



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH *PREHEAT* DAN PERBEDAAN KAWAT LAS
TERHADAP KETAHANAN RETAK DAN SIFAT MEKANIS
BAJA TAHAN AUS CREUSABRO[®] 4800 DENGAN
PENGELASAN SMAW**

SKRIPSI

**DIMAS PRATAMA
0806331512**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH *PREHEAT* DAN PERBEDAAN KAWAT LAS
TERHADAP KETAHANAN RETAK DAN SIFAT MEKANIS
BAJA TAHAN AUS CREUSABRO[®] 4800 DENGAN
PENGELASAN SMAW**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**DIMAS PRATAMA
0806331512**

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Dimas Pratama

NPM : 0806331512

Tanda Tangan : 

Tanggal : 13 Januari 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Dimas Pratama
NPM : 0806331512
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Pengaruh Preheat dan Perbedaan Kawat Las terhadap
Ketahanan Retak dan Sifat Mekanis Baja Tahan Aus
Creusabro 4800 dengan Pengelasan SMAW

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Winarto M.Sc
Penguji 1 : Dr. Ir. Muhammad Anis, M.Met.
Penguji 2 : Dr. Badrul Munir, S.T, M.Eng.Sc



(*Winarto*)
(*Muhammad Anis*)
(*Badrul Munir*)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 13 Januari 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas ridhonya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini ditulis untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, dorongan, saran, dan bimbingan dari berbagai pihak penulis tidak akan mendapatkan kelancaran dalam menyelesaikan skripsi ini. Dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Winarto, MSc, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan nasehat yang berharga sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Dr. Badrul Munir S.T., M.Eng. S.C., selaku Pembimbing Akademis
3. Bapak Seto Cahyono, Ahmad Ashari, S.T, dan M. Sajalih yang telah memberikan bantuan dalam proses pengelasan dan persiapan sampel.
4. PT Tira Austenite dan PT Alpha Austenite yang telah memberikan bantuan material dalam pengerjaan skripsi ini.
5. PT Radian Utama Interisco dan PT Astra Honda Motor yang telah membantu dalam pengujian material untuk pengerjaan skripsi ini.
6. Teman-teman Angkatan 2008, khususnya yang telah bersama-sama mengerjakan tugas akhir yang telah memberikan bantuan selama pengerjaan skripsi ini.
7. Andri Suryo Cahyono, Wirzaroka dan Adrinaldi, rekan seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir sekaligus sahabat yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
8. Teman-teman IMAMI UI, Fauzan, Achsanul Rizqi, Titan, dan Arif atas support dan do'anya selama ini.
9. Teman-teman seangkatan Metalurgi dan Material 2008 yang telah memberikan rasa kekeluargaan dan kenyamanan selama masa kuliah.

10. Teman-teman kosan Bukit Pisang, Heri, Noval, Didi, Suprayogi, Terry, Andre, Dede, Bang Kevin, Bang Dudit, Bram, dan Tezar yang telah 3 tahun bersama berbagi pengalaman baik susah maupun senang di kosan selama masa kuliah. Sukses untuk kita semua bro!
11. Senior dan junior yang banyak memberikan semangat.
12. Dan secara khusus kepada ayahanda Botanius, S.Pt dan ibunda Desmayetri Tasam, serta kakak Debi Fitriana yang telah banyak memberikan bantuan moral dan juga memberikan motivasi kepada penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini.

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

Depok, 13 Januari 2012

Penulis

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

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

Nama : Dimas Pratama

NPM : 0806331512

Departemen : Metalurgi dan Material

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

“Studi Pengaruh *Preheat* dan Perbedaan Kawat Las Terhadap Ketahanan Retak dan Sifat Mekanis Baja Tahan Aus CREUSABRO[®] 4800 dengan Pengelasan SMAW”

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 13 Januari 2012

Yang menyatakan



(Dimas Pratama)

ABSTRAK

Nama : Dimas Pratama
Program Studi : Metalurgi dan Material
Judul : Pengaruh *Preheat* dan Perbedaan Kawat Las Terhadap Ketahanan Retak dan Sifat Mekanis Baja Tahan Aus CREUSABRO[®] 4800 dengan Pengelasan SMAW

Retak dingin merupakan salah satu permasalahan yang sering terjadi pada pengelasan baja tahan aus. Skripsi ini berisi tentang penelitian pengaruh *preheat* dan perbedaan kawat las terhadap ketahanan retak dan sifat mekanis dari baja tahan aus CREUSABRO[®] 4800 dengan menggunakan pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW). Elektroda yang digunakan adalah elektroda E 7018 dan MG NOX 35. Sampel yang digunakan terdiri dari 6 buah pelat baja CREUSABRO[®] 4800 yang dilas dengan elektroda E 7018 dan MG NOX 35. Proses *preheat* dilakukan dengan menggunakan *burner* pada pelat baja dengan variasi temperatur *preheat*, diantaranya tanpa *preheat*, *preheat* 130⁰C, *preheat* 230⁰C. Berdasarkan hasil analisa data, retak dingin muncul pada sampel yang dilas dengan elektroda E 7018 tanpa perlakuan *preheat*. Perlakuan *preheat* pada temperatur 130⁰C dan 230⁰C tidak mengakibatkan adanya retak dingin pada hasil lasan. Penggunaan elektroda MG NOX 35 dapat mencegah terjadinya retak dingin pada hasil sambungan baja tahan aus meskipun tanpa perlakuan *preheat*. Selain itu, penggunaan elektroda yang memiliki perbedaan komposisi kimia menghasilkan sifat mekanis yang berbeda pula pada hasil lasan. Perlakuan *preheat* dan pemilihan elektroda memberikan pengaruh signifikan terhadap terjadinya retak dingin dan sifat mekanis pada hasil lasan baja tahan aus CREUSABRO[®] 4800.

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

ABSTRACT

Nama : Dimas Pratama
Program Studi : Metalurgi dan Material
Judul : Effect of Preheating and Different Filler Wire on the Crack Resistance & the Mechanical Properties of Wear Resistance Steel - Creusabro 4800 Welded by SMAW Process

Cold crack is one of the problem that often occurs on welding of wear resistance steel plate. On this final project, the reseach is focus on the effect of preheating treatment and kind of welding electrode in crack resistance and mechanical properties of CREUSABRO[®] 4800 wear resistance steel with SMAW process. Welding electrodes that is used are E 7018 and MG NOX 35. Samples consist of 6 CREUSABRO[®] 4800 wear resistance steel plates that is joined with E 7018 and MG NOX 35 electrode. The process of preheat is done on steel plate with variation of preheat temperature, they are without preheat, preheat 130⁰C, and preheat 230⁰C. Based on the results of data analysis, cold cracking were detected in the specimen welded with E 7018 electrode in no preheat condition. Cold crack is not occurs on samples that are preheated at 130⁰C and 230⁰C. The using of MG NOX 35 electrode can avoid cold crack phenomenon even in no preheat condition. Besides that, the using of different chemical composition welding electrode leads to different mechanical properties on weld joint. Preheat treatment and selection of welding electrode provides a significant influence on cold cracking phenomenon and mechanical properties on the weld joint of CREUSABRO[®] 4800 wear resistance steel.

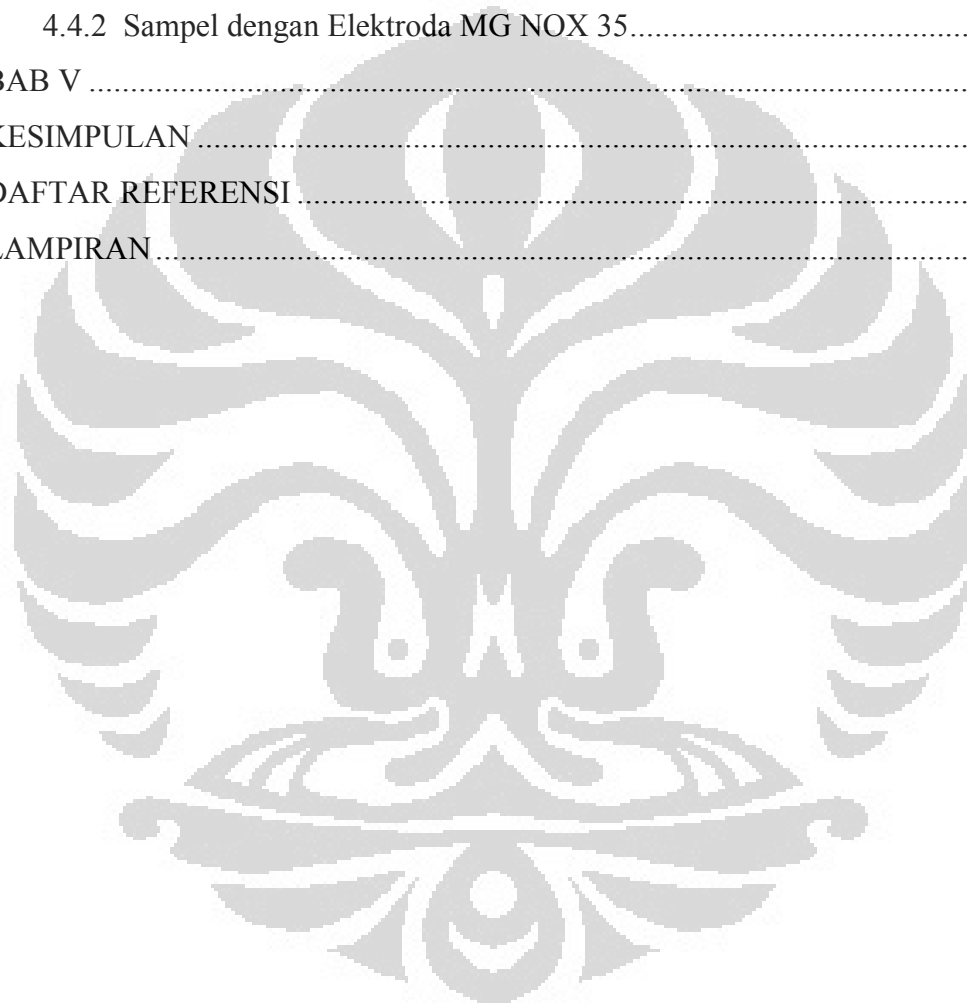
Keywords : Cold crack, preheat, welding electrodes, mechanical properties, SMAW

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS | vi |
| ABSTRAK | vii |
| ABSTRACT | viii |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xiv |
| DAFTAR TABEL | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvi |
| BAB 1 | 1 |
| PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.4 Ruang Lingkup Penelitian..... | 4 |
| BAB II | 6 |
| DASAR TEORI | 6 |
| 2.1 Baja Tahan Aus Cruesabro 4800..... | 6 |
| 2.2 Pengertian Pengelasan..... | 8 |
| 2.3 Pengelasan <i>Shielded Metal Arc</i> (SMAW)..... | 8 |
| 2.3.1 Proses Pengelasan..... | 8 |
| 2.3.2 Variable Parameter..... | 10 |
| 2.3.3 Elektroda..... | 11 |

| | |
|--|----|
| 2.3.4 Kelebihan dan Kekurangan | 12 |
| 2.4 Metalurgi Las | 12 |
| 2.5 Tegangan Sisa (<i>Residual Stress</i>) | 13 |
| 2.6 Retak Dingin (<i>Cold Crack</i>) | 17 |
| 2.7 Pemanasan Awal (<i>Preheating</i>) | 19 |
| 2.7.1 Pengertian | 19 |
| 2.7.2 Tujuan <i>Preheating</i> | 19 |
| BAB III | 22 |
| METODOLOGI PENELITIAN | 22 |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian | 22 |
| 3.2 Alat dan Bahan | 23 |
| 3.2.1 Alat | 23 |
| 3.2.2 Bahan | 23 |
| 3.3 Persiapan Sampel | 26 |
| 3.3.1 Pembuatan Kampuh Las | 26 |
| 3.3.2 Perlakuan Pemanasan Awal (<i>Preheating</i>) | 26 |
| 3.3.3 Proses Pengelasan SMAW (<i>Shielded Metal Arc Welding</i>) | 28 |
| 3.4 Pengujian dan Pengamatan Sampel | 29 |
| 3.4.1 Pengamatan Visual dan Radiografi | 29 |
| 3.4.2 Pengamatan Struktur Mikro | 29 |
| 3.4.3 Pengujian Kekerasan di daerah Logam Las, Haz dan Logam Induk | 30 |
| 3.4.4 Pengujian Kekuatan Tekuk (<i>Bending Test</i>) | 31 |
| BAB IV | 32 |
| HASIL DAN PEMBAHASAN | 32 |
| 4.1 Data dan Analisa Ketahanan Retak | 32 |
| 4.1.1 Sampel Tanpa Perlakuan <i>Preheat</i> | 32 |
| 4.1.2 Sampel Dengan Perlakuan <i>Preheat</i> 130°C | 37 |
| 4.1.3 Sampel Dengan Perlakuan <i>Preheat</i> 230°C | 39 |
| 4.2 Data dan Analisa Distribusi Nilai Kekerasan | 41 |
| 4.2.1 Sampel dengan Elektroda E 7018 | 41 |

| | |
|--|----|
| 4.2.1 Sampel dengan Elektroda MG NOX 35..... | 44 |
| 4.3 Data dan Analisa Kekuatan tekuk..... | 48 |
| 4.3.1 Sampel dengan Elektroda E 7018..... | 48 |
| 4.3.1 Sampel dengan Elektroda MG NOX 35..... | 51 |
| 4.4 Data dan Analisa Mikrostruktur..... | 55 |
| 4.4.1 Sampel dengan Elektroda E 7018..... | 55 |
| 4.4.2 Sampel dengan Elektroda MG NOX 35..... | 60 |
| BAB V..... | 67 |
| KESIMPULAN..... | 67 |
| DAFTAR REFERENSI..... | 68 |
| LAMPIRAN..... | 70 |

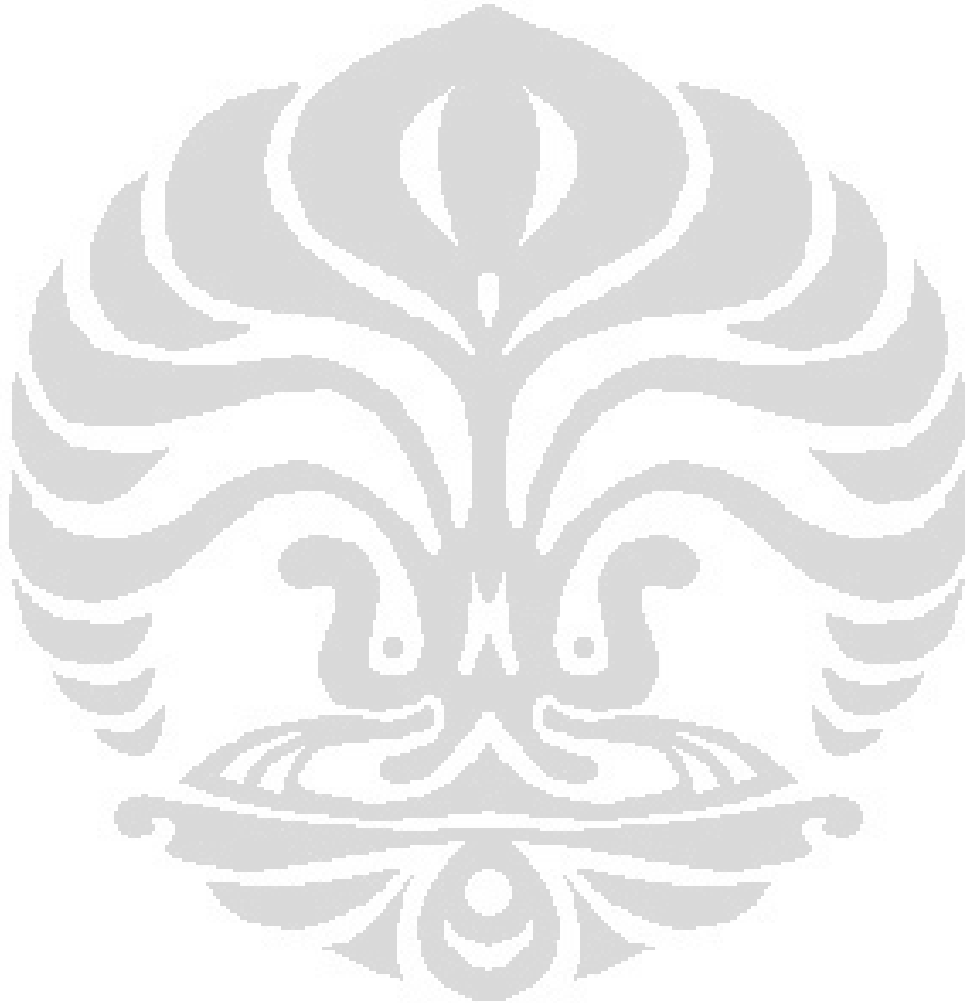


DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1. 1 Contoh aplikasi material tahan aus untuk industri tambang dan alat berat (atas), industri pertahanan (kiri bawah) dan industri semen (kanan bawah). | 2 |
| Gambar 2. 1 Perbandingan nilai kekerasan Creusabro 4800 dengan baja 400 HB water quenched ^[14] | 7 |
| Gambar 2. 2 Mekanisme chip removal pada baja 400 HB water quenched dan baja Cruesabro 4800 ^[14] | 7 |
| Gambar 2. 3 SMAW. (a) Proses Keseluruhan; (b) Proses Pengelasan SMAW ^[12] | 9 |
| Gambar 2.4 Arus Konstan. Keadaan Arc Length yang Berubah ^[12] | 10 |
| Gambar 2. 5 Polaritas DCEN (kiri) dan DCEP (kanan) pada proses SMAW ^[12] | 11 |
| Gambar 2. 6 Daerah Pengelasan Pada Variasi Temperatur ^[13] | 13 |
| Gambar 2. 7 Skema mekanisme terbentuknya tegangan sisa (residual stress)pada material yang di las ^[13] | 15 |
| Gambar 2. 8 Grafik temperatur pendinginan dari 300°C ke 100 °C (T300-100) terhadap. Koefisien Sensitifitas Retak (PW) ^[8] | 18 |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir Eksperimen | 22 |
| Gambar 3. 2 Potongan sebelum pengelasan(kiri), Bentuk sambungan saat pengelasan (kanan) | 26 |
| Gambar 3. 3 Pemanasan awal dengan gas Elpiji | 27 |
| Gambar 3. 4 Lokasi pengambilan Foto mikro dan uji kekerasan..... | 30 |
| Gambar 4. 1 Hasil pengamatan radiografi sampel dengan Elektroda E 7018, tanpa perlakuan <i>preheat</i> | 32 |
| Gambar 4. 2 Hasil pengamatan radiografi sampel dengan Elektroda MG NOX 35, tanpa perlakuan <i>preheat</i> | 33 |
| Gambar 4. 3 Diagram CCT (<i>Continious Cooling Transformation</i>) ^[15] | 35 |
| Gambar 4. 4 Hasil pengamatan radiografi sampel dengan Elektroda E 7018 dengan pemanasan awal (<i>preheat</i>) 130°C. | 37 |
| Gambar 4. 5 Hasil pengamatan radiografi sampel dengan Elektroda MG NOX 35 dengan pemanasan awal (<i>preheat</i>) 130°C. | 37 |
| Gambar 4. 6 Hasil pengamatan radiografi sampel dengan Elektroda E 7018 dengan pemanasan awal 230°C. | 39 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4. 7 Hasil pengamatan radiografi sampel dengan Elektroda MG NOX 35 dengan pemanasan awal 230°C. | 40 |
| Gambar 4. 8 Grafik kekerasan material dengan elektroda E 7018 dan perlakuan <i>preheat</i> 130°C. | 42 |
| Gambar 4. 9 Grafik kekerasan material dengan elektroda E 7018 dan dengan variasi perlakuan <i>preheat</i> | 43 |
| Gambar 4. 10 Grafik kekerasan material dengan elektroda E 7018 dan perlakuan <i>preheat</i> 130°C. | 45 |
| Gambar 4. 11 Grafik kekerasan material dengan elektroda MG NOX 35 dan dengan variasi perlakuan <i>preheat</i> | 47 |
| Gambar 4. 12 Grafik hasil uji tekuk sampel dengan elektroda E 7018 tanpa perlakuan <i>preheat</i> | 49 |
| Gambar 4. 13 Grafik hasil uji tekuk sampel dengan elektroda E 7018 dan dengan perlakuan <i>preheat</i> 130° C | 49 |
| Gambar 4. 14 Grafik hasil uji tekuk sampel dengan elektroda E 7018 dan dengan perlakuan <i>preheat</i> 230° C..... | 50 |
| Gambar 4. 15 Grafik hasil uji tekuk sampel dengan elektroda MG NOX 35 tanpa perlakuan <i>preheat</i> | 52 |
| Gambar 4. 16 Grafik hasil uji tekuk sampel dengan elektroda MG NOX 35 dan dengan perlakuan <i>preheat</i> 130° C..... | 52 |
| Gambar 4. 17 Grafik hasil uji tekuk sampel dengan elektroda MG NOX 35 dan dengan perlakuan <i>preheat</i> 230° C..... | 53 |
| Gambar 4. 18 Mikrostruktur logam dasar dengan Elektroda E 7018 tanpa perlakuan <i>preheat</i> | 55 |
| Gambar 4. 19 Mikrostruktur daerah HAZ dengan Elektroda E 7018 tanpa perlakuan <i>preheat</i> | 56 |
| Gambar 4. 20 Mikrostruktur daerah HAZ dengan Elektroda E 7018 dengan perlakuan <i>preheat</i> 130°C | 56 |
| Gambar 4. 21 Mikrostruktur daerah HAZ dengan Elektroda E 7018 dengan perlakuan <i>preheat</i> 230°C | 57 |
| Gambar 4. 22 Mikrostruktur daerah kumpuh las dengan Elektroda E 7018 tanpa perlakuan <i>preheat</i> | 57 |
| Gambar 4. 23 Mikrostruktur Kumpuh Las dengan Elektroda E 7018 dengan perlakuan <i>preheat</i> 130°C | 58 |
| Gambar 4. 24 Mikrostruktur Kumpuh Las dengan Elektroda E 7018 dengan perlakuan <i>preheat</i> 230°C | 58 |
| Gambar 4. 25 Mikrostruktur logam dasar..... | 60 |
| Gambar 4. 26 Mikrostruktur daerah HAZ dengan Elektroda MG NOX 35 tanpa perlakuan <i>preheat</i> | 61 |
| Gambar 4. 27 Mikrostruktur daerah HAZ dengan Elektroda MG NOX 35 dengan perlakuan <i>preheat</i> 130°C | 61 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4. 28 Mikrostruktur daerah HAZ dengan Elektroda MG NOX 35 dengan perlakuan preheat 230°C..... | 62 |
| Gambar 4. 29 Mikrostruktur kampuh las dengan Elektroda MG NOX 35 tanpa perlakuan <i>preheat</i> | 62 |
| Gambar 4. 30 Mikrostruktur kampuh las dengan Elektroda MG NOX 35 35 dengan perlakuan preheat 130°C..... | 63 |
| Gambar 4. 31 Mikrostruktur kampuh las dengan Elektroda MG NOX 35 35 dengan perlakuan preheat 230°C..... | 63 |

