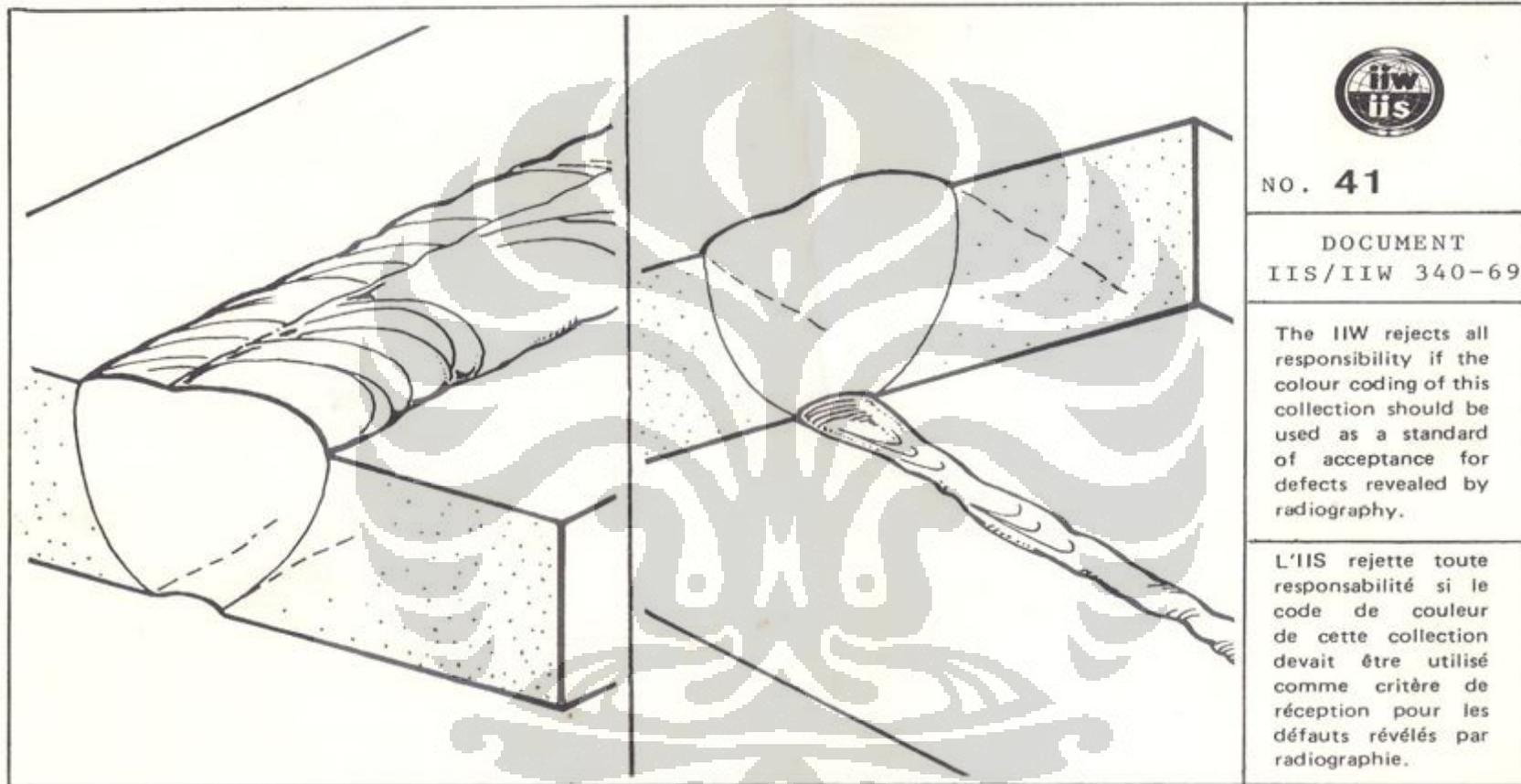
No	Ketebalan (mm)	A	B	C	SC (mm)	SC (Inch)	D	Kesimpulan	Panjang (mm)	Kedalaman (mm)
1	12	0	0	0	0	0	0	no	0	0
2	12	46,6	48	0,945	37,4	1,472	-2,345	Cacat planar	35	4,2 -11,23
		48	48	1,276	41,6	1,638	-1,276		16	6,14 - 9,8
3	12	50,9	48	-0,139	23,63	0,93	3,039	Cacat planar	32	4,79 - 8,08
4	12	52	48	-0,11	24	0,945	4,11	Cacat planar	5	2,7 - 8,27
		53,5	48	-0,307	21,5	0,846	5,807		8	4,8 - 7,41
5	16	52	48	1,763	47,79	1,881	2,237	Cacat planar	18	4,47 - 15,69
6	16	57,7	48	1,124	39,67	1,562	8,576	Cacat planar	14	12,6 - 13,47
		55,4	48	0,902	36,86	1,451	6,498		36	12,6 - 15,6
7	16	50,4	48	0,016	25,6	1,008	2,384	Cacat planar	all	8,75 - 12,47
8	16	48	48	-0,136	23,67	0,932	0,136	Cacat planar	9	8,09-10,8