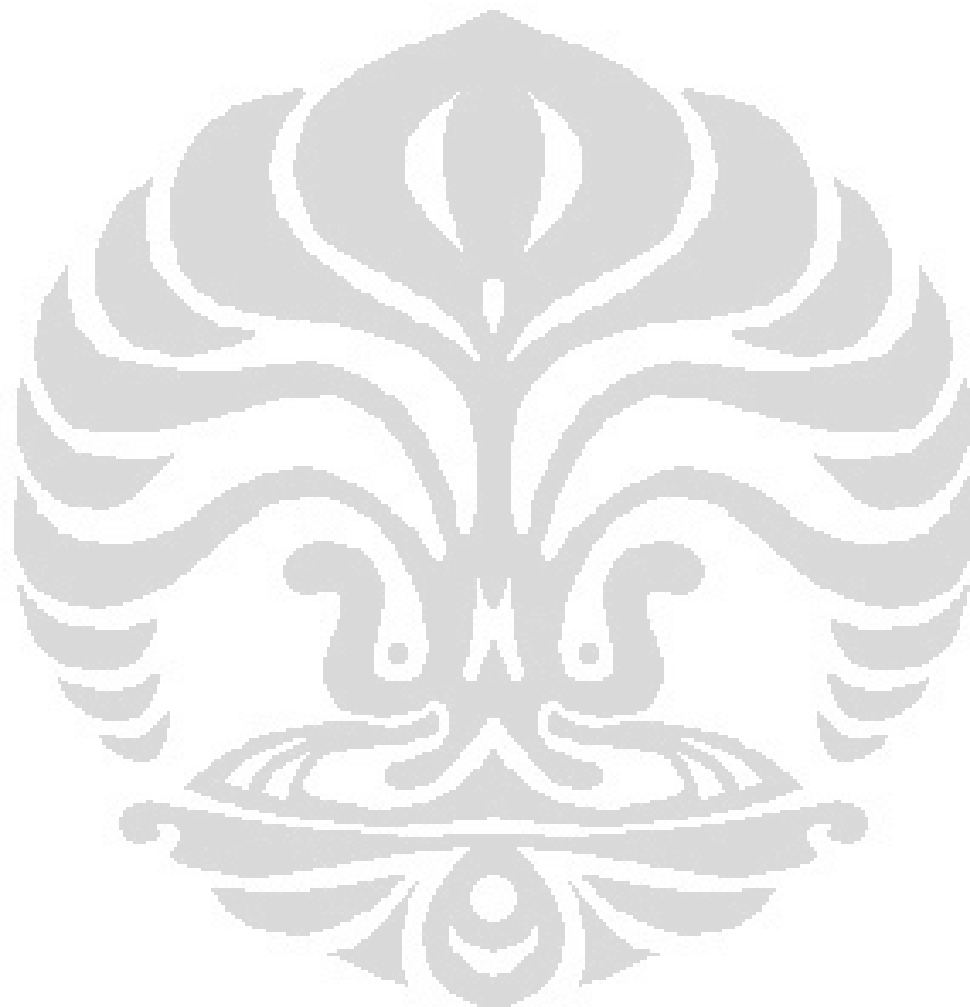


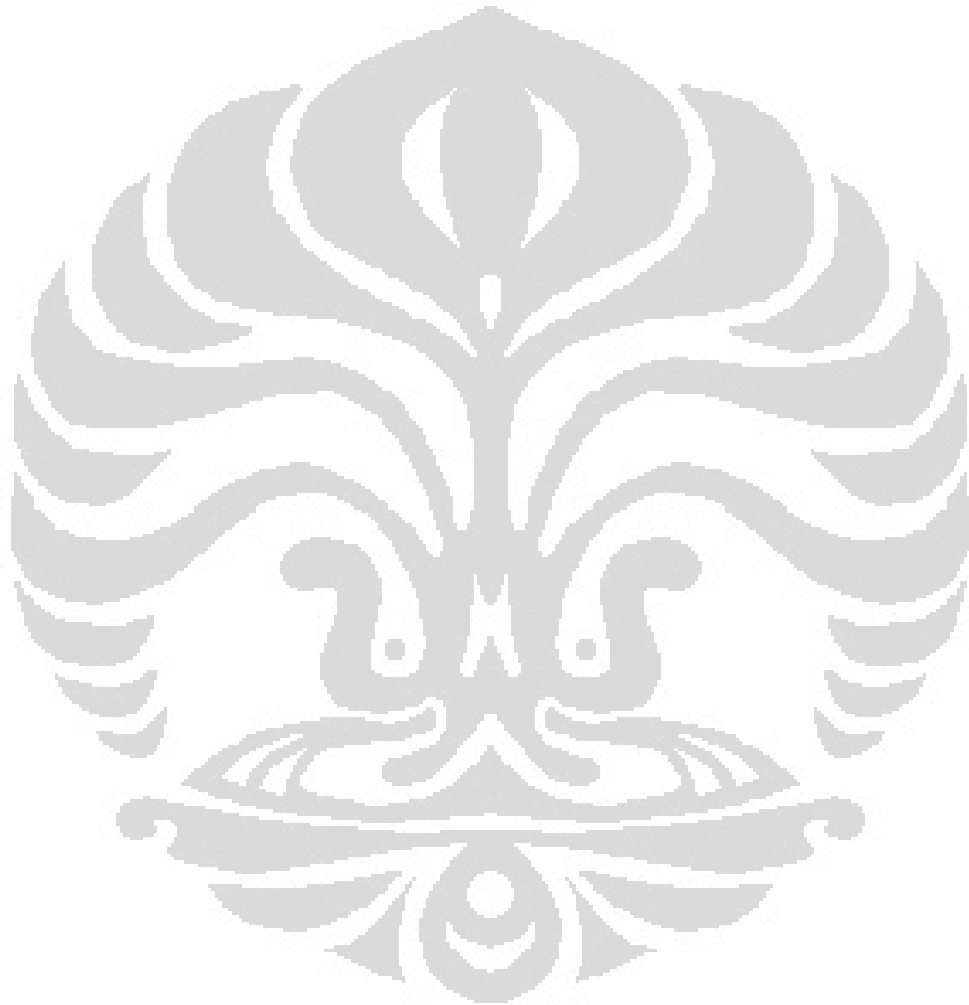
DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 1. 1 Komposisi Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO® 4800 ^[14] | 4 |
| Tabel 1. 2 Mechanical Properties Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO® 4800 ^[14] ... | 5 |
| | |
| Tabel 2. 1 Komposisi Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO® 4800 ^[14] | 6 |
| | |
| Tabel 3. 1 Komposisi Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO® 4800 ^[14] | 23 |
| Tabel 3. 2 Mechanical Properties Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO® 4800 ^[14] ... | 24 |
| Tabel 3. 3 Ukuran Sampel CREUSABRO® 4800 | 24 |
| Tabel 3. 4 Komposisi Kimia Elektroda E-7018 | 25 |
| Tabel 3. 5 Sifat Mekanis Elektroda E-7018 | 25 |
| Tabel 3. 6 Komposisi Kimia MG NOX 35 | 25 |
| Tabel 3. 7 Sifat Mekanis MG NOX 35 | 25 |
| Tabel 3. 8 WPS (Welding Procedure Spesification) yang digunakan..... | 28 |
| | |
| Tabel 4. 1 Komposisi Kimia Elektroda E-7018 | 34 |
| Tabel 4. 2 Komposisi Kimia MG NOX 35 | 36 |
| Tabel 4. 3 Distribusi Kekerasan CREUSABRO® 4800 dengan Elektroda E 7018.... | 41 |
| Tabel 4. 4 Distribusi Kekerasan CREUSABRO®4800 dengan Elektroda MG NOX 35 | 44 |
| Tabel 4. 5 Sifat mekanis elektroda MG NOX 35 | 46 |
| Tabel 4. 6 Hasil uji tekuk sampel dengan elektroda E 7018..... | 48 |
| Tabel 4.7 Hasil uji tekuk sampel dengan elektroda MG NOX 35 | 51 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| Lampiran 1. Kurva hasil pengujian bending sampel dengan elektoda MG NOX 35..... | 70 |
| Lampiran 2. Kurva hasil pengujian bending sampel dengan elektroda E 7018..... | 71 |
| Lampiran 3. Data hasil pengamatan radiografi | 72 |





BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki 17.504 pulau. Lebih dari itu, Indonesia merupakan negara yang memiliki keberagaman sumber daya alam yang tinggi. Tanahnya yang kaya akan mineral-mineral berharga menjadikan Indonesia sebagai salah satu Negara penghasil mineral tambang terbesar di dunia. Hal ini menyebabkan banyak industri-industri pertambangan yang tumbuh dan berkembang di Indonesia.

Kekayaan alam yang begitu melimpah tidak serta-merta dapat membuat Indonesia menjadi negara yang kaya secara finansial. Namun, dibutuhkan inovasi-inovasi dalam bidang teknologi yang dapat mengoptimalkan pengelolaan sumber daya alam yang ada di Indonesia. Pengoptimalan eksplorasi tambang di Indonesia tentunya perlu didukung oleh peralatan-peralatan yang memiliki *performance* tinggi. Secara umum, peralatan-peralatan yang digunakan pada industri pertambangan terbuat dari material baja tahan aus. Hal ini disebabkan karena proses eksplorasi yang dilakukan berhubungan dengan mineral dan batuan yang memiliki kekerasan cukup tinggi. Di samping harus memiliki kekerasan yang tinggi, material tahan aus yang digunakan juga dituntut untuk memiliki ketangguhan yang cukup baik.

Berbagai jenis material baja tahan aus telah dikembangkan dan diaplikasikan di industri pertambangan. Di antaranya adalah baja mangan (*manganese steel*), *Ni-Hard*, *high chromium-white iron*, *quenched and tempered steel* dan lain-lain. Kelemahan dari material-material tahan aus di atas adalah nilai kekerasannya yang terbatas serta umur pakainya yang relatif pendek. Untuk itu, dikembangkanlah material baja tahan aus dengan teknologi TRIP (*TRansformation Induced by Plasticity*). Baja TRIP biasanya memiliki sifat yang lebih *ductile* ketika awal

digunakan sehingga mudah untuk difabrikasi. Namun, nilai kekerasan baja TRIP meningkat cukup signifikan ketika digunakan pada kondisi dimana material mengalami deformasi plastis akibat kondisi abrasif. Karakteristik seperti itulah yang menyebabkan baja TRIP saat ini banyak digunakan sebagai material tahan aus. Adapun aplikasi baja ini banyak dipakai pada industri semen, industri tambang maupun industri pembuatan komponen alat berat serta alat pertahanan yang saat ini digalakan di Indonesia.



Gambar 1. 1 Contoh aplikasi material tahan aus untuk industri tambang dan alat berat (atas), industri pertahanan (kiri bawah) dan industri semen (kanan bawah).

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

Adapun masalah serius dalam proses pengelasan baja ini adalah kerentanan tinggi terhadap retak dingin (*cold crack*) di daerah lasan (HAZ) karena sifat kemampu-kerasan material yang tinggi. Banyak produsen baja saat ini mencoba

mengembangkan material baja berkekuatan tinggi namun memiliki daya tahan tinggi terhadap retak di HAZ ^[1]. Namun, permasalahan terjadinya retak dingin telah menjadi kendala utama dalam aplikasi baja kekuatan tinggi di lapangan (field) ^[2,3].

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

1.2 Perumusan Masalah

Penelitian dilakukan pada pelat baja tahan aus yang umumnya dipakai untuk fabrikasi alat berat dimana membutuhkan ketahanan aus yang cukup tinggi. Selain itu, pelat baja yang biasanya digunakan untuk konstruksi alat berat memiliki ketebalan yang relatif cukup tebal. Hal ini sangat berpotensi menimbulkan retakan pada daerah sambungan las akibat laju pendinginan yang cukup tinggi. Pelat baja yang tebal berperan sebagai suatu media konduktor yang dapat mentransfer panas yang timbul selama proses pengelasan sehingga terjadi laju pendinginan yang cepat dari logam cair.

Pada pengelasan pelat baja dengan tebal yang sama namun dengan temperatur *preheat* yang berbeda akan menyebabkan laju pendinginan yang berbeda pula serta nilai kekerasan yang berbeda pula pada sambungan las. Selain itu, jenis kawat las yang digunakan pada proses pengelasan juga sangat mempengaruhi terhadap ketahanan retak dan sifat mekanis pada sambungan las baja tahan aus. Kawat las yang memiliki komposisi berbeda akan menghasilkan karakteristik yang berbeda pula pada

hasil pengelasan. Secara khusus, dengan variasi temperatur *preheat* dan jenis kawat las pada pengelasan baja tahan aus Creusabro[®] 4800 ingin diketahui pengaruhnya terhadap ketahanan retak dan sifat mekanis pada sambungan las.

Dengan adanya variabel *pre-heat* dan variasi kawat las pada pengelasan baja tahan aus ini dapat diamati perbedaan sifat mekanis dan ketahanan terhadap *cold crack* pada daerah sambungan las. Lebih luas lagi, penulis akan mempelajari dan menghubungkan faktor-faktor yang mempengaruhi sifat mekanis dan ketahanan terhadap *cold crack* pada daerah sambungan las, termasuk upaya untuk meningkatkan ketahanan terhadap *cold crack* pada sambungan las baja tahan aus tersebut.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui ketahanan retak dan sifat mekanis pada sambungan las tumpul (*Butt Weld*) pada pelat baja tahan aus dengan menggunakan proses SMAW dengan parameter temperatur *preheat* dan jenis kawat las. Dengan mengetahui hubungan antara temperatur *preheat* dan jenis kawat las yang digunakan terhadap sifat mekanis (ketangguhan dan kekerasan) dan ketahanan retak pada sambungan las baja Creusabro[®] 4800 akan bermanfaat dalam disain konstruksi lasan pelat baja tahan aus sehingga umur pakai material bisa lebih panjang serta waktu fabrikasi tepat waktu (tidak ada perbaikan atau *repair*).

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian meliputi :

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

Tabel 1. 1 Komposisi Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO[®] 4800 (*in wt %*)^[14].

| C | Mn | Ni | Cr | Mo | S | Ti |
|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| ≤ 0,20 | ≤ 1,60 | ≈ 0,20 | ≤ 1,90 | ≤ 0,40 | ≤ 0,005 | ≤ 0,20 |

Tabel 1. 2 *Mechanical Properties* Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO® 4800 ^[14].

| <i>Hardness</i> (HB) | <i>Yield Strength</i> (MPa) | UTS (MPa) | EL (%) | KCVL- 200C (J/Cm2) | E (GPa) |
|-------------------------|--------------------------------|--------------|--------|--------------------------|---------|
| 370 | 900 | 1200 | 12 | 45 | 205 |

2. Kawat las yang digunakan :
Elektroda E-7018 dan MG NOX 35
Diamater elektroda : 3,2 mm.
3. Parameter Las yang digunakan sesuai dengan WPS yang telah dibuat.
4. Pengujian-pengujian yang dilakukan :
 1. Visual dan X-Ray Radiografi *Test* (RT)
 2. Mikrostruktur daerah las
 3. Kekuatan Tekuk
 4. Distribusi kekerasan Logam induk, HAZ dan Logam Las.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Baja Tahan Aus Creusabro 4800

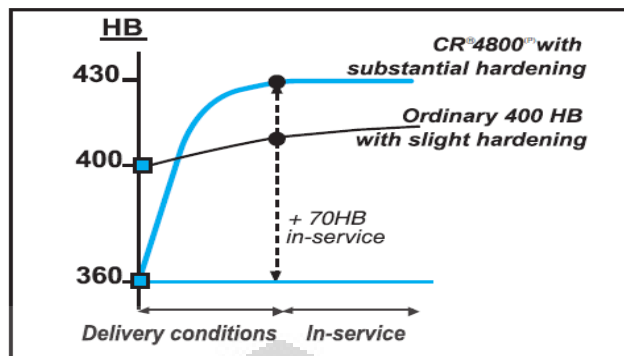
Baja Creusabro 4800 merupakan tipikal baja tahan aus yang diproduksi oleh Industeel Group. Baja ini tergolong ke dalam baja HSLA (*High Streeng Low Alloy*) dan tidak memiliki equivalent di dalam ASTM ataupun *standard material* lainnya. Komposisi kimia baja Creusabro 4800 adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 1 Komposisi Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO® 4800 (*in wt %*)^[14].

| C | Mn | Ni | Cr | Mo | S | Ti |
|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| ≤ 0.20 | ≤ 1,60 | ≈ 0,20 | ≤ 1,90 | ≤ 0,40 | ≤ 0,005 | ≤ 0,20 |

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

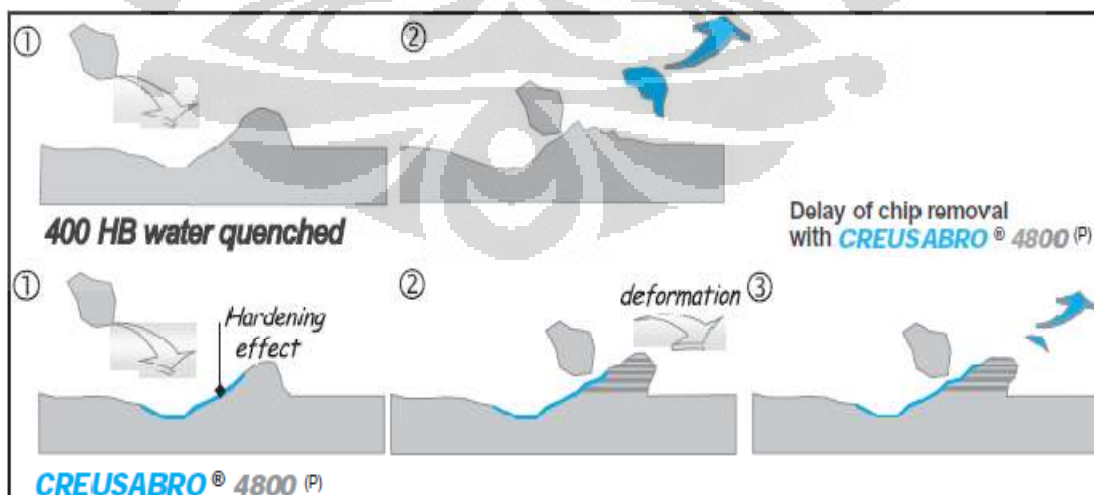
- Mikro karbida dari *chromium*, *molybdenum*, dan *titanium* yang tersebar merata di dalam struktur mikro baja Creusabro 4800.
- *Work hardening* selama pengaplikasian yang disebabkan oleh efek metalurgi yang biasa dikenal dengan istilah “**TRIP** effect” (*TR*ansformation *I*nduced by *P*lasticity).



Gambar 2. 1 Perbandingan nilai kekerasan Creusabro 4800 dengan baja 400 HB *water quenched* ^[14].

Baja Creusabro 4800 memiliki nilai kekerasan sebesar 360 HB, tetapi setelah digunakan pada kondisi abrasif nilai kekerasannya dapat meningkat sampai 430 HB. Hal ini terjadi akibat fenomena **TRIP** (*TRansformation Induced by Plasticity*). Ketika mengalami deformasi plastis lokal, austenit sisa yang terdapat di dalam struktur mikro baja Creusabro 4800 dapat bertransformasi menjadi fasa martensit yang lebih keras sehingga nilai kekerasan baja semakin meningkat.

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



Gambar 2. 2 Mekanisme *chip removal* pada baja 400 HB *water quenched* dan baja Cruesabro 4800 ^[14].

Material Creusabro 4800 ini memiliki *weldability* yang kurang baik karena sangat rentan terhadap *cold crack* setelah dilakukan proses pengelasan.

2.2 Pengertian Pengelasan

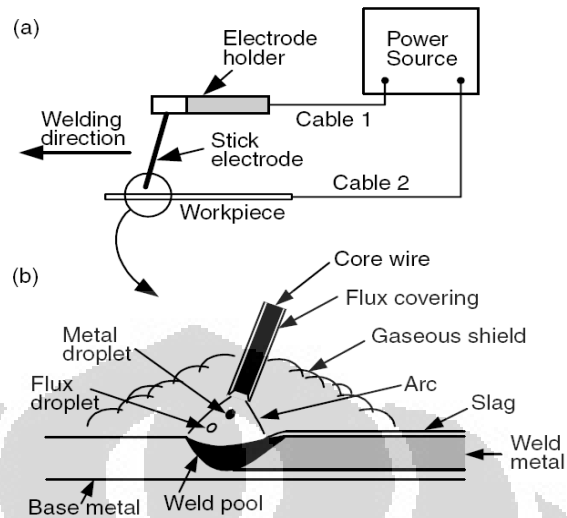
Pengelasan adalah metode paling umum yang sering digunakan dalam penyambungan pada struktur yang terbuat dari logam. Hampir semua konstruksi bangunan teknik dibangun dari beberapa bagian yang harus disambung menjadi satu kesatuan. Hal ini dilakukan untuk mempermudah proses manufaktur, proses perakitan,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

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

2.3 Pengelasan *Shielded Metal Arc* (SMAW)

2.3.1 Proses Pengelasan Manual

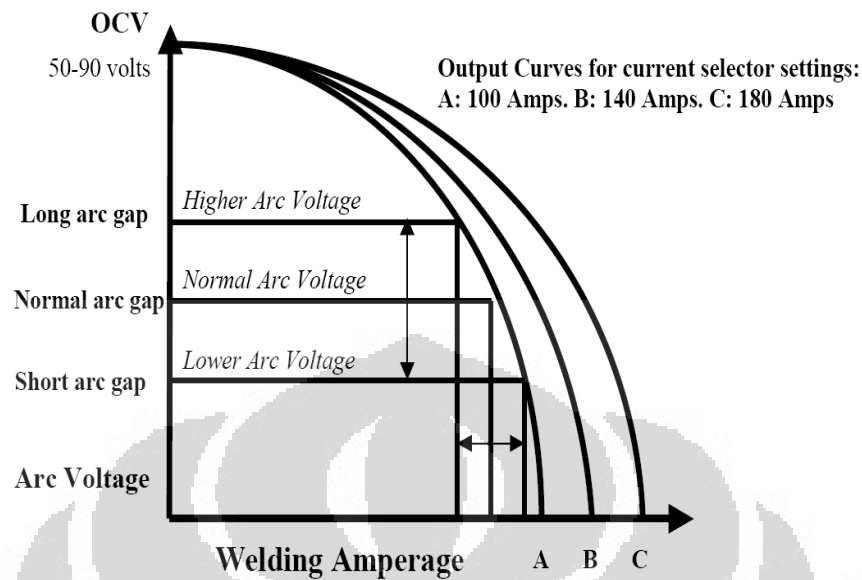
Shielded Metal Arc Welding merupakan proses mencairkan dan menggabungkan logam dengan memanaskannya menggunakan *arc* (busur listrik), *arc* tercipta antara *electrode* yang dilindungi *flux* dan logam. Proses SMAW biasa disebut dengan *stick welding*. Proses ini merupakan proses yang paling umum dan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



Gambar 2. 3 SMAW. (a) Skematik Alat Las; (b) Proses Pengelasan SMAW^[12]

Panas yang dihasilkan oleh *arc* menyebabkan kawat *electrode* dan *flux* mencair sebagai *droplets* (**Gambar 2.3 b**). logam yang mencair berkumpul di kampuh las dan membeku menjadi *weld metal*. Sedangkan, *flux* ringan yang mencair akan mengapung di kampuh las dan membeku membentuk lapisan *slag* di atas *weld metal*. Sebaliknya, *flux* yang berat akan tetap berada di dalam kampuh las (tidak mengapung) dan membentuk inklusi.

Pada proses SMAW, *arc length* dikontrol sepenuhnya oleh *welder*. *Welder* berpengalaman dan mempunyai kemampuan yang baik untuk mengelas dapat mempertahankan *arc length*, namun tetap saja akan selalu ada variasi. *Arc length* yang meningkat akan memerlukan voltase untuk mempertahankan *arc* agar tetap stabil. Hal ini akan mengakibatkan nilai arus menurun. Grafik di bawah ini menggambarkan hubungan antara voltase (V) dan arus listrik (A) menunjukkan efek dari *arc length*. Gambar 3.3 dibawah, menyatakan bahwa perubahan tegangan yang besar hanya mengakibatkan sedikit perubahan amper.



Gambar 2.4 Arus Konstan. Keadaan *Arc Length* yang Berubah ^[12]

2.3.2 Variable Parameter

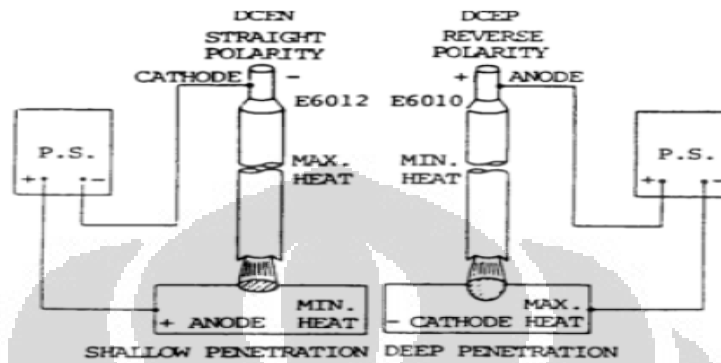
1. Voltase (V)

Open Circuit Voltage (OCV) adalah voltase yang diperlukan untuk menyalakan *electric arc* dan akan berubah-ubah sesuai *electrode* yang sedang digunakan. Pada umumnya, *electrode* yang terlapisi membutuhkan OCV sekitar 70 – 90 volt. *Arc voltage* pada proses pengelasan di ukur sedekat mungkin dengan *arc*. Ini hanya *variable* yang berubah-ubah pada SMAW dengan perubahan *arc length* dan atau hubungan listrik yang kurang baik.

2. Arus dan Polaritas

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

dangkal. Sebaliknya, Saat *electrode* diberi polaritas *Direct Current Electrode Positive* (DCEP), panas maksimum akan terjadi di benda kerja, sehingga menghasilkan penetrasi las yang dalam.



Gambar 2. 5 Polaritas DCEN (kiri) dan DCEP (kanan) pada proses SMAW^[12].

2.3.3 Elektroda

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

- Perlindungan

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

- Stabilitas *arc*

Menghasilkan *arc stabilizer* untuk menjaga agar *arc* tetap stabil. Senyawanya berupa potassium oksalat dan kalium karbonat.

- *Alloying*

Flux menghasilkan unsur *alloying*. Pada awalnya, unsur ini mengontrol komposisi, kemudian meningkatkan kecepatan deposisi.

Dalam penggunaan *electrode*, *electrode* harus dipanaskan pada suhu 300 – 350 °C. ini bertujuan untuk menghilangkan kelembaban pada *electrode*. Setelah satu jam, *electrode* tersebut dimasukkan kedalam *holding oven* dengan suhu 120 – 150 °C.

2.3.4 Kelebihan dan Kekurangan

Kelebihan :

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

Kekurangan :

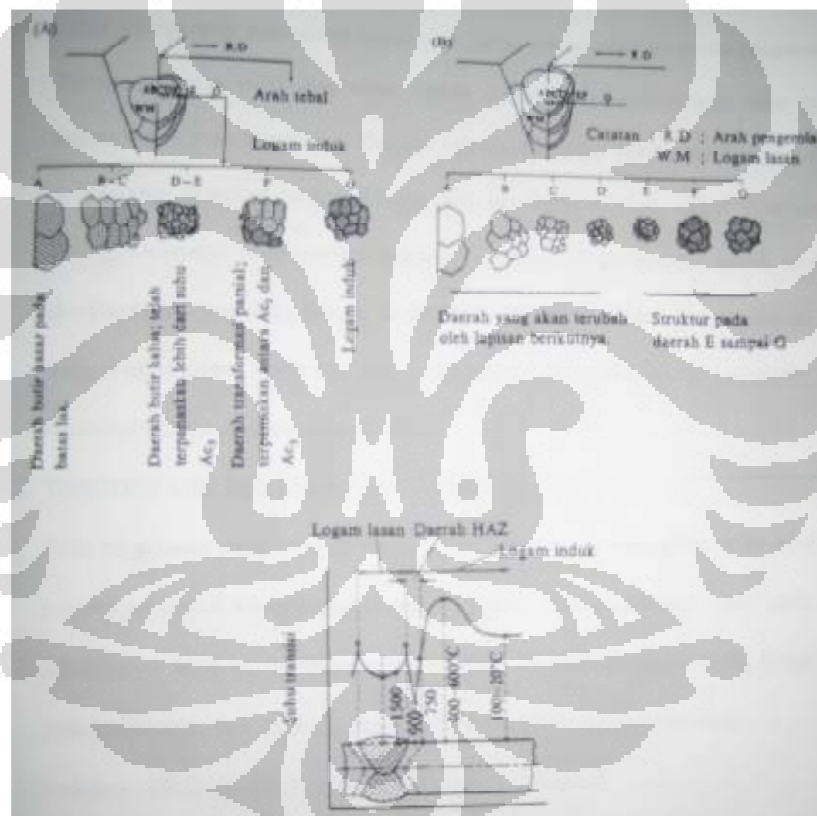
- Membutuhkan *welder* dengan kemampuan tinggi
- *Arc strike* atau *slag inclusion* dapat terjadi
- Kurang terproteksi dari atmosfer dengan baik
- Asapnya berbahaya

2.4 Metalurgi Las

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

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

- Daerah peleburan (*superheated*)
- Daerah Fusi (*Fusion Zone*)
- Daerah HAZ (*Heat Affected Zone*)
- Daerah logam induk (*base metal*)



Gambar 2. 6 Daerah Pengelasan Pada Variasi Temperatur ^[13].

2.5 Tegangan Sisa (*Residual Stress*)

Tegangan sisa (*residual stress*) pada daerah yang berdekatan dengan daerah lasan merupakan suatu hal yang tidak dapat dihindari. Namun tegangan sisa ini

dianggap tidak berbahaya selama material mendapatkan pembebanan statik dibawah *yield point* dari material tersebut. Apabila daerah lasan yang mengandung tegangan sisa mendapatkan pembebanan impak maka dikhawatirkan daerah lasan tersebut akan mengalami kegagalan (*failure*). Dengan kata lain terbentuknya tegangan sisa akibat proses pengelasan menyebabkan material logam menjadi lebih getas (*brittle*). Hal ini tentunya harus dihindari atau diminimalisir karena salah satu kriteria dari hasil pengelasan yang bagus adalah material di daerah lasan memiliki keuletan yang cukup tinggi.

Tegangan sisa yang terbentuk akibat proses pengelasan pada material yang memiliki ketebalan cukup biasanya dapat dihilangkan dengan perlakuan panas pasca las (*post weld heat treatment/ PWHT*). Selain itu, untuk meminimalisir terbentuknya tegangan sisa pada daerah sambungan las dapat dilakukan dengan cara mengurangi kecepatan pendinginan logam pengisi dengan cara melakukan proses *preheat*. Proses pendinginan sesudah pengelasan menyebabkan perubahan dimensional pada daerah lasan akibat pengaruh temperatur dan perubahan fasa dari logam. Perubahan tersebut dapat menyebabkan retak pada daerah lasan dan daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone*).

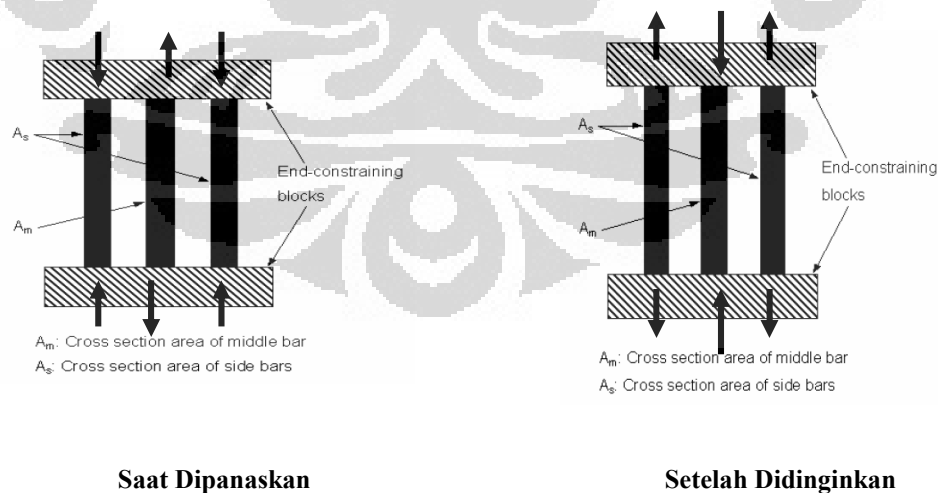
Mematuhi prosedur pengelasan dengan benar adalah hal yang sangat penting jika menginginkan sambungan las yang baik. Prosedur pengelasan dibuat dengan memperhatikan parameter-parameter seperti :

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

Dari parameter – parameter yang disebutkan diatas dapat dikatakan bahwa masukan panas (*Heat Input*) harus benar-benar diperhatikan. Masukan panas menyebabkan terjadinya proses pemuaihan (*expansion*), penyusutan (*contraction*)

bahan yang di las yang akhirnya akan mempengaruhi besar kecilnya tegangan sisa sambungan las. Tegangan sisa biasa juga disebut sebagai tegangan dalam (*internal stress*). Adanya tegangan sisa akan menurunkan sifat-sifat teknik material atau suatu konstruksi seperti: ketahanan fatik (*fatigue*), ketahanan korosi dan distorsi serta sifat teknik lainnya. Material-material yang biasanya mempunyai tegangan sisa adalah material-material yang pada proses pembuatannya mengalami proses perubahan bentuk seperti: *rolling*, *forging* dan pengelasan.

Untuk memahami terbentuknya tegangan sisa dari suatu sambungan las, maka dapat digambarkan seperti terlihat pada **Gambar 2.7**. Batang A_m atau yang terletak di bagian tengah diasumsikan sebagai daerah las, sedangkan batang A_s diasumsikan sebagai daerah sekitar pengelasan yang tidak mengalami pengaruh panas. Pada saat pemanasan, batang A_m mengalami pemuaian, namun di tahan oleh batang A_s , sehingga dapat dikatakan bahwa batang A_m menghasilkan tegangan tekan, sedangkan batang A_s mengalami tegangan tarik. Saat didinginkan kembali sampai temperature kamar, batang A_m mengalami penyusutan namun ditahan oleh batang A_s . Pada saat ini batang A_m berubah mengalami tegangan tarik, sementara batang A_s mengalami tegangan tekan. Pada temperatur kamar dapat dikatakan bahwa batang A_m mempunyai tegangan dalam tarik, sementara batang A_s mempunyai tegangan dalam tekan.



Gambar 2.7 Skema mekanisme terbentuknya tegangan sisa (residual stress) pada material yang di las^[13].

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

1. Pemanasan awal (*Preheating*)

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

2. Temperatur antar lapis (*Interpass Temperature*)

Pada pengelasan yang lebih dari satu *layer (multi layer)* 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.

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

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

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

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

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

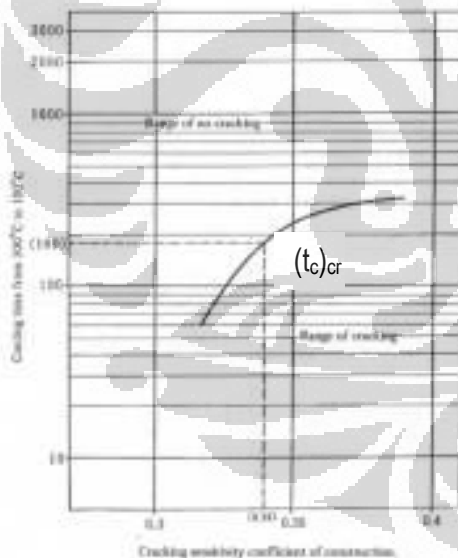
2.6 Retak Dingin (*Cold Crack*)

Retak dingin (*cold crack*) pada beberapa literatur dikenal beberapa istilah seperti retak akibat induksi gas hidrogen (*hydrogen induced cracking*), retak tertunda (*delay cracking*) dan retak dibawah kampuh (*underbead cracking*)^[4]. Retak dingin adalah retak yang terjadi pada suhu di bawah 150°C dan retak ini muncul mulai dari beberapa menit hingga beberapa hari. Selain itu, retak dingin tergantung pada tiga faktor yang berinteraksi yaitu: (i) adanya kelarutan gas hidrogen dalam baja, (ii) terbentuknya tegangan sisa yang tinggi, dan (iii) adanya struktur keras seperti martensit^[5].

Beberapa penelitian untuk penentuan prosedur pengelasan (*welding procedure*) dalam rangka menghindari retak pada konstruksi baja telah dilakukan oleh beberapa peneliti^[6,7]. 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 ^[6] 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 $(t_c)_{cr}$.



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

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

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

K: Intensity of restraint (kg/mm²·mm)

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

2.7 Pemanasan Awal (*Preheating*)

2.7.1 Pengertian.

Preheating dalam AWS Standard didefinisikan sebagai “panas yang diberikan kepada material induk atau substrat untuk mencapai atau menjaga pada temperatur pemanasan”. Temperatur *preheat* didefinisikan sebagai “temperatur dari material induk yang besarnya disekitar temperatur las sebelum dilakukan pengelasan”^[6].

2.7.2 Tujuan *Preheating*

Ketika dilakukan pengelasan pada material dan pada saat kondisi tertentu, *preheating* atau *post weld heat treatment* (PWHT) terkadang diperlukan. Beberapa tipe perlakuan panas ini pada umumnya dibutuhkan pada saat memastikan kesatuan pengelasan dan juga dapat untuk mencegah atau menghilangkan sifat-sifat yang tidak diinginkan pada saat selesai dilakukan pengelasan. Segala bentuk dari perlakuan panas pasti berdampak pada biaya, seperti perlengkapan ekstra, waktu, dan penanganan yang lebih. Untuk beberapa alasan tersebut, maka perlakuan panas harus dipertimbangkan secara seksama apakah menguntungkan atau tidak. Pada kasus tertentu, perlakuan panas menjadi suatu hal yang wajib dan harus dilakukan karena alasan tertentu^[10].

Adapun pengaruh pemanasan *preheat* terhadap kecepatan pendinginan (*cooling rate*) sambungan las sama seperti pengaruh *heat input* yaitu, untuk material yang sama, semakin tinggi nilai *preheat* atau *heat input* maka kecepatan pendinginan makin rendah, demikian juga sebaliknya. Kecepatan pendinginan ditentukan beberapa faktor seperti : ketebalan material yang dilas , panas jenis (*specific heat*), berat jenis (*density*) dan daya hantar panas (*thermal conductivity*)^[9].

Preheating dapat dilakukan dengan menggunakan gas *burners*, *oxy-gas flames*, *electric blankets*, pemanasan induksi, atau dengan dipanaskan di dapur. Untuk hasil yang bagus sangat penting untuk memanaskan secara merata di daerah sekitar yang akan dilakukan pengelasan. Ketika pemanasan yang tidak merata, maka

pendinginan yang lambat akan dapat memberikan dampak tegangan sisa, distorsi, atau perubahan secara metalurgi lainnya yang tidak diinginkan^[10].

Ketika melakukan preheating, seluruh permukaan sambungan yang akan dilas dipastikan diberikan panas merata ke seluruh ketebalan material sampai ke temperature yang diinginkan. Untuk mendapatkan temperature yang merata ke semua ketebalan material adalah dengan mengarahkan sumber panas ke salah satu bagian material dan mengukur temperatur yang terjadi di bagian lainnya yang berlawanan^[10].

Pada aplikasi khusus, temperatur preheat harus dikontrol secara tepat. Dalam situasi ini dapat dikontrol dengan menggunakan alat seperti thermocouple sebagai indikator dari temperatur^[10].

Beberapa Alasan dilakukannya *preheating*:

- a) Untuk menghilangkan uap air dari daerah pengelasan.

Pemanasannya biasanya diarahkan kepada permukaan material dengan temperatur yang relatif rendah, hanya beberapa derajat diatas titik didih air. Hal ini akan membuat permukaan material kering dan mengangkat kontaminan yang tidak diinginkan yang bias menyebabkan porositas, *hydrogen embrittlement*, atau retak karena pengaruh hidrogen selama proses pengelasan^[10].

- b) Mengontrol laju pendinginan.

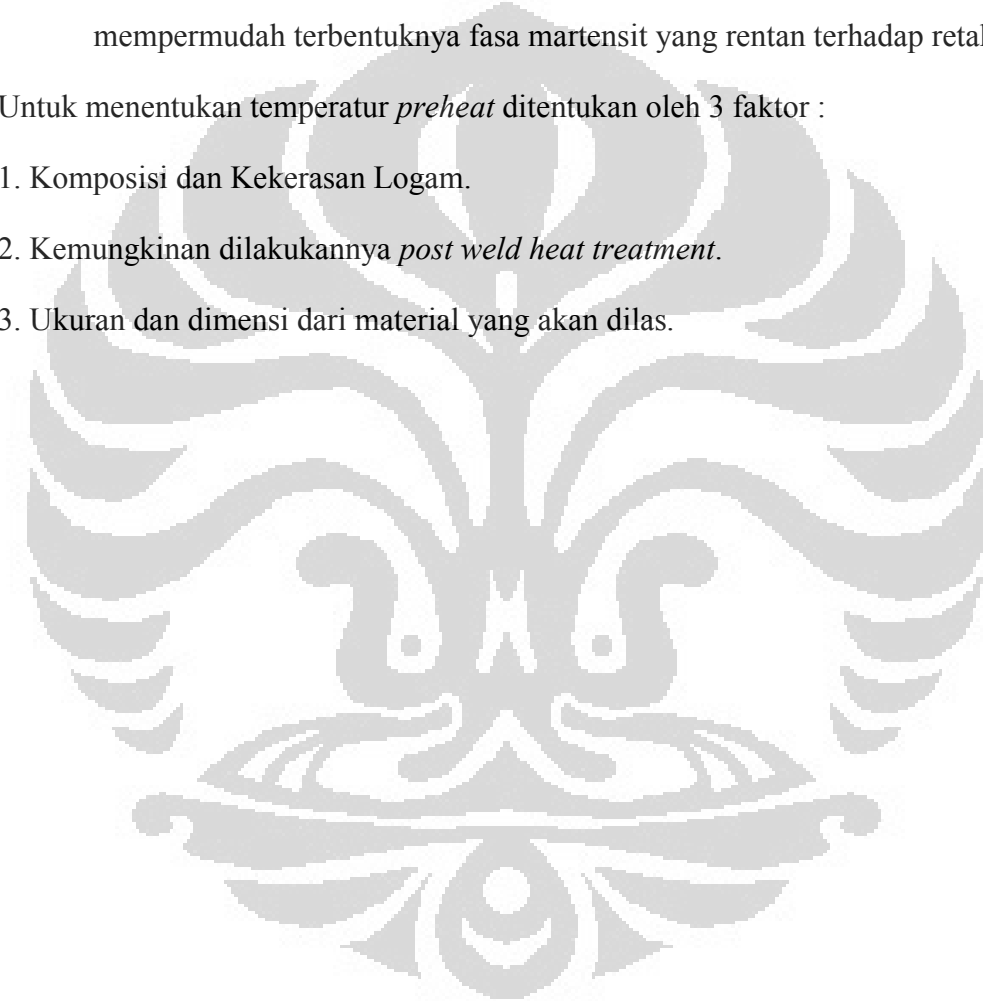
Semua proses pengelasan busur menggunakan sumber panas yang memiliki temperatur tinggi. Perbedaan temperatur yang curam terjadi antara sumber panas yang terlokalisasi dengan material induk yang akan dilas. Perbedaan temperatur ini menyebabkan perbedaan ekspansi termal, kontraksi yang tinggi dan tegangan yang tinggi pada daerah las. Mengurangi perbedaan temperatur yang sangat jauh dapat digunakan dengan cara *preheating* atau pemanasan sebelum dilakukan pengelasan yang dapat meminimalisir beberapa masalah dan dapat menyeragamkan pendinginan^[10].

c) Menurunkan *residual stress* dan distorsi

Ketika *preheating* tidak diaplikasikan maka perbedaan temperatur yang tinggi antara daerah las dengan material induk dapat menyebabkan pendinginan yang sangat cepat sehingga memungkinkan terjadinya distorsi karena pendinginan yang tidak merata, apabila material memiliki *hardenability* yang baik atau kadar karbon yang cukup besar maka akan mempermudah terbentuknya fasa martensit yang rentan terhadap retak^[10].

Untuk menentukan temperatur *preheat* ditentukan oleh 3 faktor :

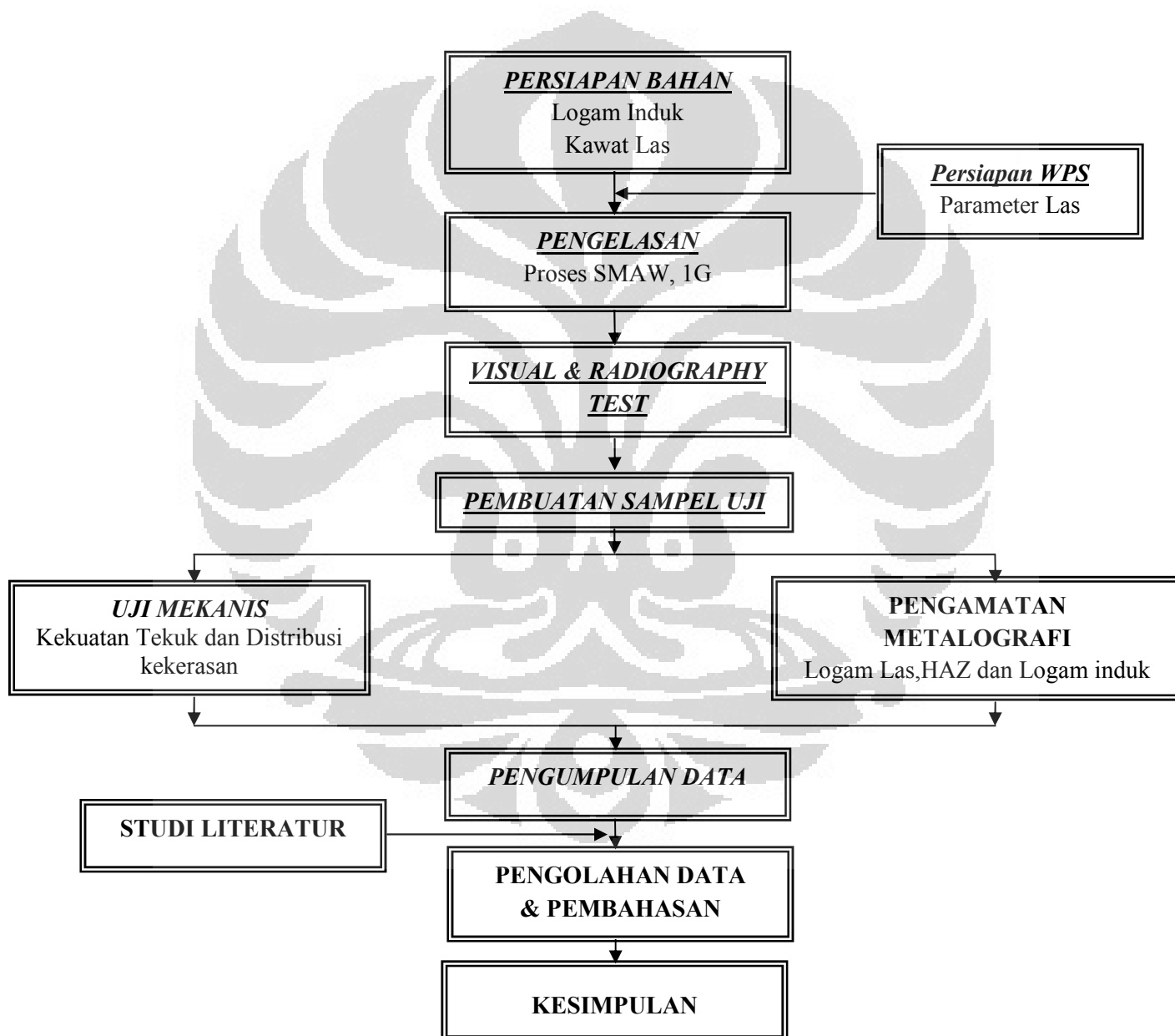
1. Komposisi dan Kekerasan Logam.
2. Kemungkinan dilakukannya *post weld heat treatment*.
3. Ukuran dan dimensi dari material yang akan dilas.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Eksperimen

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Adapun peralatan yang digunakan selama penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Satu set mesin las SMAW
- Penggaris
- Busur
- Gerinda Tangan
- *Cutting Machine*
- Kompor Gas (*burner*)
- Termometer Infrared
- *Vicker Hardness Testing Machine*
- Mikroskop Optik
- Alat uji Radiografi
- Alat uji tekuk

3.2.2 Bahan

1. Logam Induk (*Base Metal*)

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

Tabel 3. 1 Komposisi Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO[®] 4800 (*in wt %*) ^[14].

| C | Mn | Ni | Cr | Mo | S | Ti |
|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| ≤ 0,20 | ≤ 1,60 | ≈ 0,20 | ≤ 1,90 | ≤ 0,40 | ≤ 0,005 | ≤ 0,20 |

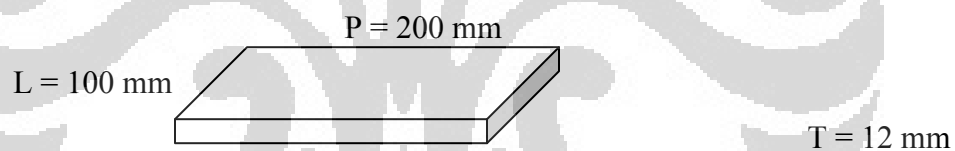
Tabel 3. 2 *Mechanical Properties* Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO[®] 4800_[14].

| <i>Hardness</i> (HB) | <i>Yield Strength</i> (MPa) | UTS (MPa) | EL (%) | KCVL- 200C (J/Cm2) | E (GPa) |
|-------------------------|--------------------------------|--------------|--------|--------------------------|---------|
| 370 | 900 | 1200 | 12 | 45 | 205 |

Ukuran material yang digunakan ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Ukuran Sampel CREUSABRO[®] 4800

| Material | Dimensi (mm) |
|-----------------------------------|---------------|
| CREUSABRO[®] 4800 | 200 x 100 x 8 |



Panjang (P) : 25 cm, Lebar (L) : 15 cm, Tebal (T) : 12 mm

2. Logam Pengisi (Filler Metal)

Logam pengisi yang digunakan adalah :

- Elektoda E-7018

Elektroda ini biasanya digunakan pada pengelasan baja karbon.