Keterangan kode nomor:  
 Nomor 1 dan 5 : *root* E 7018 dan *cap* MG NOX 35, tanpa pemanasan awal.  
 Nomor 2 dan 6 : *root* MG NOX 35 dan *cap* E 7018, tanpa pemanasan awal.  
 Nomor 3 dan 7 : *root* E 7018 dan *cap* MG NOX 35, pemanasan awal 200°C.  
 Nomor 4 dan 8 : *root* MG NOX 35 dan *cap* E 7018, pemanasan awal 200°C.

Lampiran 6. Gambar contoh cacat lasan

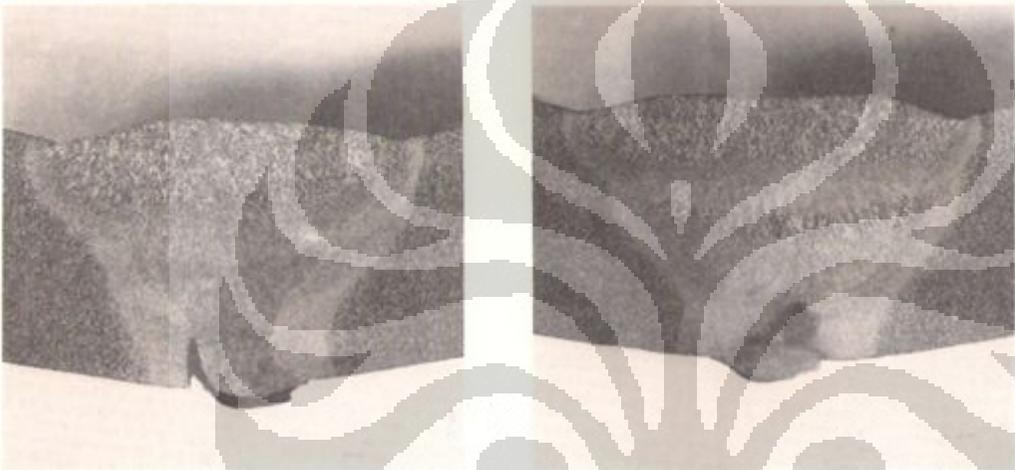


(Lanjutan)



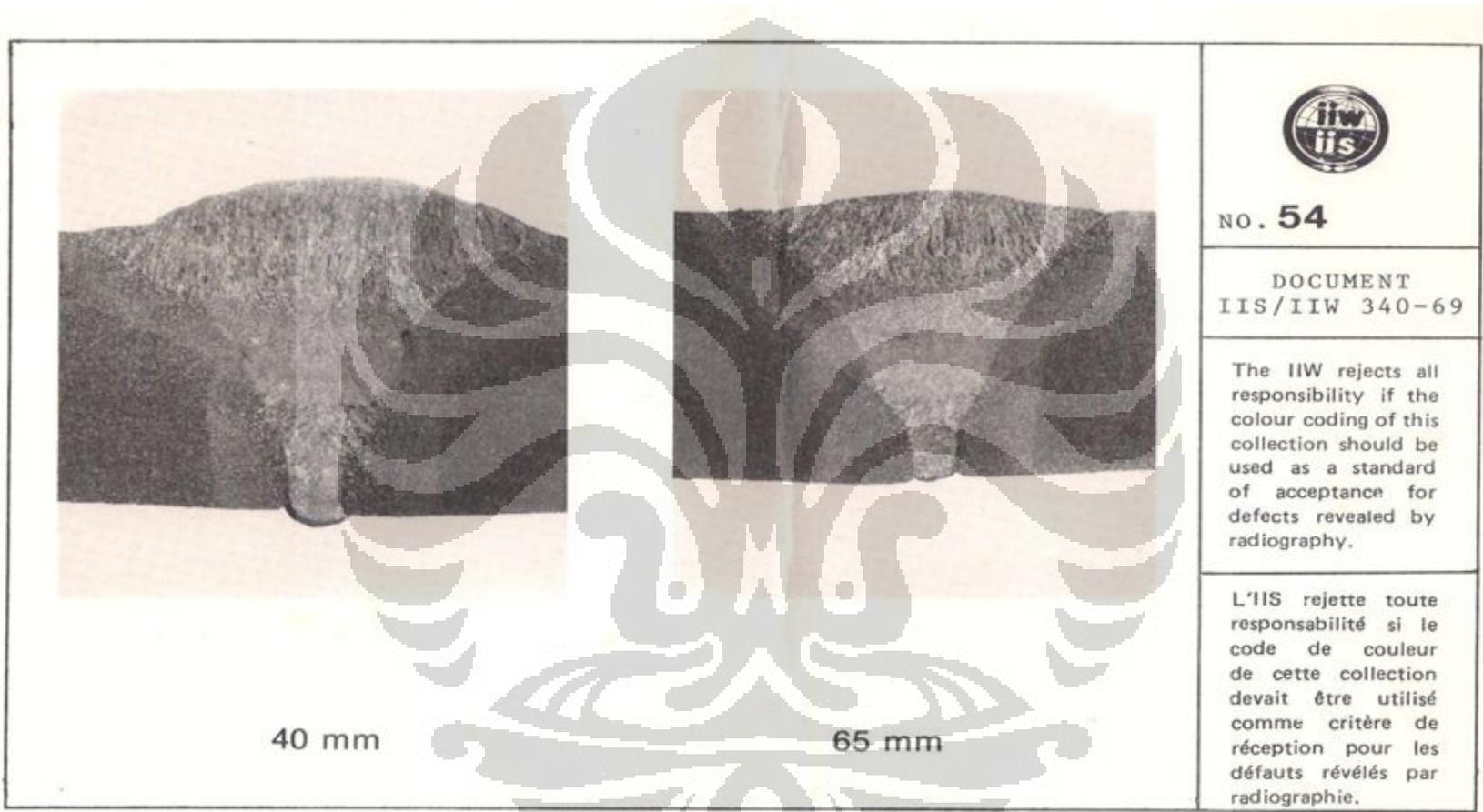
\* I.I.S./I.I.W. - LONDON - EUROTTEST - BRUSSELS

(Lanjutan)

 <p>66 mm                      86 mm</p>	 NO. 55
	DOCUMENT IIS/IIW 340-69
	The IIW rejects all responsibility if the colour coding of this collection should be used as a standard of acceptance for defects revealed by radiography.
	L'IIS rejette toute responsabilité si le code de couleur de cette collection devait être utilisé comme critère de réception pour les défauts révélés par radiographie.