Elektroda ini tergolong ke dalam *low hydrogen electrode*.

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

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

Tabel 3. 5 Sifat Mekanis Elektroda E-7018

| AWS A5.1-91 | Tensile Strength | Yielding Stress | Elongation | Test Value |
|--------------|------------------|-----------------|------------|------------|
| | MPa | Mpa | % | J |
| E7018 | 572 | 504 | 30 | 50-180 |

- MG NOX 35 (AWS E307)

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

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

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

Tabel 3. 7 Sifat Mekanis MG NOX 35

| Yield Point (MPa) | Tensile Strength (MPa) | Elongation (%) | Hardness (HV) |
|-------------------|------------------------|----------------|---------------|
| 442 | 598 | 45.0% | 200 ~ 475 |

3.3 Persiapan Sampel

3.3.1 Pembuatan Kampuh Las

Logam induk dipreparasi dengan bevel yang besarnya 30° seperti terlihat dibawah ini. Sehingga bentuk sambungan saat pengelasan berbentuk *Butt Joint Single V* dengan sudut 60° . Preparasi bevel pada logam induk dilakukan dengan menggunakan gerinda tangan dan pengukuran dimensinya menggunakan busur dan penggaris.



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

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

3.3.2 Perlakuan Pemanasan Awal (*Preheating*)

Dalam Penelitian ini terdapat tiga variasi sampel berdasarkan temperatur *preheat*-nya, yaitu sampel tanpa preheat, sampel dengan pemanasan awal sebesar 130°C dan sampel dengan pemanasan awal sebesar 230°C . Jumlah sampel ini berjumlah 6 buah, 2 buah untuk dilakukan pemanasan awal sampai suhu 130°C dan 2 buah lagi sampai 230°C dan 2 buah lagi tidak dilakukan proses pemanasan. Untuk pemanasan 130°C dilakukan pemanasan sampai suhu 130°C dan untuk pemanasan 230°C dilakukan pemanasan hingga suhu 230°C dengan asumsi terdapat penurunan

temperatur ketika sampel dibawa ke tempat pengelasan dari tempat pemanasan awal.

Peralatan pemanasan awal material induk menggunakan gas elpiji, dimana memanfaatkan aliran panas dari panas yang dihasilkan oleh nyala api dari gas elpiji. Pada **Gambar 3.3** diperlihatkan deskripsi pemanasan material induk dengan menggunakan gas elpiji.



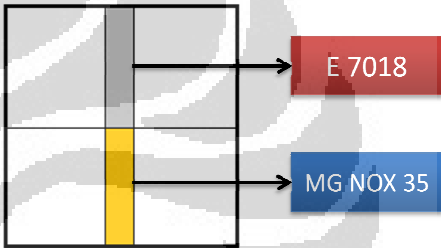
Gambar 3.3 Pemanasan awal dengan gas Elpiji

Proses pemanasan awal material induk dilakukan dengan cara menempatkan material langsung di atas nyala api yang dihasilkan oleh gas. Pemanasan dilakukan selama kurang lebih 10 – 15 menit, hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh bagian pelat memiliki temperatur yang seragam serta untuk menghilangkan *moisture* yang mungkin terdapat dipermukaan pelat yang akan dilas. Pengukuran temperatur pada pelat yang telah dilakukan pemanasan awal dilakukan dengan menggunakan *infrared thermometer*.

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

Seluruh sampel akan di lakukan proses pengelasan manual dengan metode SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) baik yang dilakukan pemanasan awal (*preheat*) dan yang tanpa pemanasan awal. Pengelasan dilakukan sesuai dengan WPS (*Welding Procedure Spesification*) yang telah ditentukan sebelumnya.

Tabel 3. 8 WPS (*Welding Procedure Spesification*) yang digunakan

| | | |
|---------------------------------|---|-----------|
| Jenis Material : CREUSABRO 4800 |  | |
| Pengelasan : SMAW (Manual) | | |
| Posisi : Flat (1G) | | |
| Polaritas : DCRP | | |
| Tebal Pelat (mm) | 8 mm | |
| Jenis Elektroda | E 7018 | MG NOX 35 |
| Diameter Elektroda (mm) | 3,2 | 3,2 |
| Besar Arus (ampere) | 110 - 120 | 110 – 120 |
| Voltase (volt) | 20 - 25 | 20 – 25 |
| <i>Preheat</i> (°C) | - | - |
| | 130 | 130 |
| | 230 | 230 |

3.4 Pengujian dan Pengamatan Sampel

3.4.1 Pengamatan Visual dan Radiografi

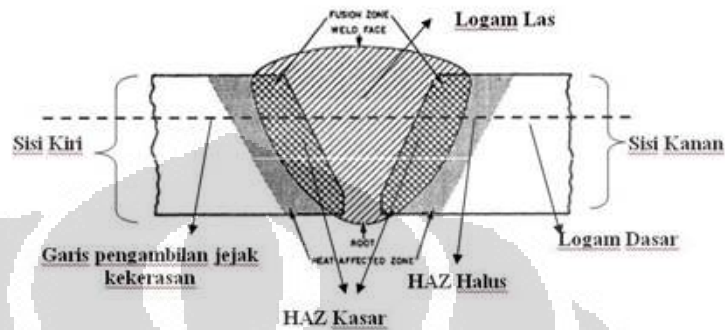
Setelah proses pengelasan selesai, semua sambungan las diperiksa secara Visual dengan berpedoman pada aturan yang tercantum dalam Standar AWS D1.1. Kemudian dilanjutkan dengan pemeriksaan radiografi untuk melihat apakah bagian dalam sambungan las sambungan las tersebut baik atau tidak menurut AWS D1.1. Jika hasilnya baik, proses penelitian dilanjutkan dengan melakukan persiapan pembuatan benda uji tekuk dan kekerasan serta metalografi, kemudian masing-masing benda uji diberi kode.

3.4.2 Pengamatan Metalografi

Sebelum dilakukan pengujian struktur mikro, sampel terlebih dahulu dipotong. Pemotongan sampel dilakukan dengan menggunakan gerinda potong abrasif dengan menambahkan air terus menerus selama pemotongan dengan tujuan untuk menjaga agar struktur mikro dan tegangan sisa di dalam sampel tidak rusak selama proses pemotongan. Bagian awal yang dipotong adalah bagian ujung sampel sebesar 2 cm dari ujung sampel, hal ini diatur dalam AWS D1.1. Selain itu, Pada bagian tengah dari pelat yang telah dilas juga di potong karena diasumsikan mengandung cacat selama proses pengelasan.

Setelah didapatkan sampel yang baik, kemudian sampel yang akan diuji mikrostrukturnya diambil dari sampel awal yang telah dipotong. Setelah dipotong kemudian sampel di amplas. Setelah dilakukan pengamplasan sampai benar-benar halus maka dilakukan proses pemolesan pada alat poles *ferrous* di Laboratorium Metalografi dan HST Departemen Metalurgi dan Material FTUI. Setelah itu proses pemolesan selesai, maka dilakukan proses etsa dengan menggunakan larutan Nital 2%. Sampel dicelupkan dalam larutan selama 10 detik kemudian dibilas dengan menggunakan air lalu dikeringkan.

Pengamatan struktur mikro untuk melihat permukaan hasil lasan secara mikro serta fasa-fasa logam yang terdapat pada hasil lasan. Pengambilan struktur mikro dilakukan pada daerah logam las, HAZ dan logam induk.



Gambar 3.4 Lokasi pengambilan Foto mikro dan uji kekerasan ^[11].

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

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

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

dimana :

P : beban (*gram force*)

d : diameter jejak (μ m)

3.4.4 Pengujian Kekuatan Tekuk (Bending Test)

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



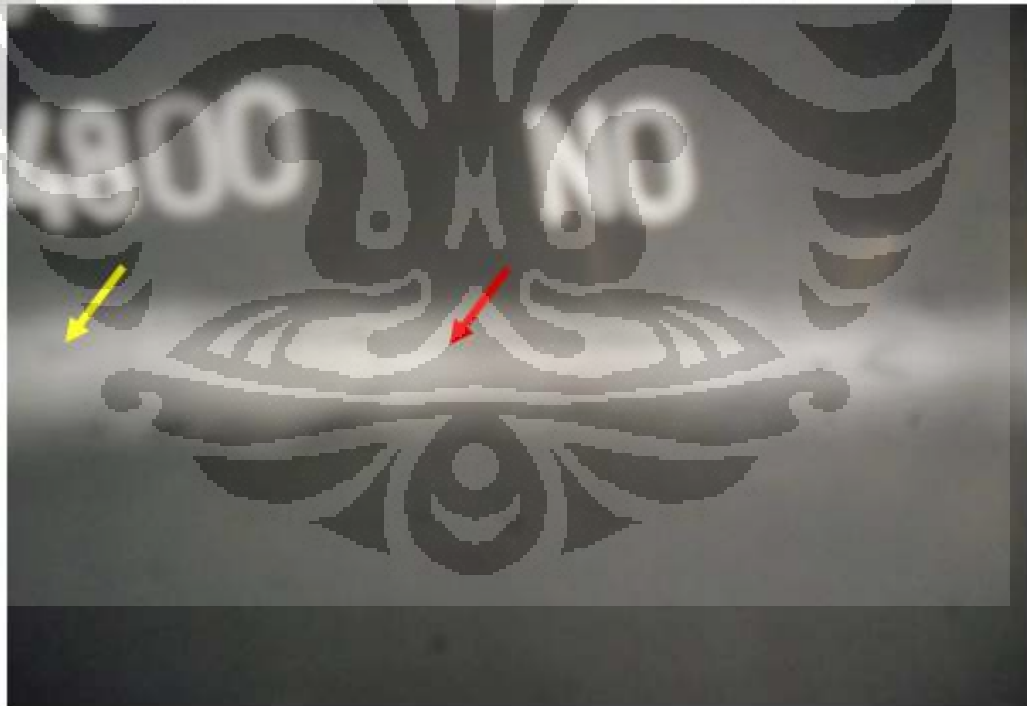
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Analisa Ketahanan Retak

4.1.1 Sampel Tanpa Perlakuan *Preheat*

Hasil pengamatan radiografi terhadap sampel hasil pengelasan dengan elektroda E 7018 dan elektroda MG NOX 35 tanpa perlakuan *preheat* (pemanasan awal) dapat dilihat pada **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.2** berikut ini :



Gambar 4. 1 Hasil pengamatan radiografi sampel dengan Elektroda E 7018, tanpa perlakuan *preheat*



Gambar 4. 2 Hasil pengamatan radiografi sampel dengan Elektroda MG NOX 35, tanpa perlakuan *preheat*

Berdasarkan hasil pengamatan radiografi pada sampel dengan elektroda E 7018 dan elektroda MG NOX 35 yang tidak mendapatkan perlakuan *preheat* dan *interpass temperature* pada temperature ruang dapat dilihat bahwa pada sampel yang menggunakan Elektroda E 7018 terdapat retak transversal pada daerah lasan (*weld metal*). Retak tersebut dapat diamati secara kasat mata karena retak yang terjadi pada hasil lasan juga terdapat dipermukaan sampel. Retak ini tidak terjadi secara langsung setelah proses pengelasan dilakukan atau setelah logam pengisi membeku tetapi retak yang muncul dipermukaan sampel terjadi beberapa hari setelah dilakukannya proses pengelasan. Peristiwa terjadinya retak ini biasa disebut dengan istilah *delay crack* atau *cold crack*.

Munculnya retak dingin pada sampel dengan elektroda E 7018 tanpa *preheat* dan *interpass temperature* pada temperatur ruang disebabkan karena laju pendinginan yang sangat cepat menyebabkan :

- Tegangan sisa yang besar pada daerah lasan

- Nilai kekerasan yang cukup tinggi pada hasil lasan.

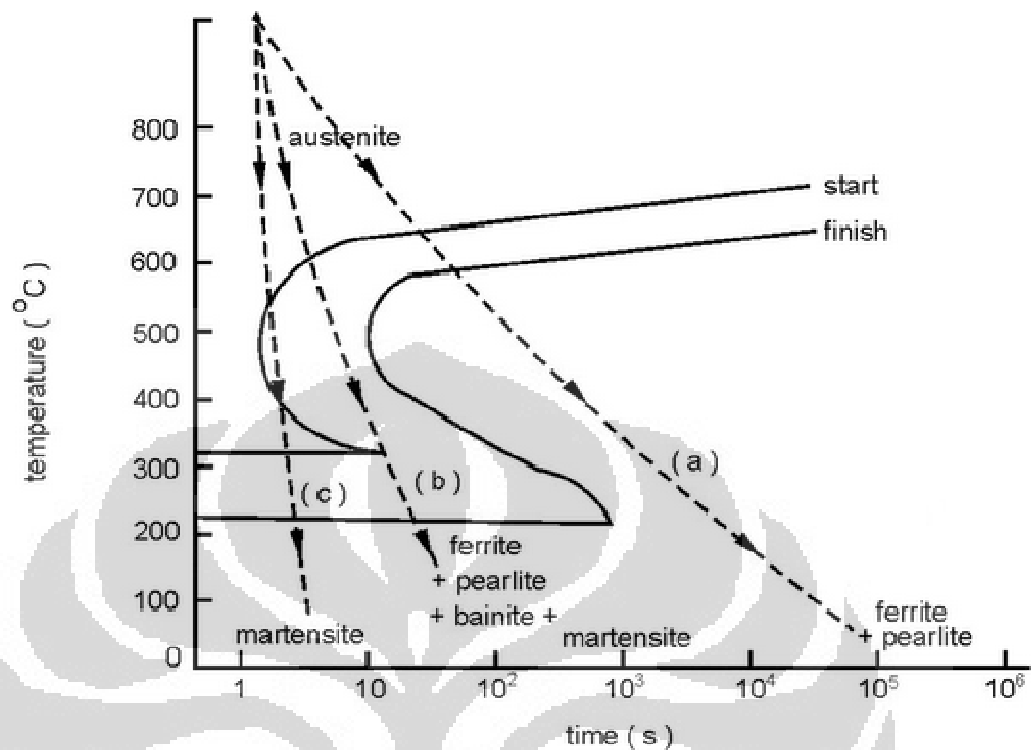
Tegangan sisa yang cukup besar pada hasil lasan dengan elektroda E 7018 tanpa perlakuan *preheat* disebabkan karena adanya regangan kisi yang cukup besar akibat proses pemuaian dan penyusutan (*shrinkage*) yang sangat cepat ketika terjadinya solidifikasi logam pengisi pada kampuh las. Ketika logam berada dalam fasa cair maka volumenya akan lebih besar jika dibandingkan dengan dalam keadaan solid tetapi setelah proses solidifikasi terjadi maka logam akan mengalami penyusutan volume ^[11]. Ketika hal ini berlangsung sangat cepat maka akan terdapat tegangan sisa yang cukup besar di dalam logam tersebut. Tegangan sisa yang cukup besar inilah yang sangat berpotensi terhadap terbentuknya retak dingin pada hasil lasan tanpa perlakuan *preheat*.

Elektroda E 7018 merupakan elektroda yang mengandung unsur kimia seperti C, Mn, Si, P dan S dengan komposisi sesuai dengan yang tertera pada tabel.

Tabel 4. 1 Komposisi Kimia Elektroda E-7018 (*in wt %*)

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

Dilihat dari kadar karbonnya maka elektroda ini tergolong ke dalam *low carbon steel*. Sama seperti baja karbon rendah lainnya, maka laju pendinginan dari elektroda E 7018 akan mempengaruhi struktur yang terbentuk pada daerah hasil pengelasan. Nilai kekerasan yang cukup tinggi terjadi akibat laju pendinginan yang cepat sehingga pada daerah lasan ukuran butir yang terbentuk sangat halus (*fine grain*). Material dengan ukuran butir yang halus biasanya cenderung bersifat getas (*brittle*). Hal ini disebabkan oleh kemampuan untuk berdeformasi plastis dari material dengan butir halus sangat terbatas sehingga ketika mengalami pembebanan secara tiba-tiba dapat mengalami kegagalan.



Gambar 4.3 Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*)^[15].

Berdasarkan diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*) dapat ditarik kesimpulan bahwa, elektroda E 7018 yang merupakan baja karbon rendah akan membentuk fasa yang keras seperti *martensite* ataupun *bainite* ketika mengalami pendinginan yang sangat cepat (*rapid cooling*). Dengan terbentuknya tegangan sisa dan struktur yang halus ditambah dengan terperangkapnya hidrogen pada saat pembekuan logam pengisi pada sampel tanpa perlakuan *preheat* (pemanasan awal) menyebabkan daerah hasil lasan mengalami retak dingin.

Sementara itu, sampel dengan elektroda MG NOX 35 tanpa perlakuan *preheat* dan *interpass temperature* pada suhu kamar tidak mengalami retak dingin seperti pada sampel yang menggunakan elektroda E 7018. Hal ini disebabkan karena elektroda MG NOX 35 merupakan jenis *austenitic stainless steel* yang memiliki komposisi sebagai berikut :

Tabel 4. 2 Komposisi Kimia MG NOX 35

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

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

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

4.1.2 Sampel Dengan Perlakuan *Preheat* 130°C



Gambar 4. 4 Hasil pengamatan radiografi sampel dengan Elektroda E 7018 dengan *preheat* 130°C.



Gambar 4. 5 Hasil pengamatan radiografi sampel dengan Elektroda MG NOX 35 dengan *preheat* 130°C.

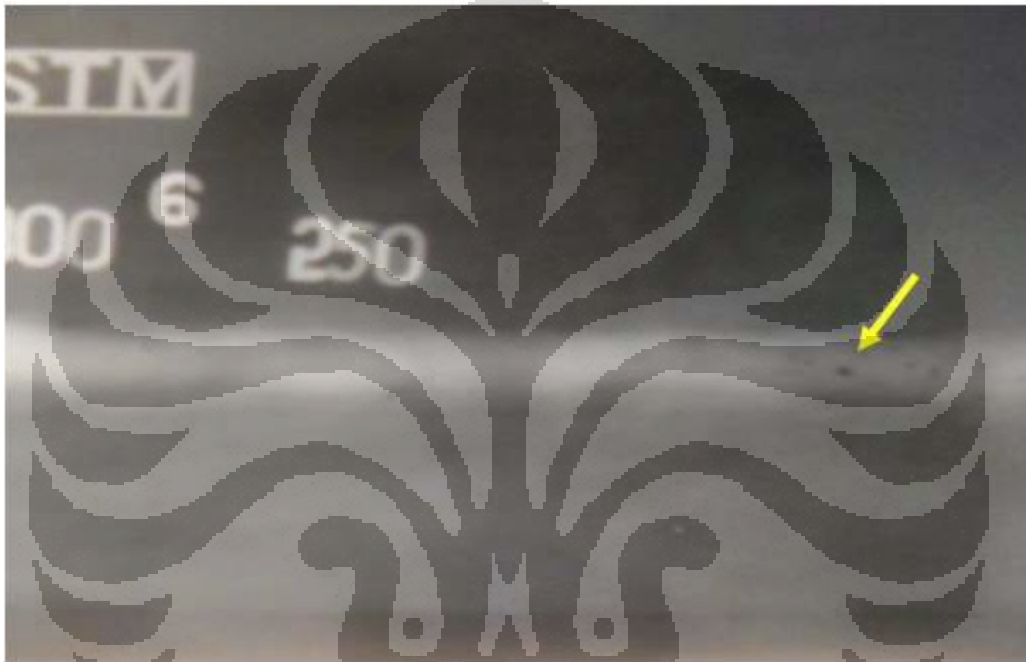
Hasil pengamatan radiografi terhadap sampel hasil pengelasan dengan elektroda E 7018 dan elektroda MG NOX 35 dengan perlakuan *preheat* dan *interpass temperature* sebesar 130°C dapat dilihat pada **Gambar 4.4** dan **Gambar 4.5**.

Berdasarkan hasil pengamatan radiografi pada kedua sampel tersebut dapat dilihat bahwa baik pada sampel yang menggunakan Elektroda E 7018 maupun pada sampel yang menggunakan elektroda MG NOX 35 tidak terdapat retak dingin pada daerah lasan. Hal ini disebabkan karena laju pendinginan logam pengisi lebih lambat jika dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan *preheat* sehingga tegangan sisa yang terbentuk tidak terlalu besar.