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

(Lanjutan)

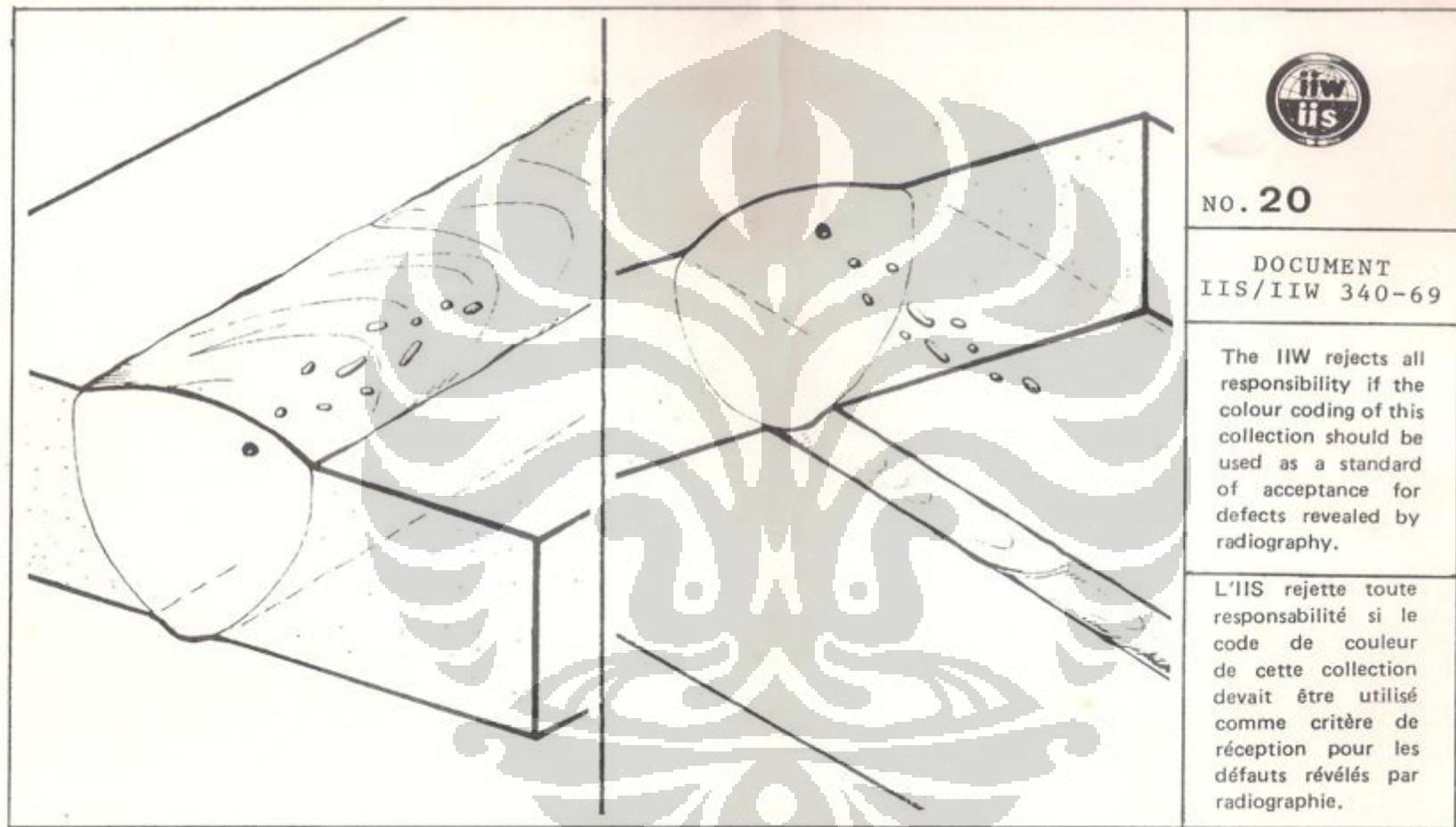


\* I.I.S./I.I.W. - LONDON - EUROTTEST - BRUSSELS

(Lanjutan)