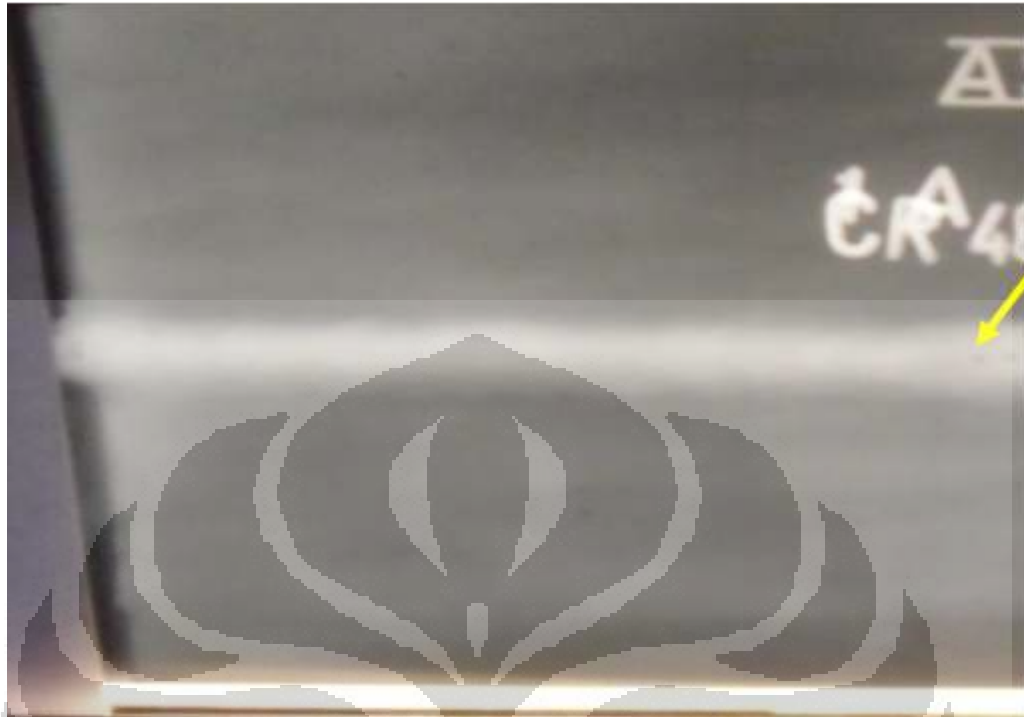
Logam induk atau *base metal* merupakan media konduktif yang dapat mentransfer panas pada saat logam cair akan membeku. Dengan dilakukannya pemanasan awal pada logam induk kita dapat menjaga agar laju pendinginan tidak terlalu cepat. Ketika logam induk dipanaskan maka secara tidak langsung transfer panas atau heat transfer dari logam cair ke logam induk menjadi berkurang. Hal ini disebabkan karena selisih temperatur logam cair dan *base metal* menjadi lebih kecil jika dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan *preheat*. Dengan rendahnya tegangan sisa yang terbentuk pada daerah lasan maka retak dingin tidak terjadi.

4.1.3 Sampel Dengan Perlakuan *Preheat* 230°C

Hasil pengamatan radiografi terhadap sampel hasil pengelasan dengan elektroda E 7018 dan elektroda MG NOX 35 dengan perlakuan *preheat* (pemanasan awal) sebesar 230°C dapat dilihat pada **Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6** berikut ini :



Gambar 4. 6 Hasil pengamatan radiografi sampel dengan Elektroda E 7018 dengan pemanasan awal 230°C.



Gambar 4. 7 Hasil pengamatan radiografi sampel dengan Elektroda MG NOX 35 dengan pemanasan awal 230°C.

Pada sampel dengan perlakuan *preheat* dan *interpass temperature* sebesar 230°C tidak terdapat retak dingin baik yang menggunakan elektroda E 7018 ataupun yang menggunakan elektroda MG NOX 35. Sama halnya dengan sampel yang mendapatkan perlakuan *preheat* sebesar 130°C, tegangan sisa yang terbentuk pada sampel dengan perlakuan *preheat* dan *interpass temperature* sebesar 230°C jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan sampel tanpa *preheat*. Hal ini disebabkan karena laju pendinginan logam pengisi pada sampel dengan perlakuan *preheat* lebih lambat jika dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan *preheat*.

Selain itu, dengan adanya perlakuan *preheat* 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.

4.2 Data dan Analisa Distribusi Nilai Kekerasan

4.2.1 Sampel dengan Elektroda E 7018

Hasil pengujian kekerasan terhadap sampel hasil pengelasan dengan elektroda E 7018 dengan variasi perlakuan *preheat* (pemanasan awal) dapat dilihat pada **Tabel 4.3** berikut ini :

Tabel 4. 3 Distribusi Kekerasan CREUSABRO[®] 4800 dengan Elektroda E 7018

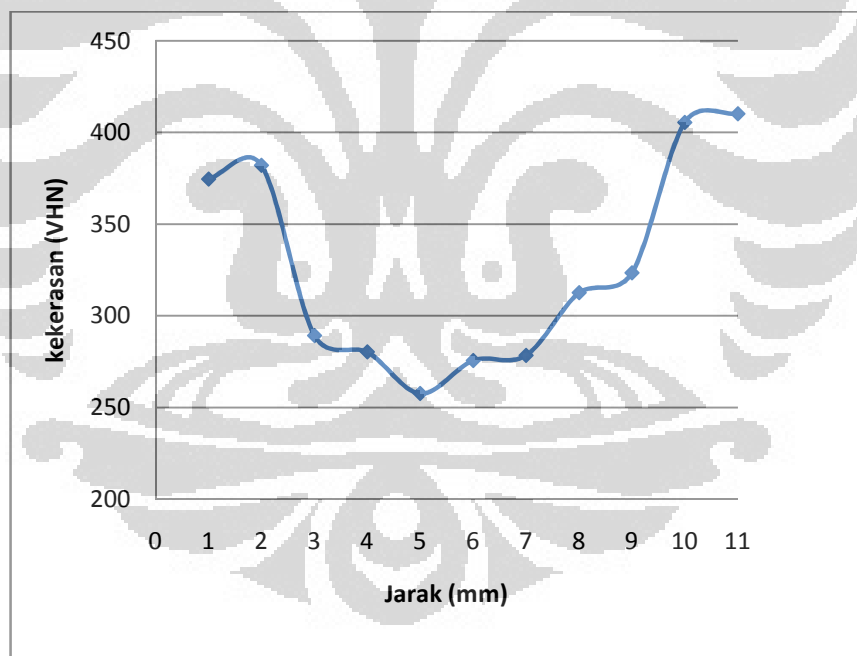
| Preheat (^o C) | Hardness (HV) | | | | | | | | | | |
|------------------------------|----------------|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----|-----|-------------|-----|
| | Logam Dasar | | HAZ | | Kampuh Las | | | HAZ | | Logam Dasar | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| No | 510 | 594 | 354 | 385 | 348 | 375 | 353 | 310 | 321 | 456 | 473 |
| 150 | 374 | 382 | 289 | 280 | 258 | 276 | 278 | 313 | 323 | 405 | 410 |
| 250 | 382 | 381 | 319 | 274 | 251 | 234 | 247 | 280 | 338 | 370 | 362 |

Pengujian nilai kekerasan pada sampel hasil pengelasan dengan metode SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) ini dilakukan dengan menggunakan alat uji *vickers* pada beberapa titik yang meliputi daerah logam dasar, HAZ (*Heat Affecte Zone*) dan *weld metal*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan *preheat* dan *interpass temperature* dengan elektroda E 7018 terhadap nilai kekerasan yang dihasilkan. Selain itu, pengujian juga dilakukan untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan pada logam dasar, HAZ dan *weld metal* setelah dilakukan pengelasan.

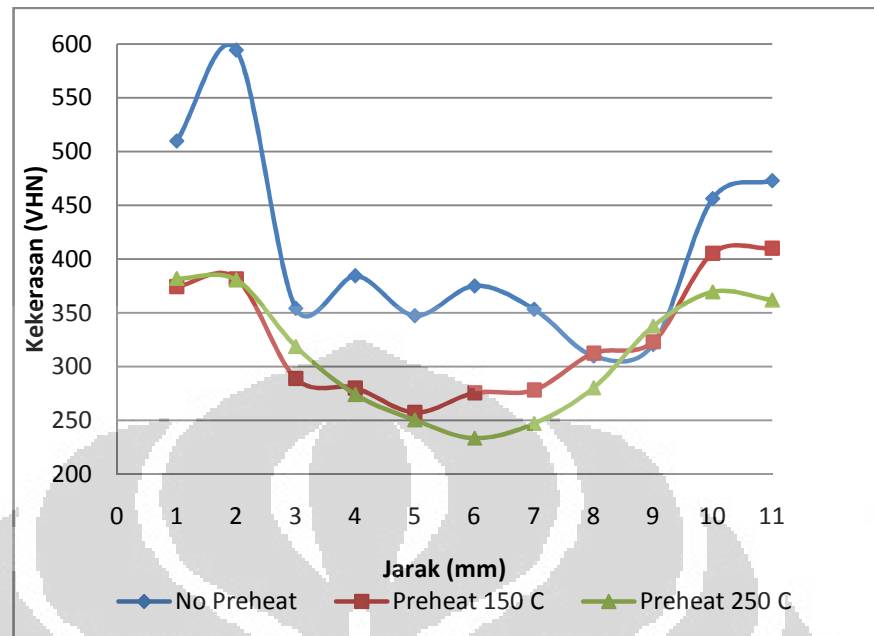
Berdasarkan data hasil pengujian kekerasan pada sampel dengan perlakuan *preheat* sebesar 130°C dan menggunakan Elektroda E 7018 pada **Gambar 4.8**, dapat dilihat bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat di daerah material dasar dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 410 VHN dan nilai kekerasan terendah terdapat pada daerah *weld metal* dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 278 VHN. Kekerasan yang paling tinggi pada daerah logam dasar ini disebabkan oleh komposisi kimia dari Cruesabro 4800 itu sendiri. Material Cruesabro 4800 merupakan jenis baja

HSLA (*High Strength Low Alloy*) dengan paduan Nikel, Titanium, *Chromium*, dan *Molybdenum* di dalamnya. Titanium, *Chromium* dan *Molybdenum* merupakan pembentuk karbida yang cukup keras sehingga nilai kekerasan pada *base metal* sangat tinggi.

Nilai kekerasan yang paling rendah pada daerah kampuh las juga disebabkan oleh komposisi dari kawat las yang digunakan. Elektroda E 7018 yang digunakan merupakan jenis baja karbon rendah dengan nilai kekerasan yang tidak terlalu tinggi. Sementara itu, pada daerah HAZ nilai kekerasan yang diperoleh berada di antara nilai kekerasan logam dasar dan kampuh las. Hal ini disebabkan karena, daerah HAZ merupakan logam induk yang mengalami pengaruh panas sehingga nilai kekerasannya menjadi turun.



Gambar 4. 8 Grafik kekerasan material dengan elektroda E 7018 dan perlakuan *preheat* 130°C.



Gambar 4.9 Grafik kekerasan material dengan elektroda E 7018 dan dengan variasi perlakuan *preheat*

Dari **Gambar 4.9**, dapat dilihat bahwa pada daerah kampuh las kekerasan tertinggi dimiliki oleh sampel tanpa perlakuan *preheat*. Sementara itu, sampel dengan perlakuan *preheat* sebesar 230°C memiliki nilai kekerasan yang paling kecil dan sampel dengan perlakuan *preheat* sebesar 130°C memiliki nilai kekerasan diantara sampel tanpa *preheat* dan sampel dengan *preheat* 230°C . Hal ini disebabkan karena perlakuan *preheat* akan mempengaruhi laju pendinginan dari logam pengisi (*filler metal*). Semakin tinggi temperatur *preheat* yang diberikan maka laju pendinginan akan semakin lambat.

Laju pendinginan logam cair merupakan suatu hal yang sangat mempengaruhi sifat mekanis suatu material. Semakin tinggi laju pendinginan logam cair maka ukuran butir material yang dihasilkan akan semakin halus. Material dengan komposisi kimia yang sama tetapi dengan ukuran butir yang berbeda akan memiliki sifat mekanis yang berbeda.

Berdasarkan persamaan *Hall-Petch*, diameter butir berbanding terbalik dengan kekuatan tarik, sedangkan kekuatan tarik sebanding dengan kekerasan suatu material.

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

Dimana σ_y adalah kekuatan tarik; σ_0 adalah tegangan awal yang dapat membuat dislokasi bergerak; k_y adalah konstanta suatu material; dan \sqrt{d} adalah akar dari diameter rata-rata ukuran butir.

Hal ini sesuai dengan nilai kekerasan sampel yang diperoleh, dimana sampel tanpa perlakuan preheat dengan ukuran butir yang paling kecil memiliki nilai kekerasan sebesar 375 VHN, sampel dengan perlakuan preheat 130°C memiliki nilai kekerasan sebesar 278 VHN dan sampel dengan perlakuan preheat 230°C, yang memiliki ukuran butir paling besar, memiliki nilai kekerasan sebesar 251 VHN.

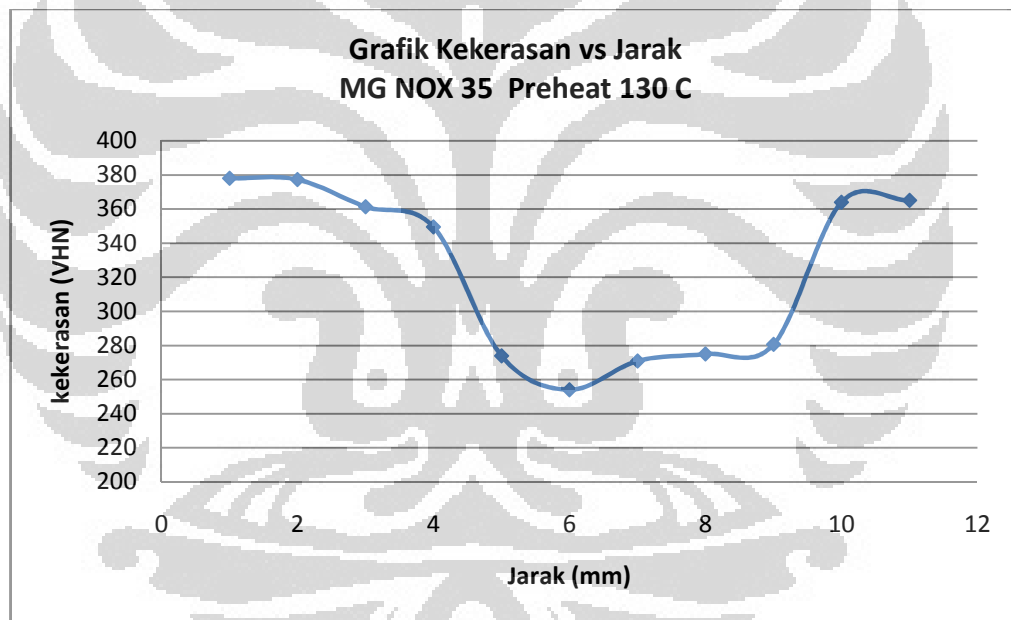
4.2.1 Sampel dengan Elektroda MG NOX 35

Hasil pengujian kekerasan terhadap sampel hasil pengelasan dengan elektroda MG NOX 35 dan dengan variasi perlakuan *preheat* dapat dilihat pada **Tabel 4.4** berikut ini :

Tabel 4. 4 Distribusi Kekerasan CREUSABRO@4800 dengan Elektroda MG NOX 35

| Preheat (°C) | Hardness (HV) | | | | | | | | | | |
|-----------------|----------------|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----|-----|-------------|-----|
| | Logam Dasar | | HAZ | | Kampuh Las | | | HAZ | | Logam Dasar | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| No | 417 | 422 | 384 | 389 | 271 | 261 | 257 | 287 | 398 | 537 | 512 |
| 150 | 378 | 377 | 361 | 349 | 274 | 254 | 271 | 275 | 281 | 364 | 365 |
| 250 | 402 | 411 | 360 | 360 | 280 | 283 | 279 | 342 | 338 | 395 | 390 |

Tabel 4.4 menunjukkan nilai distribusi kekerasan dari sampel CREUSABRO®4800 menggunakan elektroda MG NOX 35 dengan perlakuan *preheat* yang berbeda. Pengujian dilakukan dengan alat uji *microhardness tester* yang dilakukan pada 11 titik yang meliputi logam dasar, HAZ (*Heat Affected Zone*), dan kampuh las. Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan *preheat* dan *interpass temperature* dengan elektroda MG NOX 35 terhadap nilai kekerasan yang dihasilkan. Selain itu, pengujian juga dilakukan untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan pada logam dasar, HAZ dan kampuh las (*weld metal*) setelah dilakukan pengelasan.



Gambar 4. 10 Grafik kekerasan material dengan elektroda E 7018 dan perlakuan *preheat* 130°C.

Berdasarkan data hasil pengujian kekerasan pada sampel dengan perlakuan *preheat* sebesar 130°C dan menggunakan Elektroda MG NOX pada **Gambar 4.10**, dapat dilihat bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat di daerah material dasar (*base metal*) dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 378 VHN dan nilai kekerasan terendah terdapat pada daerah kampuh dengan nilai kekerasan tertinggi sebesar 274

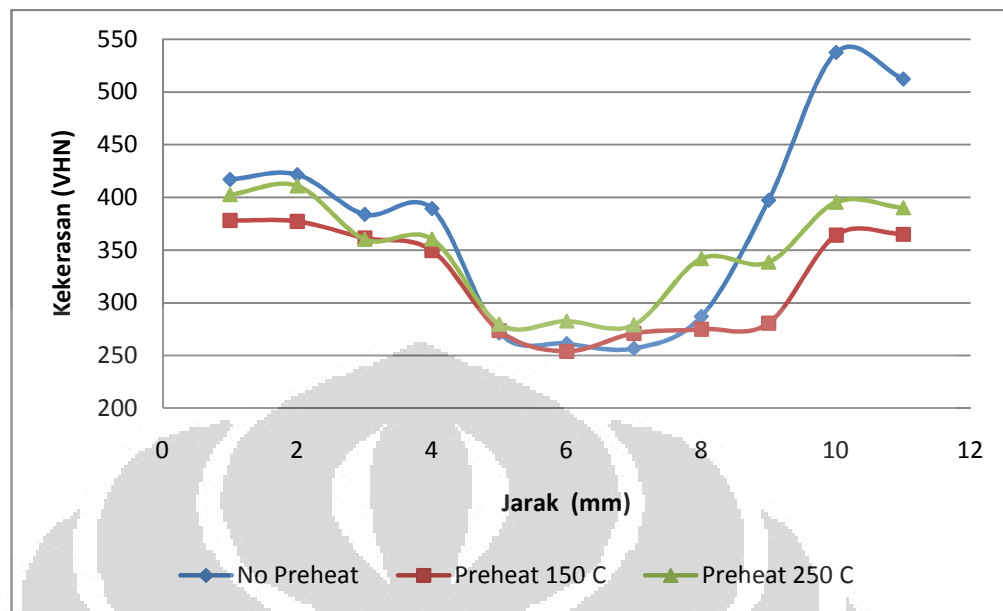
VHN. Kekerasan yang paling tinggi pada daerah logam dasar ini disebabkan oleh komposisi kimia dari Cruesabro 4800 itu sendiri. Material Cruesabro 4800 merupakan jenis baja HSLA (*High Strength Low Alloy*) dengan paduan Nikel, *Titanium*, *Chromium*, dan *Molybdenum* di dalamnya. *Titanium*, *Chromium* dan *Molybdenum* merupakan pembentuk karbida yang cukup keras sehingga nilai kekerasan pada *base metal* sangat tinggi.

Nilai kekerasan yang paling rendah pada daerah kampuh las juga disebabkan oleh sifat mekanis dari kawat las yang digunakan. Elektroda MG NOX 35 yang digunakan merupakan jenis *austenitic stainless steel* yang memiliki keuletan cukup tinggi, dengan sifat mekanis sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Sifat mekanis elektroda MG NOX 35

| <i>Yield Point (MPa)</i> | <i>Tensile Stregh (MPa)</i> | <i>Elongation (%)</i> | <i>Hardness (HV)</i> |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|----------------------|
| 442 | 598 | 45.0% | 200 ~ 475 |

Sementara itu, pada daerah HAZ nilai kekerasan yang diperoleh berada di antara nilai kekerasan logam dasar dan kampuh las. Hal ini disebabkan karena, daerah HAZ merupakan logam induk yang mengalami pengaruh panas sehingga nilai kekerasannya menjadi turun.



Gambar 4.11 Grafik kekerasan material dengan elektroda MG NOX 35 dan dengan variasi perlakuan *preheat*.

Dari **Gambar 4.11**, dapat dilihat bahwa pada daerah kumpuh las kekerasan tertinggi dimiliki oleh sampel dengan perlakuan *preheat* 230°C. Sementara itu, sampel tanpa perlakuan *preheat* memiliki nilai kekerasan yang paling kecil dan sampel dengan perlakuan *preheat* sebesar 130°C memiliki nilai kekerasan diantara sampel tanpa *preheat* dan sampel dengan *preheat* 230°C. Hal ini disebabkan karena perlakuan panas awal akan mempengaruhi laju pendinginan dari logam pengisi. Semakin tinggi temperatur *preheat* yang diberikan maka laju pendinginan akan semakin lambat.

Pada baja paduan seperti *austenitic stainless steel*, nilai kekerasannya sangat dipengaruhi oleh pembentukan fasa karbida pada mikrostruktur baja tersebut. Fasa karbida merupakan senyawa antara logam dengan unsur karbon. Semakin banyak karbida yang terbentuk maka nilai kekerasan baja akan semakin keras. Dalam hal ini, *cooling rate* sangat memegang peranan dalam pembentukan fasa karbida selama solidifikasi *filler metal* pada kumpuh las. Semakin cepat laju pendinginan maka fasa karbida yang terbentukpun juga semakin sedikit. Hal ini disebabkan karena waktu

untuk membentuk senyawa karbida semakin sedikit seiring dengan meningkatnya laju pendinginan logam cair. Oleh karena itu, sampel tanpa perlakuan *preheat* memiliki nilai kekerasan yang paling rendah jika dibandingkan dengan sampel yang mendapat perlakuan *preheat*.

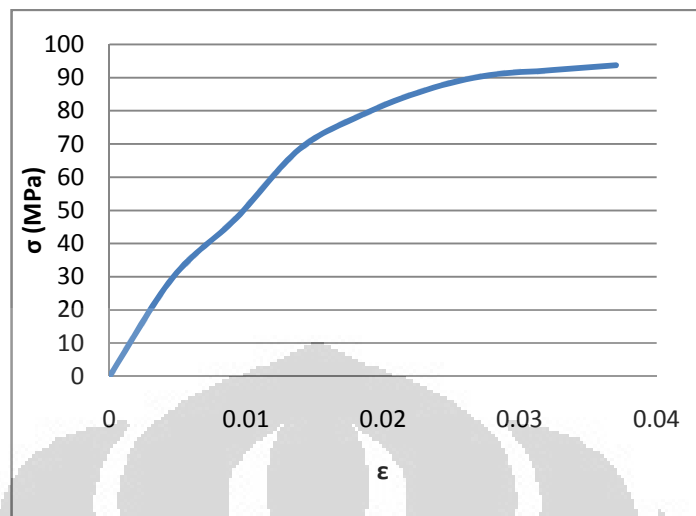
4.3 Data dan Analisa Kekuatan tekuk

4.3.1 Sampel dengan Elektroda E 7018

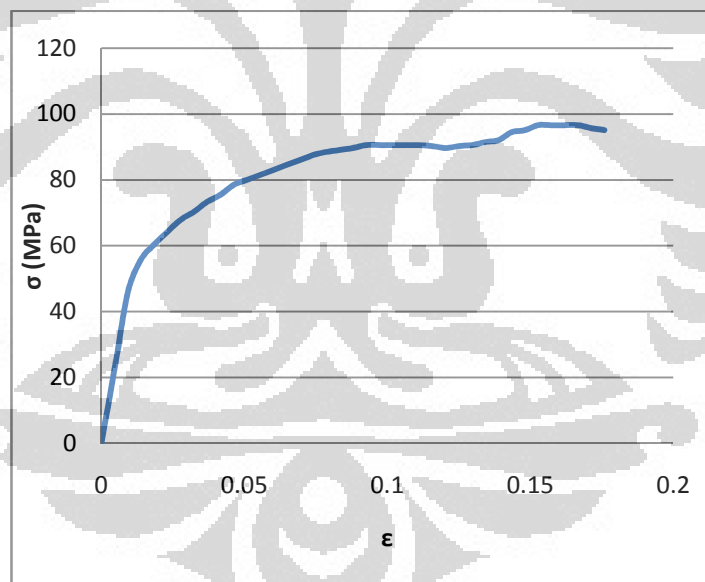
Bending test atau uji tekuk dilakukan pada sampel hasil pengelasan pelat baja tahan aus Cruesabro 4800 dengan mengacu kepada standar JIS Z 2248. Tujuan dilakukannya pengujian ini adalah untuk mengetahui sifat ketangguhan dan keuletan dari material setelah dilakukan pengelasan, terutama ketangguhan dan keuletan pada daerah kampuh las. Ketangguhan merupakan kombinasi antara kekuatan dan keuletan dari suatu material. Dalam istilah metalurgi ketangguhan (*toughness*) didefinisikan sebagai kemampuan material untuk menyerap energi sampai mengalami perpatahan. Sementara itu, keuletan ditentukan oleh besarnya deformasi palatis yang dapat dialami oleh material ketika diberi pembebanan. Parameter dari keuletan hasil lasan dilihat dari sejauh mana pelat hasil lasan dapat dibengkokkan sampai terjadi perpatahan. Semakin besar sudut pembengkokan (*bending angle*) dari sampel uji maka sampel tersebut semakin ulet.

Tabel 4. 6 Hasil uji tekuk sampel dengan elektroda E 7018

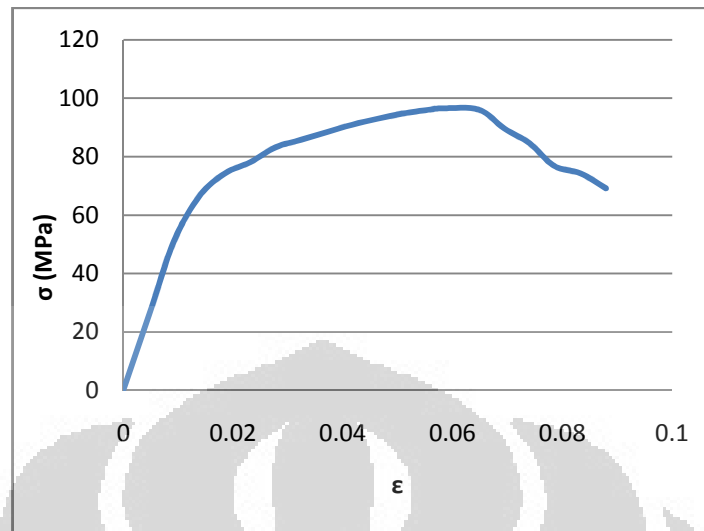
| Preheat | Beban tekuk maks. (kg) | Keterangan |
|---------|------------------------|------------|
| No | 1575 | 30° patah |
| 130°C | 1600 | 70° patah |
| 230°C | 1900 | 60° patah |



Gambar 4. 12 Grafik hasil uji tekuk sampel dengan elektroda E 7018 tanpa perlakuan *preheat*



Gambar 4. 13 Grafik hasil uji tekuk sampel dengan elektroda E 7018 dan dengan perlakuan *preheat* 130° C



Gambar 4.14 Grafik hasil uji tekuk sampel dengan elektroda E 7018 dan dengan perlakuan *preheat* 230°C

Hasil pengujian tekuk sampel dengan elektroda E 7018 ditunjukkan pada **Tabel 4.6**. Beban tekuk maksimal paling tinggi dimiliki oleh sampel dengan perlakuan *preheat* dan *interpass temperature* sebesar 230°C. Sebaliknya, beban tekuk maksimal paling rendah dimiliki oleh sampel tanpa perlakuan *preheat* dan *interpass temperature* pada temperatur ruang. Sementara itu, sudut *bending* yang paling tinggi dimiliki oleh sampel dengan perlakuan *preheat* dan *interpass temperature* sebesar 130°C. Sampel dengan sudut *bending* paling rendah dimiliki oleh sampel tanpa perlakuan *preheat* dan *interpass temperature* pada temperatur ruang.

Berdasarkan kurva hasil uji tekuk pada **Gambar 4.12**, **Gambar 4.13** dan **Gambar 4.14** dapat dilihat bahwa *strain* atau regangan sampel tanpa perlakuan *preheat* lebih kecil jika dibandingkan dengan sampel dengan perlakuan *preheat* 130°C dan 230°C. *Strain* merupakan salah satu parameter keuletan dari suatu material. Semakin besar *strain* dari suatu material, semakin ulet material tersebut. Berdasarkan teori tersebut dapat disimpulkan bahwa sampel dengan elektroda E 7018 yang tidak dilakukan proses *preheat* memiliki keuletan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan sampel yang mendapatkan perlakuan *preheat*. Hal ini disebabkan oleh laju pendinginan yang sangat cepat pada sampel tanpa perlakuan *preheat* menghasilkan

struktur yang halus dan cenderung bersifat getas sehingga ketika dilakukan pengujian bending deformasi plastis yang terjadi jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan sampel yang mendapatkan perlakuan *preheat*.

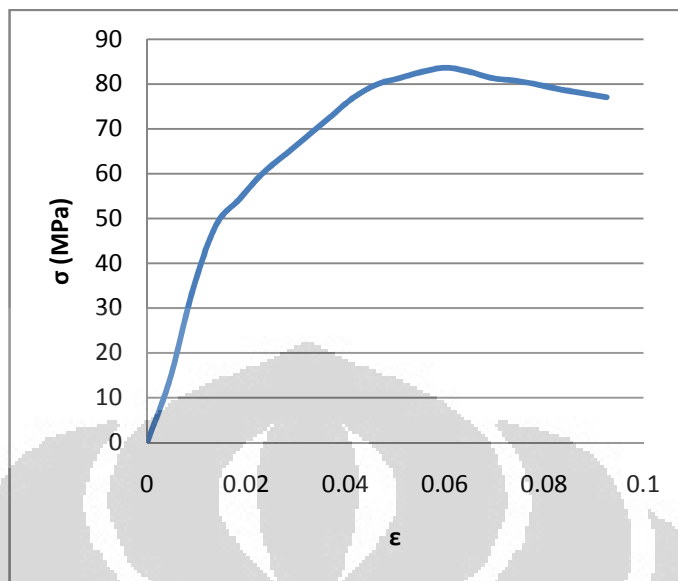
4.3.1 Sampel dengan Elektroda MG NOX 35

Pengujian tekuk juga dilakukan pada sampel yang dilas dengan elektroda MG NOX 35 untuk mengevaluasi sifat mekanis hasil las-lasannya. *Bending test* atau uji tekuk dilakukan pada sampel mengacu kepada standar JIS Z 2248. Selain untuk melihat pengaruh *preheat* terhadap ketangguhan pada hasil las-lasan, pengujian ini juga bertujuan untuk membandingkan ketangguhan hasil lasan yang menggunakan elektroda MG NOX 35 dengan hasil lasan yang menggunakan elektroda E 7018.

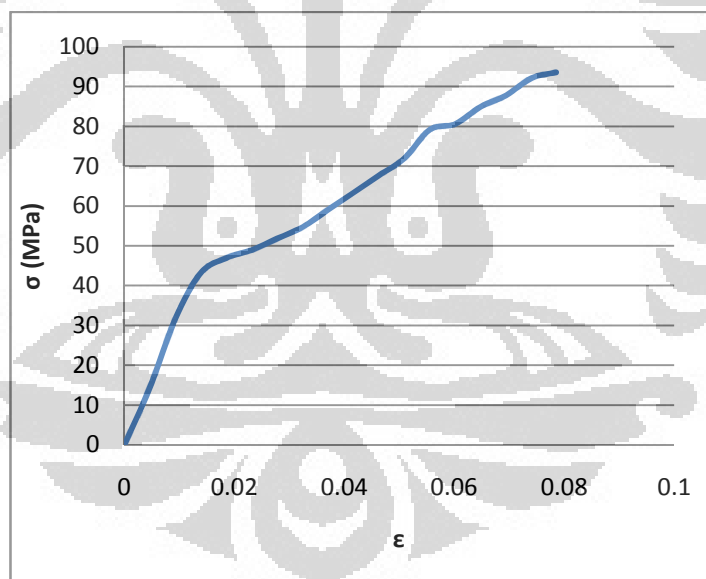
Tabel 4.7 Hasil uji tekuk sampel dengan elektroda MG NOX 35

| Preheat | Beban tekuk maks. (kg) | Keterangan |
|---------|------------------------|------------|
| No | 1475 | 50° patah |
| 130°C | 1625 | 40° patah |
| 230°C | 1100 | 40° patah |

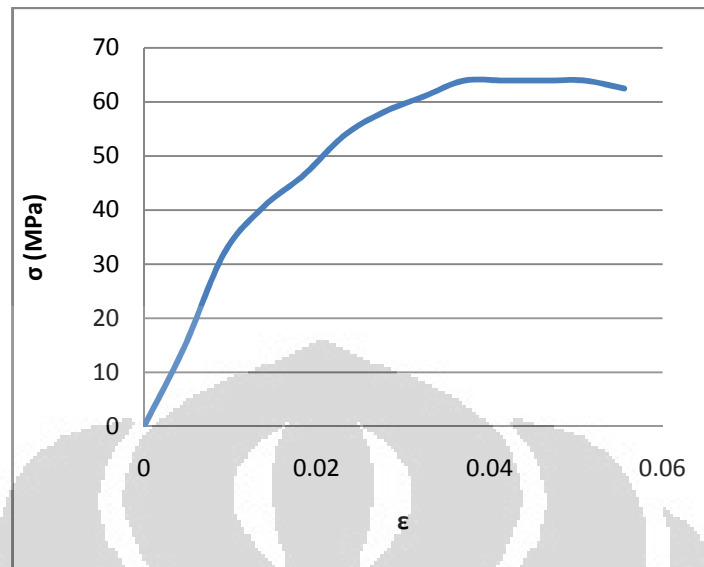
Hasil pengujian tekuk sampel dengan elektroda MG NOX 35 ditunjukkan pada **Tabel 4.7**. Beban tekuk maksimal paling tinggi dimiliki oleh sampel dengan perlakuan *preheat* dan *interpass temperature* sebesar 130°C. Sebaliknya, beban tekuk maksimal paling rendah dimiliki oleh sampel tanpa perlakuan *preheat* dan *interpass temperature* pada temperatur ruang. Sementara itu, sudut *bending* yang paling tinggi dimiliki oleh sampel tanpa perlakuan *preheat* dan *interpass temperature* pada temperatur ruang. Sampel dengan sudut *bending* paling rendah dan kekuatan tekuk maksimal paling rendah dimiliki oleh sampel dengan perlakuan *preheat* dan *interpass temperature* 230°C.



Gambar 4.15 Grafik hasil uji tekuk sampel dengan elektroda MG NOX 35 tanpa perlakuan *preheat*



Gambar 4.16 Grafik hasil uji tekuk sampel dengan elektroda MG NOX 35 dan dengan perlakuan *preheat* 130° C



Gambar 4.17 Grafik hasil uji tekuk sampel dengan elektroda MG NOX 35 dan dengan perlakuan *preheat* 230° C

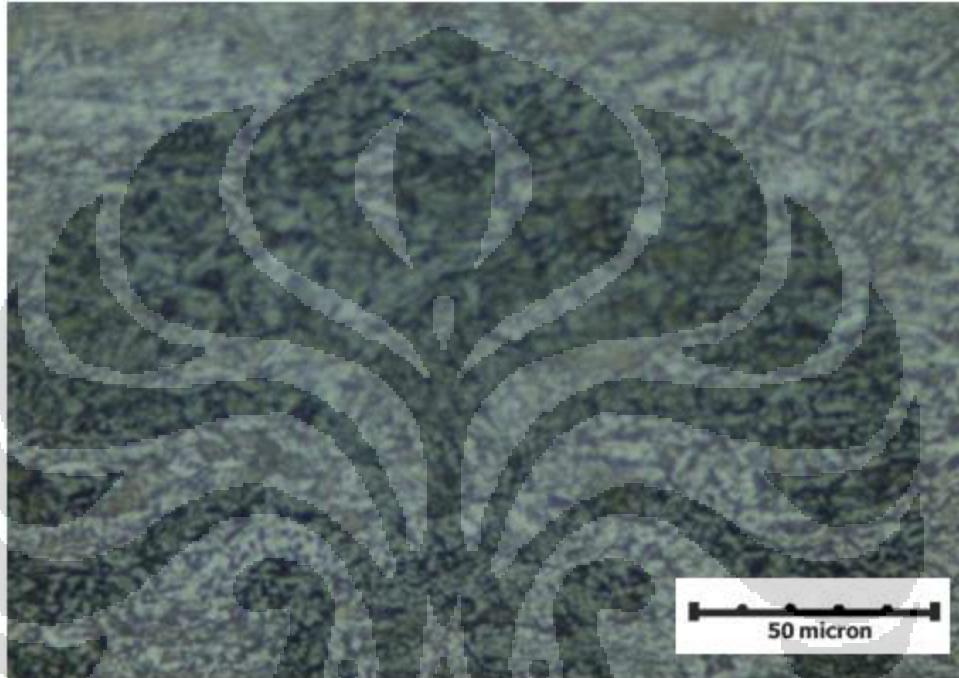
Berdasarkan kurva hasil uji tekuk pada **Gambar 4.15**, **Gambar 4.16** dan **Gambar 4.17** dapat dilihat bahwa *strain* atau regangan sampel dengan perlakuan *preheat* dan *interpass temperature* sebesar 130°C dan 230°C lebih kecil jika dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan *preheat*. *Strain* merupakan salah satu parameter keuletan dari suatu material. Semakin besar *strain* dari suatu material, semakin ulet material tersebut. Berdasarkan teori tersebut dapat disimpulkan bahwa sampel dengan elektroda MG NOX yang tidak dilakukan proses *preheat* memiliki keuletan yang lebih besar jika dibandingkan dengan sampel yang mendapatkan perlakuan *preheat*. Hal ini disebabkan oleh laju pendinginan yang sangat cepat pada sampel tanpa perlakuan *preheat* menghasilkan struktur yang halus dan cenderung bersifat getas sehingga ketika dilakukan pengujian bending deformasi plastis yang terjadi jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan sampel yang mendapatkan perlakuan *preheat*. Hasil pengujian bending yang diperoleh berkebalikan dengan sampel yang dilas menggunakan elektroda E 7018. Pada elektroda E 7018, sampel tanpa perlakuan *preheat* memiliki luasan daerah di bawah grafik yang paling kecil. Sementara itu, pada elektroda MG NOX 35 sampel tanpa perlakuan *preheat* memiliki

luasan daerah di bawah grafik yang paling luas. Perbedaan ini tentunya disebabkan oleh komposisi kimia yang berbeda antara kedua jenis kawat las tersebut.

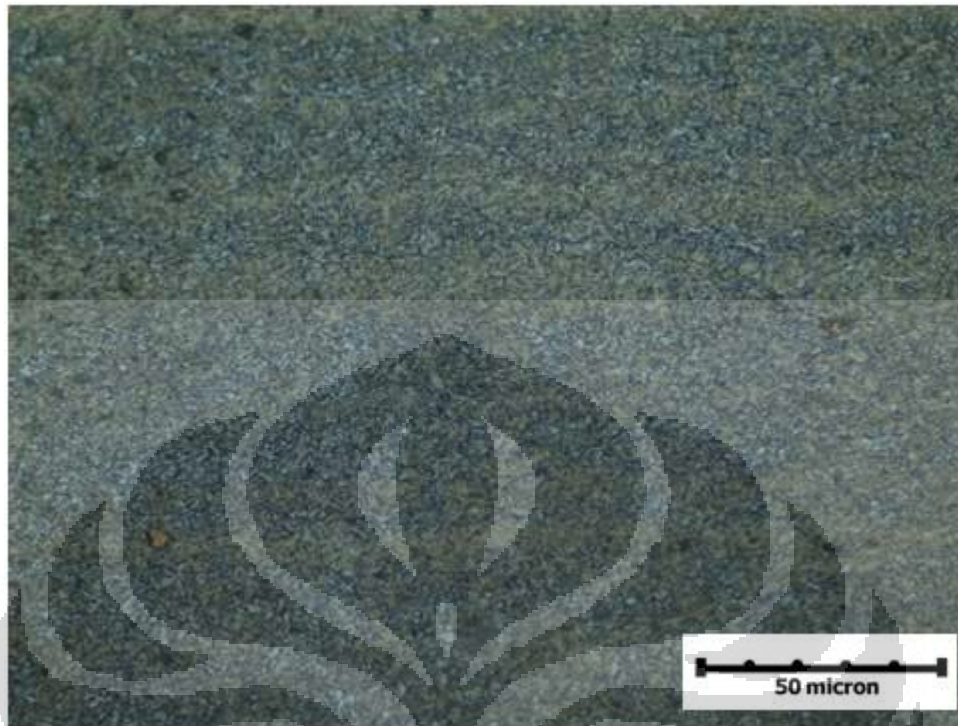
Dilihat dari komposisi kimianya, elektroda MG NOX 35 merupakan *austenitic stainless steel* dengan kandungan Cr yang cukup tinggi. Ketika pengelasan dilakukan maka akan terjadi dilusi atau pencampuran antara kawat las MG NOX 35 dengan base metal. Pencampuran ini dapat menyebabkan terjadinya interaksi antara Cr dari kawat las dengan C yang terdapat pada base metal yang mengalami dilusi. Hasil pencampuran tersebut menghasilkan senyawa *Chromium Carbide* yang sangat keras dan relatif getas pada kampuh las. Laju pendinginan sangat menentukan kuantitas dari senyawa karbida yang terbentuk. Semakin lambat laju pendinginan maka akan semakin banyak senyawa karbida yang terbentuk. Oleh karena itu, sampel dengan perlakuan *preheat* 230°C memiliki keuletan yang paling rendah. Hal ini disebabkan oleh perlakuan *preheat* menyebabkan laju pendinginan semakin lambat dan semakin banyak terbentuk senyawa karbida pada kampuh las.

4.4 Data dan Analisa Mikrostruktur

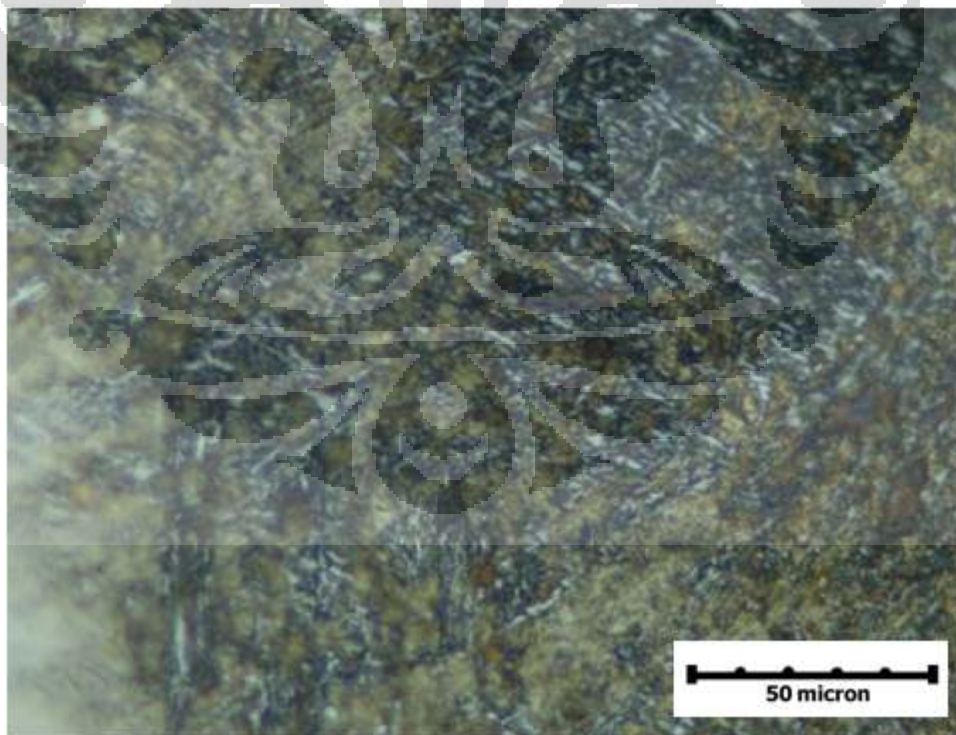
4.4.1 Sampel dengan Elektroda E 7018



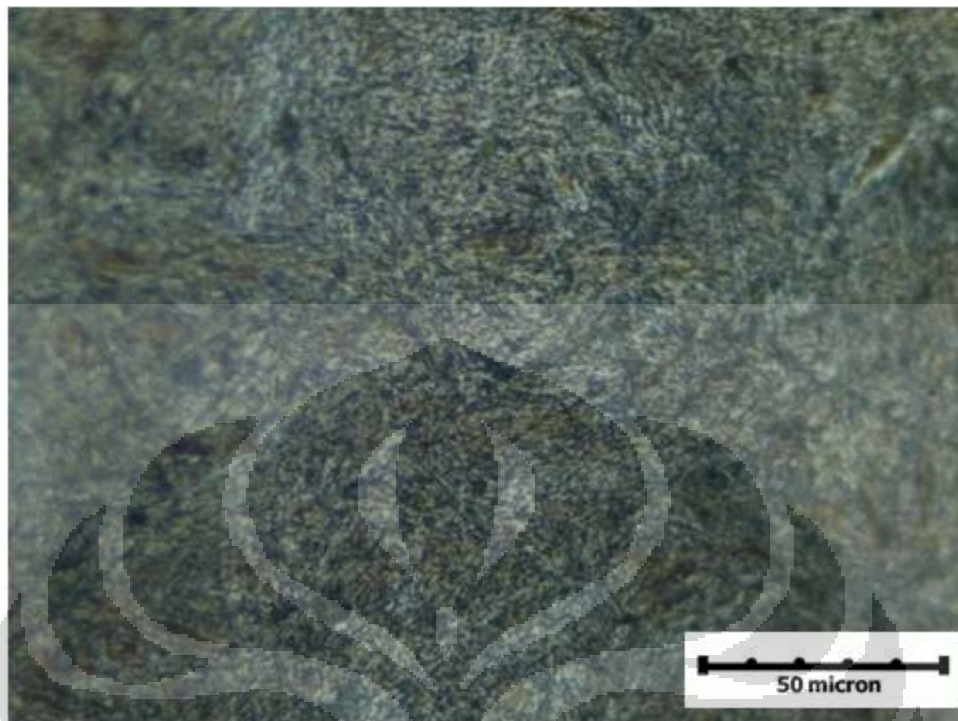
Gambar 4. 18 Mikrostruktur logam dasar



Gambar 4. 19 Mikrostruktur daerah HAZ dengan Elektroda E 7018 tanpa perlakuan *preheat*



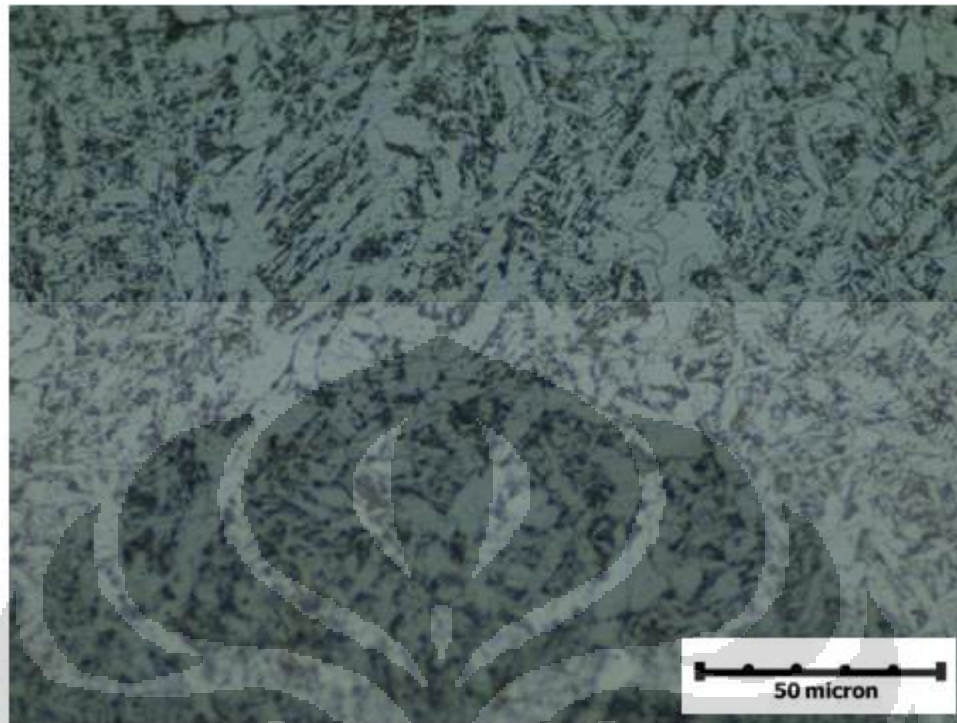
Gambar 4. 20 Mikrostruktur daerah HAZ dengan Elektroda E 7018 dengan perlakuan *preheat* 130°C