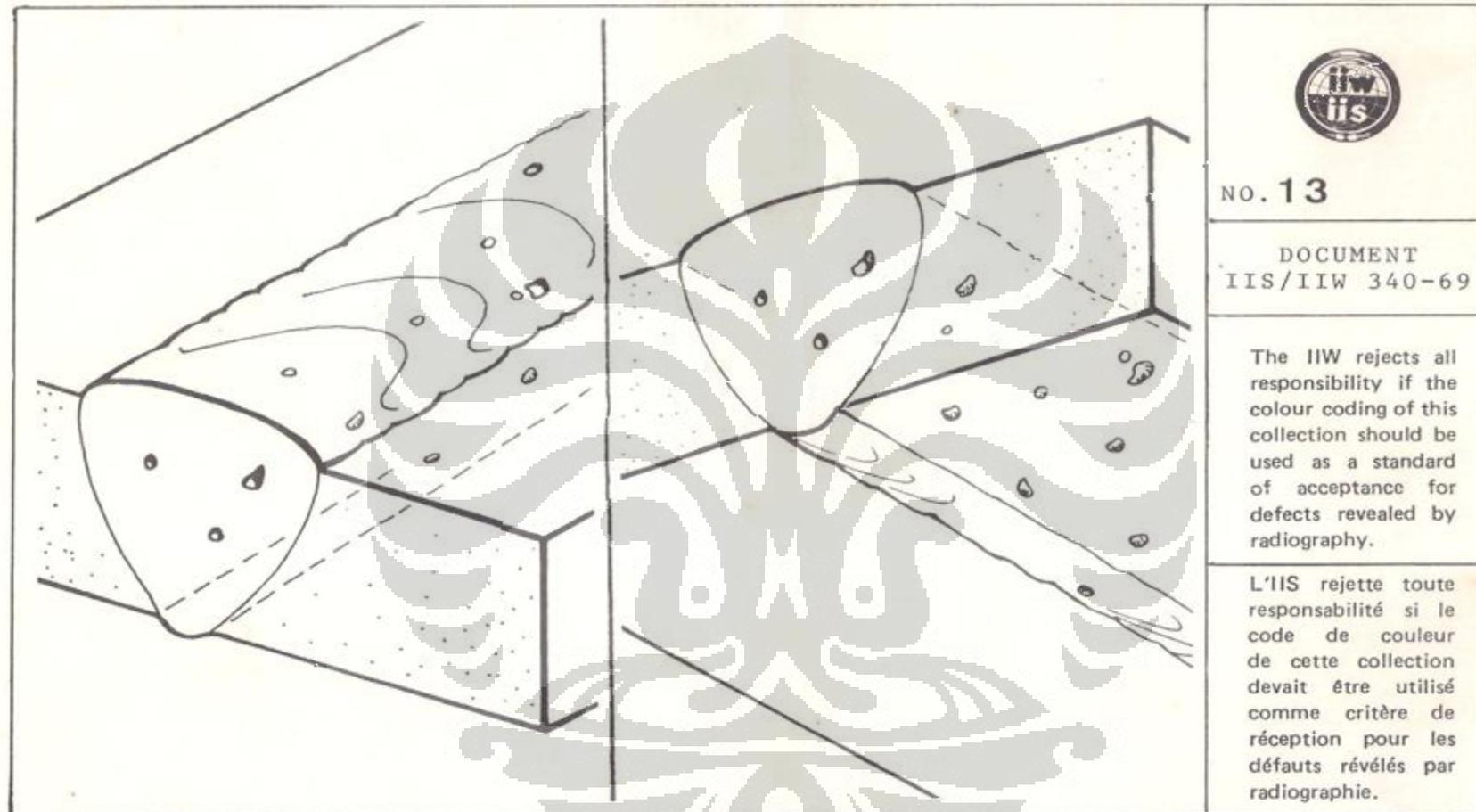
 <p>29 mm</p> <p>98 mm</p>	
	NO. 64
	DOCUMENT IIS/IIW 340-69
	<p>The IIW rejects all responsibility if the colour coding of this collection should be used as a standard of acceptance for defects revealed by radiography.</p> <p>L'IIS rejette toute responsabilité si le code de couleur de cette collection devait être utilisé comme critère de réception pour les défauts révélés par radiographie.</p>
<p>* I.I.S./I.I.W. - LONDON - EUROTTEST - BRUSSELS</p>	

(Lanjutan)