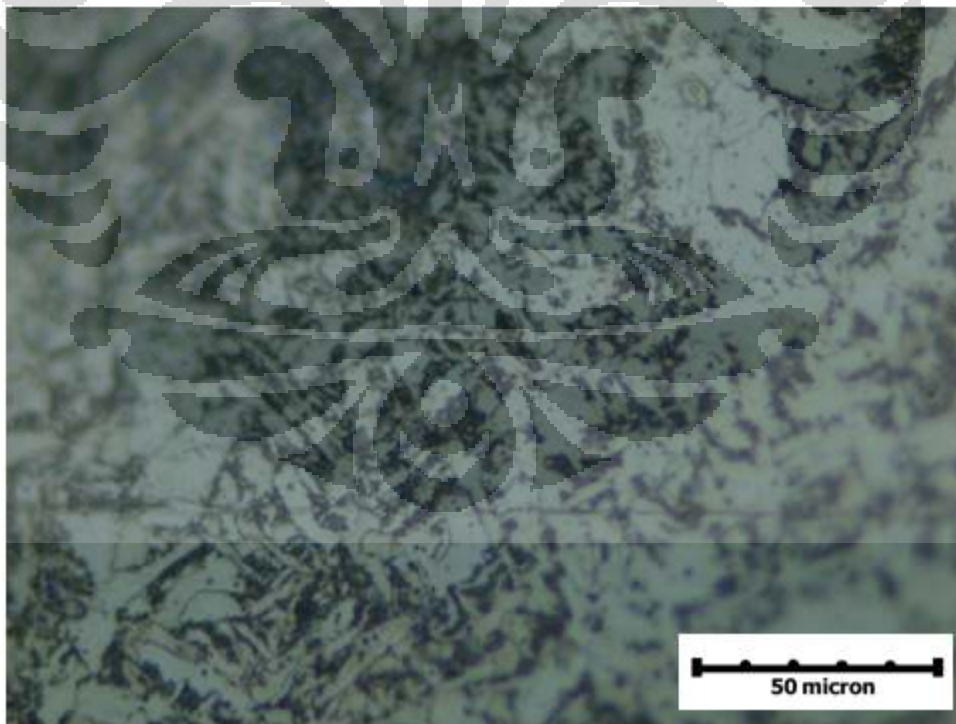
Gambar 4. 21 Mikrostruktur daerah HAZ dengan Elektroda E 7018 dengan perlakuan *preheat* 230°C



Gambar 4. 22 Mikrostruktur daerah kumpuh las dengan Elektroda E 7018 tanpa perlakuan *preheat*



Gambar 4. 23 Mikrostruktur Kampuh Las dengan Elektroda E 7018 dengan perlakuan *preheat* 130°C



Gambar 4. 24 Mikrostruktur Kampuh Las dengan Elektroda E 7018 dengan perlakuan *preheat* 230°C

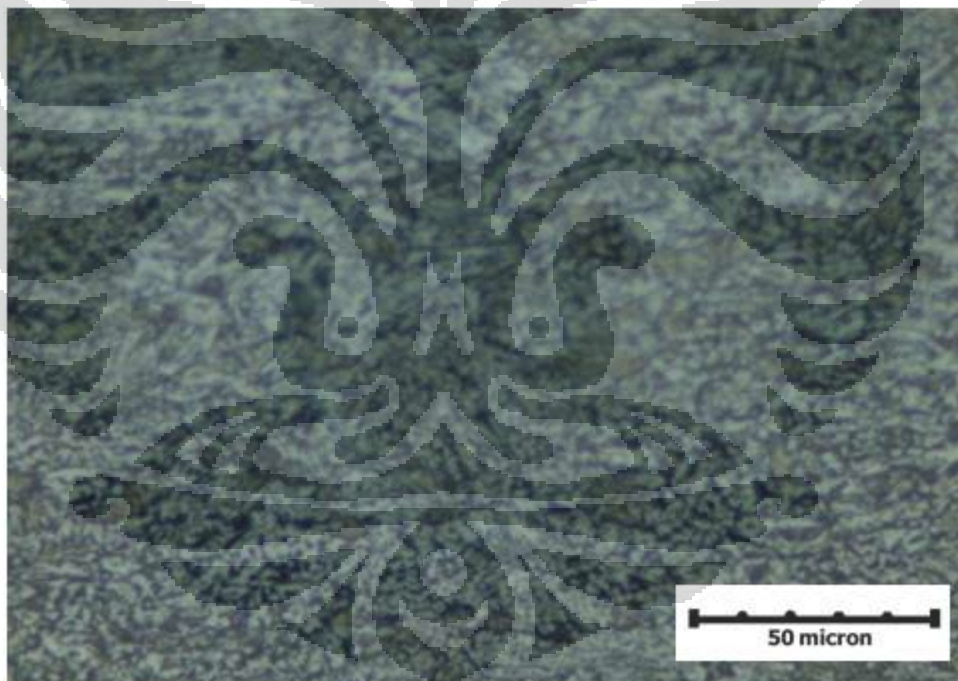
Sebelum dilakukan pengambilan foto mikro, sampel dietsa dengan menggunakan larutan nital 2% selama 7 – 15 detik. Pengamatan struktur mikro dilakukan pada sampel dengan variasi perlakuan preheat (pemanasan awal). Di mana daerah yang diamatai ada 3 bagian yaitu daerah weld metal, HAZ dan *base metal*. Berdasarkan hasil foto mikro dapat di amati bahwa secara umum struktur mikro logam dasar dari masing-masing sampel relatif sama. Berdasarkan literatur dari material tersebut, disebutkan bahwa fasa pada baja Creusabro 4800 ini terdiri dari *bainite*, *retain austenite* dan *microcarbide*^[14]. Namun, berdasarkan pengamatan mikrostruktur yang dilakukan, fasa yang terlihat pada baja Creusabro 4800 tersebut didominasi oleh fasa *pearlite* dan *ferrite* sebagai matriks dan fasa karbida sebagai penguat.

Mikrostruktur daerah terpengaruh panas (HAZ) dibagi menjadi dua bagian yaitu mikrostruktur HAZ kasar dan mikro struktur HAZ halus. Namun, yang dilampirkan pada skripsi ini hanya mikrostruktur HAZ halus untuk membandingkan pengaruh *preheat* terhadap struktur HAZ. Daerah HAZ kasar adalah daerah yang terpengaruh panas dengan temperatur paling tinggi. Pada daerah ini butiran material mengalami pertumbuhan butir sehingga strukturnya lebih kasar jika dibandingkan dengan HAZ halus. Sementara itu, mikrostruktur HAZ halus dihasilkan dari pengaruh panas yang menyebabkan material mengalami rekristalisasi namun tidak sampai terjadi pertumbuhan butir seperti yang dialami daerah HAZ kasar. Dari ketiga sampel yang dilas dengan elektroda E 7018 terlihat bahwa sampel dengan perlakuan *preheat* 230°C memiliki struktur HAZ yang paling kasar dan sampel tanpa perlakuan *preheat* memiliki struktur HAZ yang paling halus. Hal ini disebabkan karena sampel dengan perlakuan preheat menyebabkan laju pendinginan semakin lambat. Dengan semakin lambatnya laju pendinginan mengakibatkan butir material pada daerah terpengaruh panas mengalami *growth* (pertumbuhan) sehingga strukturnya menjadi lebih kasar.

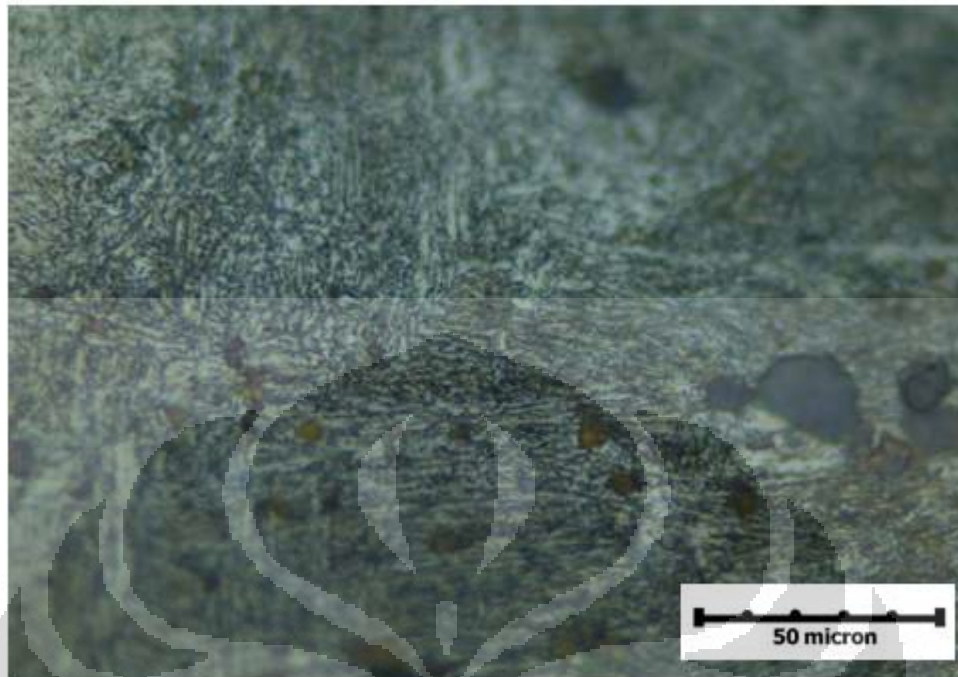
Mikrostruktur daerah kampuh las pada masing-masing sampel yang memiliki variasi perlakuan *preheat* juga berbeda. Secara umum, fasa yang terdapat pada daerah kampuh las adalah *acicular ferrite -pearlite*. Namun, pada sampel yang mendapatkan perlakuan preheat 130°C dan 230°C struktur yang terbentuk lebih kasar jika

dibandingkan pada sampel tanpa perlakuan preheat. Adanya perbedaan bentuk strukturmikro tersebut sekali lagi disebabkan karena laju pendinginan yang berbeda. Struktur yang berbentuk jarum (halus) pada sampel tanpa perlakuan preheat disebabkan karena laju pendinginan yang sangat cepat. Sebaliknya, struktur kasa yang dihasilkan pada sampel dengan perlakuan *preheat* disebabkan karena laju pendinginannya yang relatif lebih lambat sehingga struktur yang dihasilkan lebih kasar.

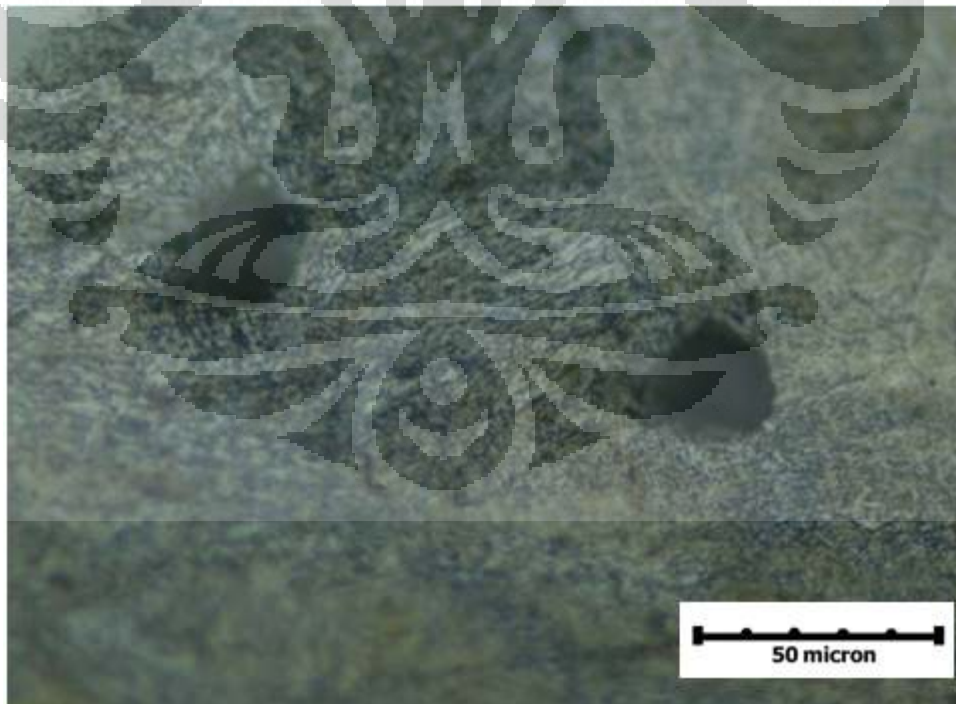
4.4.2 Sampel dengan Elektroda MG NOX 35



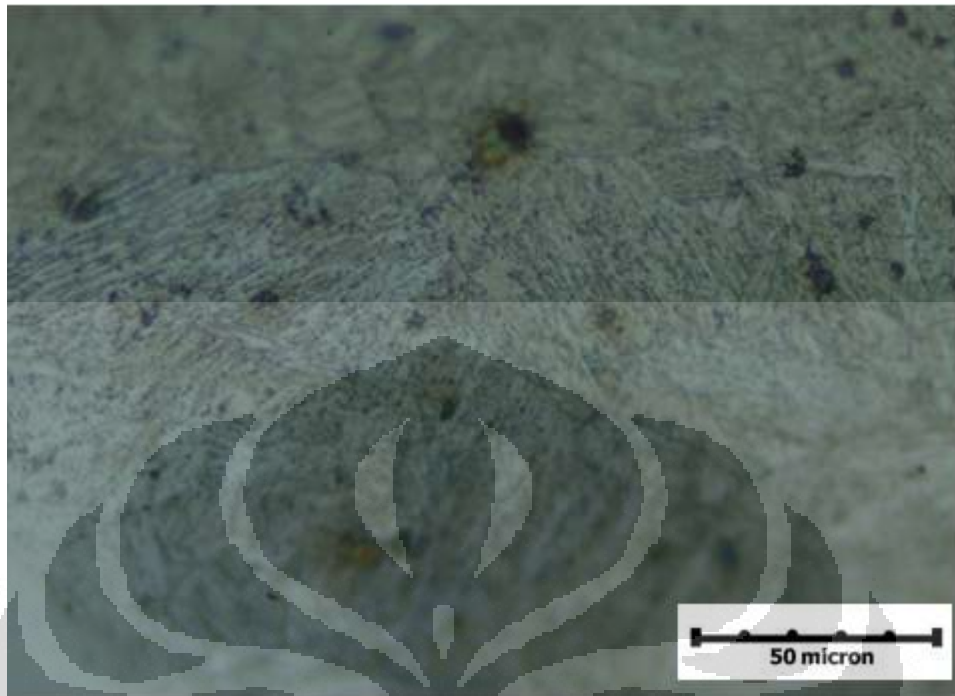
Gambar 4. 25 Mikrostruktur logam dasar



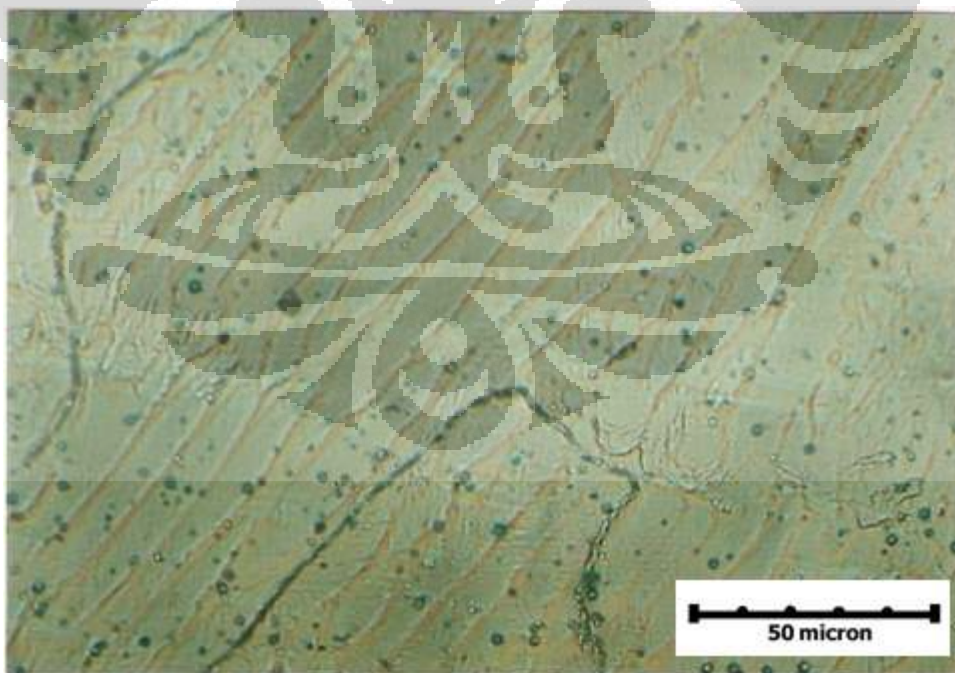
Gambar 4. 26 Mikrostruktur daerah HAZ dengan Elektroda MG NOX 35 tanpa perlakuan *preheat*



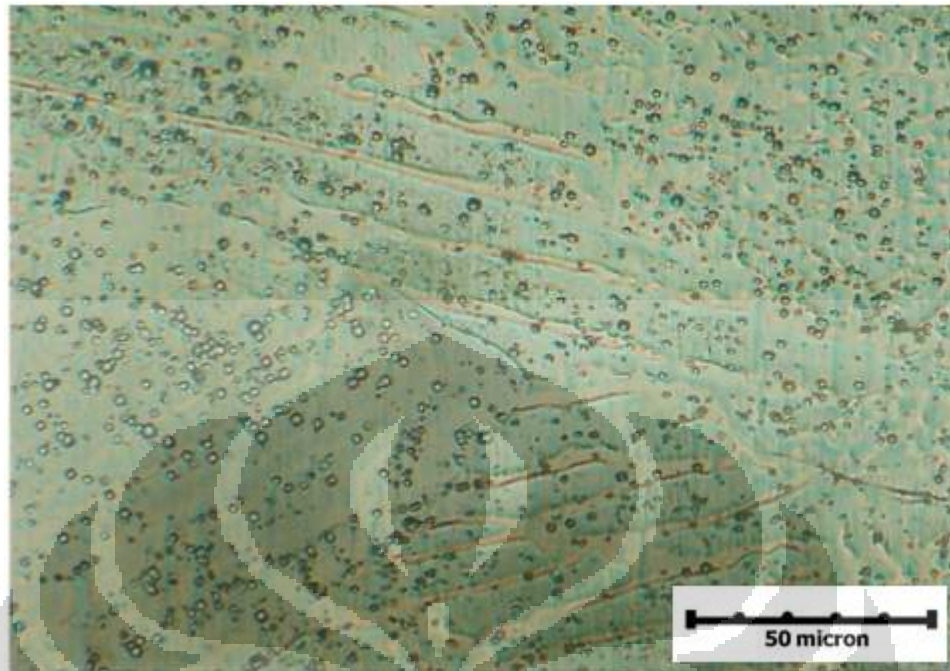
Gambar 4. 27 Mikrostruktur daerah HAZ dengan Elektroda MG NOX 35 dengan perlakuan *preheat* 130°C



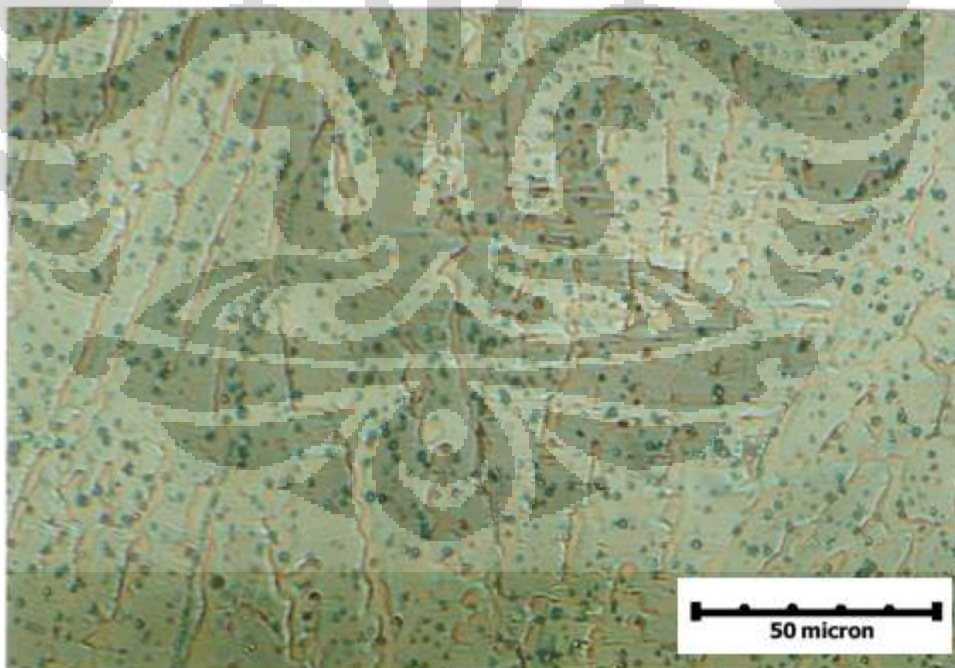
Gambar 4. 28 Mikrostruktur daerah HAZ dengan Elektroda MG NOX 35 dengan perlakuan preheat 230°C



Gambar 4. 29 Mikrostruktur kantung las dengan Elektroda MG NOX 35 tanpa perlakuan *preheat*



Gambar 4. 30 Mikrostruktur kampuh las dengan Elektroda MG NOX 35 35 dengan perlakuan preheat 130°C



Gambar 4. 31 Mikrostruktur kampuh las dengan Elektroda MG NOX 35 35 dengan perlakuan preheat 230°C

Sebelum dilakukan pengambilan foto mikro, sampel dietsa dengan menggunakan larutan nital 2% selama 7 – 15 detik. Setelah itu dilakukan lagi etsa dengan menggunakan proses elektroetsa dengan larutan asam oksalat 15% selama 90 detik. Proses etsa dengan larutan natal 2% bertujuan untuk mendapatkan struktur mikro pada daerah HAZ dan logam dasar. Sementara itu, proses elektroetsa dengan larutan asam oksalat 15% bertujuan untuk mendapatkan struktur mikro pada daerah *weld pool* (kampung las) karena kawat las yang digunakan merupakan *stainless steel austenitic*.

Pengamatan struktur mikro pada sampel dengan elektroda MG NOX 35 sama seperti pengamatan struktur mikro pada sampel dengan elektroda E7018. Di mana, ada tiga daerah yang diamati yaitu daerah *weld metal*, HAZ (*Heat Affected Zone*) dan *base metal*. Hanya saja, pada sampel dengan elektroda MG NOX 35 ini foto mikro yang dihasilkan tidak terlalu jelas. Hal ini disebabkan oleh kesalahan dalam proses pengetsaan (*etching*). Berdasarkan hasil foto mikro dapat di amati bahwa secara umum struktur mikro logam dasar dari masing-masing sampel relatif sama seperti base metal pada sampel yang menggunakan elektroda E 7018. Berdasarkan literatur dari material tersebut, disebutkan bahwa fasa pada baja Creusabro 4800 ini terdiri dari *bainite*, *retain austenite* dan *microcarbide*_[14]. Namun, berdasarkan pengamatan mikrostruktur yang dilakukan, fasa yang terlihat pada baja Creusabro 4800 tersebut didominasi oleh fasa *pearlite* dan *ferrite* sebagai matriks dan fasa karbida sebagai penguat.