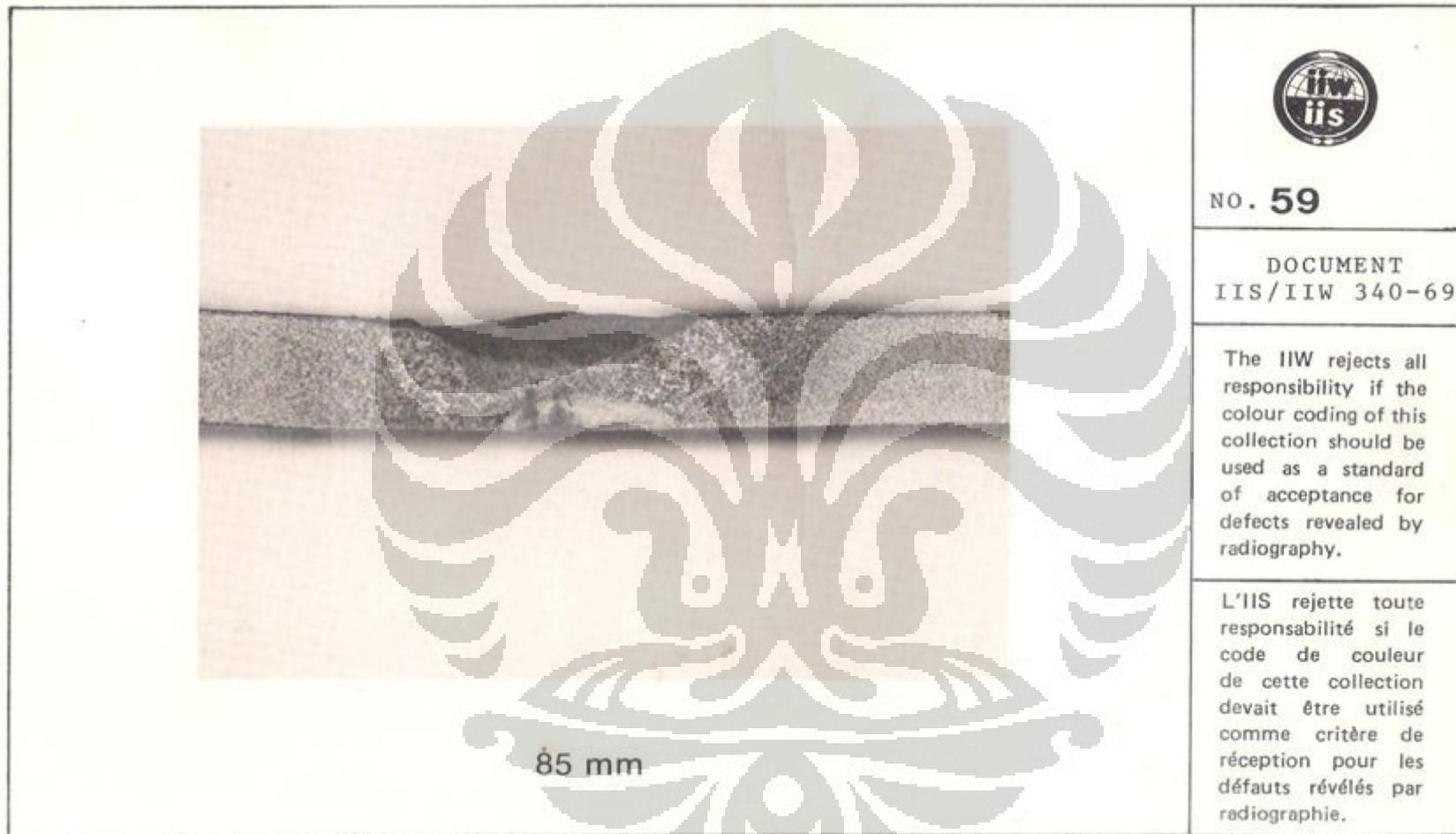
\* I.I.S./I.I.W. - LONDON - EUROTTEST - BRUSSELS

(Lanjutan)



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

(Lanjutan)



\* I.I.S./I.I.W. - LONDON - EUROTTEST - BRUSSELS