Mikrostruktur daerah terpengaruh panas (HAZ) dibagi menjadi dua bagian yaitu mikrostruktur HAZ kasar dan mikro struktur HAZ halus. Namun, yang dilampirkan pada skripsi ini hanya mikrostruktur HAZ halus untuk membandingkan pengaruh *preheat* terhadap struktur HAZ. Daerah HAZ kasar adalah daerah yang terpengaruh panas dengan temperatur paling tinggi. Pada daerah ini butiran material mengalami pertumbuhan butir sehingga strukturnya lebih kasar jika dibandingkan dengan HAZ halus. Sementara itu, mikrostruktur HAZ halus dihasilkan dari pengaruh

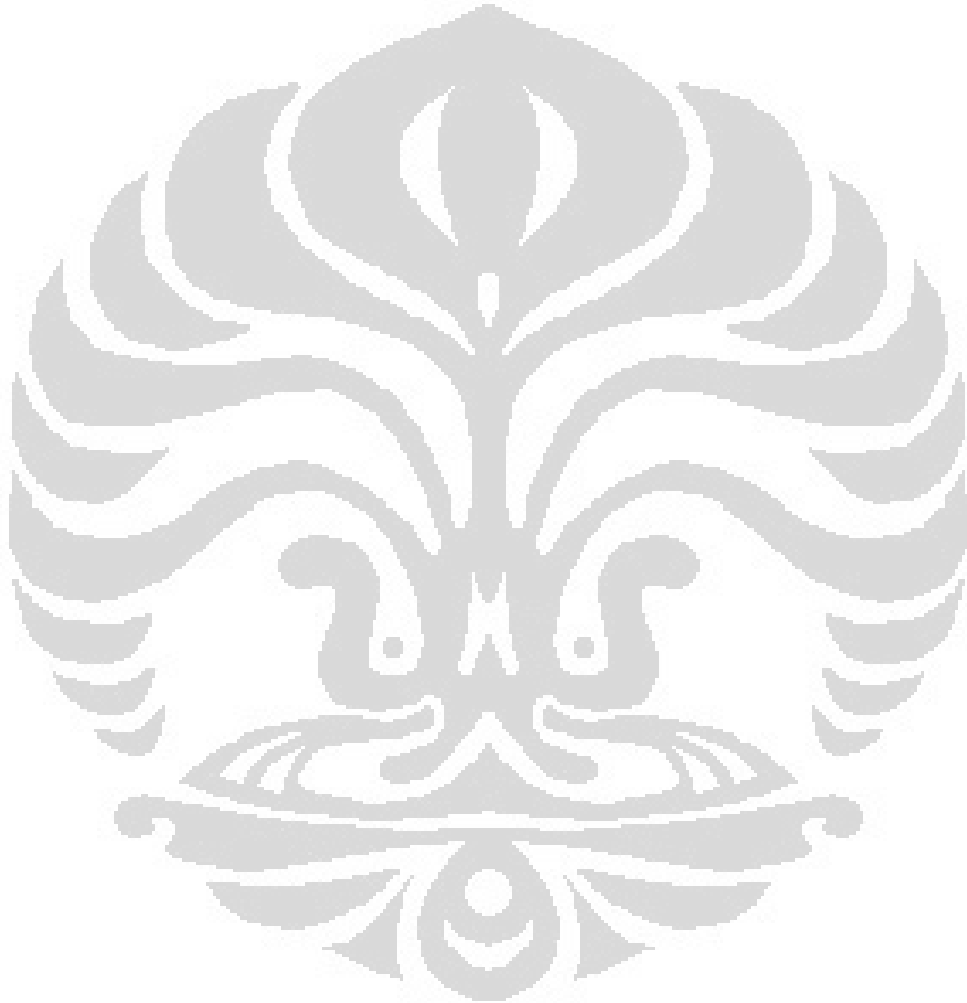
panas yang menyebabkan material mengalami rekristalisasi namun tidak sampai terjadi pertumbuhan butir seperti yang dialami daerah HAZ kasar.

Hasil yang diperoleh pada pengamatan struktur mikro daerah HAZ pada sampel dengan elektroda MG NOX 35 tidak jauh berbeda dengan sampel yang menggunakan elektroda E 7018. Di mana dari ketiga sampel yang dilas dengan elektroda MG NOX 35 terlihat bahwa sampel dengan perlakuan *preheat* 230°C memiliki struktur HAZ yang paling kasar dan sampel tanpa perlakuan *preheat* memiliki struktur HAZ yang paling halus. Hal ini disebabkan karena sampel dengan perlakuan *preheat* menyebabkan laju pendinginan semakin lambat. Dengan semakin lambatnya laju pendinginan mengakibatkan butir material pada daerah terpengaruh panas mengalami *growth* (pertumbuhan) sehingga strukturnya menjadi lebih kasar.

Bedasarkan foto mikro yang diperoleh, mikrostruktur daerah *weld metal* pada masing-masing sampel yang memiliki variasi perlakuan *preheat* juga berbeda. Perbedaan ini terlihat dari jumlah karbida yang pada foto mikro ditandai dengan munculnya bintik-bintik berwarna hitam. Pada sampel tanpa perlakuan *preheat*, jumlah bintik-bintik hitam yang terlihat lebih sedikit jika dibandingkan dengan sampel yang mendapatkan perlakuan *preheat*. Sementara itu, pada sampel yang mendapatkan perlakuan *preheat* terdapat banyak bintik-bintik hitam yang mengindikasikan jumlah karbida yang terbentuk lebih banyak jika dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan *preheat*. Sampel dengan perlakuan *preheat* 230°C memiliki struktur yang mengandung paling banyak karbida jika dibandingkan dengan sampel lainnya. Adanya perbedaan kuantitas dari senyawa karbida pada struktur mikro tersebut disebabkan oleh perbedaan laju pendinginan karena variasi perlakuan *preheat*.

Kawat las yang digunakan merupakan jenis *stainless steel austenitic* yang mengandung unsur Cr cukup tinggi. Selama proses pengelasan, karbon yang berasal dari pelelehan logam dasar dapat bereaksi dengan Cr membentuk senyawa karbida. Semakin lama laju pendinginan maka kemungkinan terbentuknya senyawa kromium karbida akan semakin tinggi. Oleh karena itu, pada sampel dengan perlakuan *preheat*

jumlah karbida yang terbentuk lebih banyak jika dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan *preheat*.



BAB V

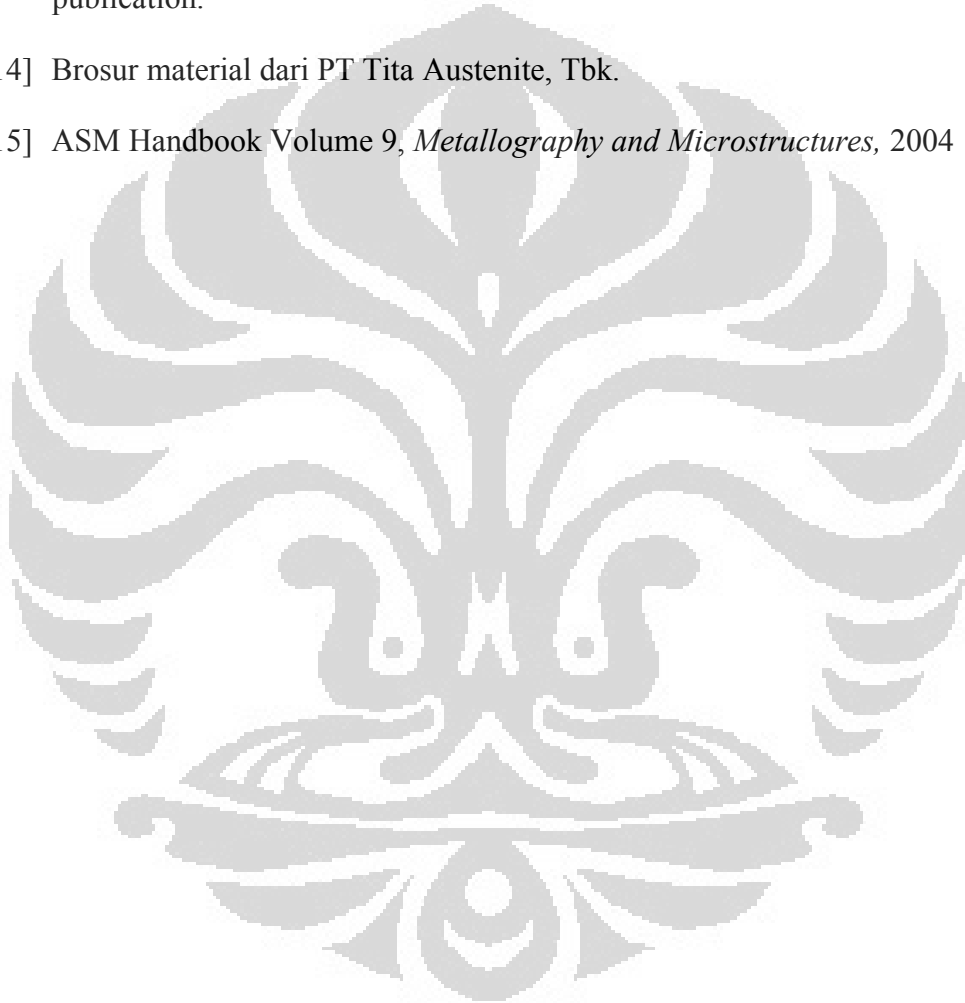
KESIMPULAN

1. Retak dingin terjadi pada pengelasan baja tahan aus Creusabro[®] 4800 dengan elektroda E 7018 tanpa perlakuan pemanasan awal (*preheat*).
2. Retak dingin tidak terjadi pada pengelasan baja tahan aus Creusabro[®] 4800 dengan elektroda MG NOX 35 baik dengan perlakuan *preheat* 130°C dan 230°C maupun tanpa perlakuan *preheat*.
3. Perlakuan pemanasan awal (*preheat*) sebesar 130°C dan 230°C dapat mencegah terjadinya retak dingin (cold crack) pada sambungan las baja tahan aus Creusabro[®] 4800.
4. Pada sampel yang menggunakan elektroda E 7018, semakin tinggi *preheat* maka kekerasan akan semakin menurun. Kumpuh las sampel tanpa *preheat* memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 359 VHN, sampel dengan *preheat* 130°C sebesar 271 VHN, sampel dengan *preheat* 230°C sebesar 244 VHN.
5. Pada sampel yang menggunakan elektroda MG NOX 35, semakin tinggi temperatur *preheat* maka kekerasan akan semakin meningkat. Kumpuh las sampel tanpa *preheat* memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 263 VHN, sampel dengan *preheat* 130°C sebesar 271 VHN, sampel dengan *preheat* 230°C sebesar 280, VHN.
6. Pada sampel yang menggunakan elektroda E 7018, hasil lasan dengan *preheat* memiliki keuletan yang lebih baik jika dibandingkan dengan hasil lasan tanpa perlakuan *preheat*.
7. Pada sampel yang menggunakan elektroda MG NOX 35, hasil lasan tanpa perlakuan *preheat* memiliki keuletan yang lebih baik jika dibandingkan dengan hasil lasan yang mendapatkan perlakuan *preheat*.

DAFTAR REFERENSI

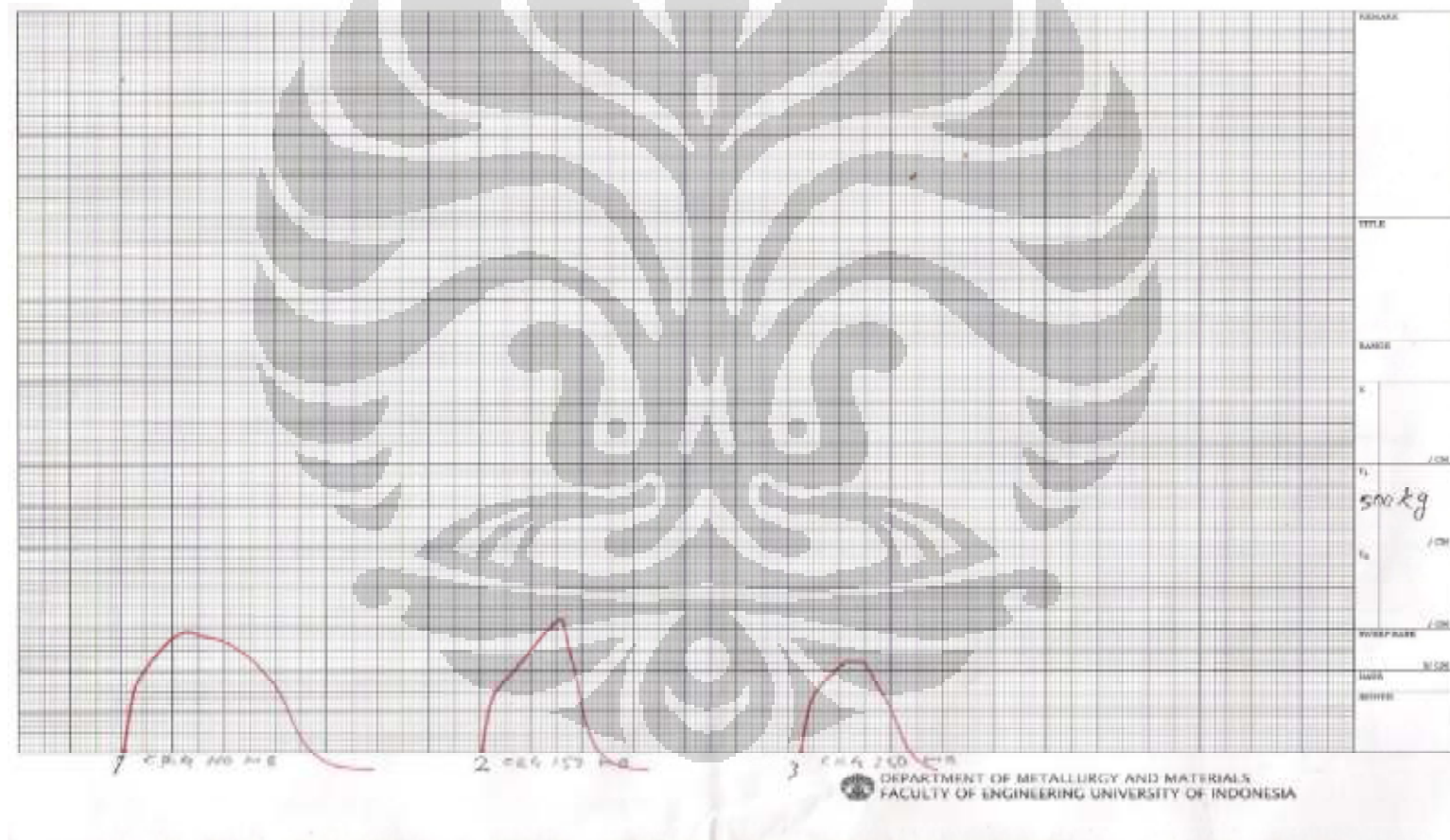
- [1] J. Adamczyk, Development of the microalloyed constructional steels, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 14, (2006), pp.9-20.
- [2] J. Cwiek, Hydrogen degradation of high strength weldable steels, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 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] Kenneth Easterling, *Introduction to the Physical Metallurgy of Welding*, 2nd Edition, Butterworth Heinemann Limited (1992)
- [5] N. Bailey, F.R. Coe, T.G. Gooch, P.H.M Hart, N. Jenkins, R.J. Pargeter, *Welding Steels Without Hydrogen Cracking*, 2nd Ed., Abington Publishing, England (1993)
- [6] Y. Ito and K. Bessyo: A Prediction of Welding Procedure to Avoid Heat Affected Zone Cracking, *IIW Doc. No. 1X-631-69*.
- [7] 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*.
- [8] 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)
- [9] N. Bailey, *Weldability of Ferritic Steels*, Abington Publishing, England (1994).
- [10] Artikel "*What The Welding Inspector Should Know About Preheating And Postweld Heat Treatment*" Diakses 20 Oktober 2011.

- [11] H. Wiryosumarto dan T. Okura Teknologi Pengelasan Logam, P.T Pradnya Paramita, Jakarta, 2004.
- [12] Welding Handbook Volume 1, eight Ed, American Welding Society Miami, Florida, USA
- [13] Sindo Kou, 2002. Welding metallurgy 2nd ed. "A Wiley-Interscience publication.
- [14] Brosur material dari PT Tita Austenite, Tbk.
- [15] ASM Handbook Volume 9, *Metallography and Microstructures*, 2004

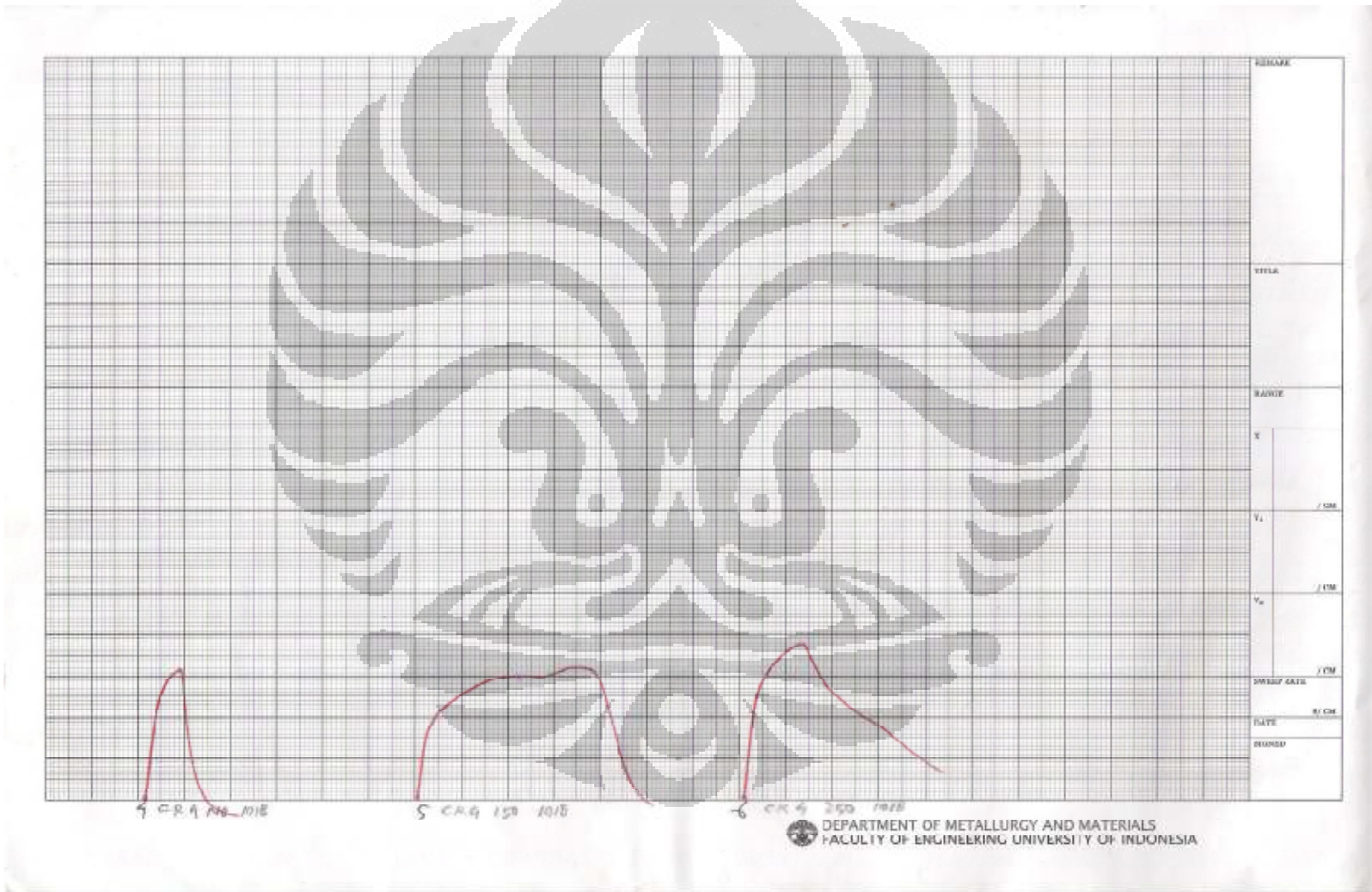


LAMPIRAN

Lampiran 1. Kurva hasil pengujian bending sampel dengan elektoda MG NOX 35



Lampiran 2. Kurva hasil pengujian bending sampel dengan elektroda E 7018



Lampiran 3. Data hasil pengamatan radiografi

| PT RADIANT UTAMA INTERINSCO Tbk | | | | | | | | | | | F-NDT-001 | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------|-------------------|-------------------|---------------|----------|------------------------|---------|-----------------|-------------------------|-------------------|--------|----------------|----------|-----------------------|----------------|----------|--------|--------|---------|--|
| RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CLIENT : | UNIVERSITAS INDONESIA | | | | CONTRACT NO. : | | | | | REPORT NO. : | 01. | | | | | | | | | | | |
| LOCATION : | JAKARTA | | | | JOB NO. : | | | | | DATE : | 18-12-2011. | | | | | | | | | | | |
| PROJECT : | TRAINING | | | | SOP NO. : | | | | | CRITERION : | | | | | | | | | | | | |
| TECHNICAL DATA | NO. | JOINT IDENTIFICATION | JOINT NO. | LOCATION | MATERIAL THK (mm) | WELD THK (mm) | PIPE DIA | WELDER STAMP | DENSITY | SENSITIVITY (%) | INCOMPLETE PENETRATIONS | INCOMPLETE FUSION | CRACKS | SLAG INCLUSION | POROSITY | EXCESSIVE PENETRATION | ROOT CONCAVITY | UNDERCUT | RESULT | | REMARKS | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ACC | REJECT | | |
| ESSENTIAL EQUIPMENT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S/N : | 1. | CR 8000 NO | | | 10 | | flap | | | | ✓ | | ✓ | | ✓ | | | | | | | |
| MATERIAL : | 2. | CR 8000 150 | | | " | | " | | | | | | | ✓ | ✓ | | | | | | | |
| WELD PROCESS : SMAW | 3. | CR 8000 250 | | | " | | " | | | | | | | | ✓ | | | | | | | |
| RAD. TECHNIQUE : SWSI | 4. | CR 4800 NO | | | " | | " | | | | | | | | ✓ | | | | | | | |
| SFD : 12" | 5. | CR 4800 150 | | | " | | " | | | | | | | | ✓ | | | | | | | |
| UG : | 6. | CR 4800 250 | | | " | | " | | | | | | | | ✓ | | | | | | | |
| SOURCE : SE-175 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SOURCE SIZE : 3X3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CURIE : 64 a | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FOCAL SPOT SIZE : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KV : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MA : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FILM TYPE : AGFA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SIZE : 4" x 10" | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SCREEN TYPE : LEAD | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SCREEN THK | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FRONT : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BACK : 1/0125 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PLACE OF IQb : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IQI : ASTM 1A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TOTAL NUMBER OF FILMS | | RADIOGRAPHER : | | INTERPRETER : | | | | AUTHORIZED INSPECTOR : | | | | CLIENT'S REP. : | | | | | | | | | | |
| 4" X 10" = 6 SHEETS | | TURUT | | K. Pradita | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4" X 15" = 2 SHEETS | | OPERATOR : | | DATE : | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X = 2 SHEETS | | | | 18-12-2011 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NUMBER OF FILM/CASSETTE : | | DARKROOM TECH. : | | QA/QC INSPECTOR : | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DENSITOMETER S/N : | | | | DATE : | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |