



UNIVERSITAS INDONESIA

**TINJAUAN KOROSI SUMURAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA
PENGELASAN SMAW MULTILAYER DAN *HARDFACING* MATERIAL
TAHAN AUS CREUSABRO® 4800**

TESIS

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

NURDIAN KARTIKA SARI

1006735870

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
KEHUSUSAN KOROSI
DEPOK
JUNI2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

NAMA : NURDIAN KARTIKA SARI

NPM : 100 67 35 870

TANDA TANGAN :



TANGGAL : 22 JUNI 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : NURDIAN KARTIKA SARI

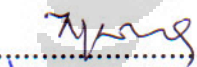
NPM : 100 67 35 870

Program Studi : Metalurgi dan Material

Judul tesis : **TINJAUAN KOROSI SUMURAN DAN STRUKTUR MIKRO
PADA PENGELASAN SMAW MULTILAYER DAN *HARDFACING*
MATERIAL TAHAN AUS CREUSABRO 4800**

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Ir. Rini Riastuti, M.Sc : (.....)

Pembimbing II Ir. Winarto. M.Sc, Ph.D : (.....)

Penguji I Prof. Dr. Dedi Priadi D.E.A : (.....)

Penguji II Dra. Sari Katili MS : (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas ridho dan berkatnya penulis dapat merampungkan penulisan Tesis ini.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu hingga penulisan tesis ini dapat selesai sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan, antara lain:

1. Ibu Ir. Rini Riastuti, M.Sc sebagai pembimbing yang telah memberikan bimbingan kepada penulis hingga terselesainya karya Tesis ini;
2. Bpk. Ir. Winarto M.Sc, Ph.D sebagai pembimbing yang memberikan ide serta bimbingan selama proses penelitian dan penulisan Tesis ini;
3. Prof. Dr. Ing. Ir. Bambang Suharno sebagai Ketua Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik UI;
4. Prof. Dr. Dedi Priadi D.E.A sebagai dosen penguji yang banyak memberikan masukan kepada penulis;
5. Dra. Sari Katili MS sebagai dosen penguji yang banyak memberikan masukan kepada penulis;
6. Seluruh staf pengajar dan karyawan Departemen Teknik Metalurgi dan Material FTUI;
7. Rekan Heri dan Adam yang telah banyak membantu dalam proses penulisan Tesis ini

Sekali lagi penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang membantu hingga penulisan tesis ini dapat selesai. Semoga tesis ini memberikan manfaat bagi pembacanya.

Depok, Juli 2012

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Nurdian Kartika Sari

NPM : 100 67 35 870

Program Studi : Korosi

Departemen : Metalurgi dan Material

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Tesis

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

TINJAUAN KOROSI SUMURAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA PENGELASAN SMAW MULTILAYER DAN *HARDFACING* MATERIAL TAHAN AUS CREUSABRO ® 4800


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 memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 6 Juli 2012

Yang menyatakan
(Nurdian Kartika Sari)



ABSTRAK

Nama : Nurdian Kartika Sari
Program Studi : Metalurgi dan Material
Judul : **Tinjauan Korosi Sumuran dan Struktur Mikro Pada Pengelasan SMAW Multilayer dan *Hardfacing* Material Tahan Aus CREUSABRO ® 4800**

Wear resistance steel merupakan salah satu *high strength alloy* dengan nilai kekuatan tinggi. Kombinasi antara kekuatan, kekerasan dan ketangguhan merupakan kelebihan dari HSLA. CREUSABRO ® 4800 merupakan salah satu merek yang bisa digunakan dalam peralatan berat. Tingginya kekerasan menyebabkan material ini rentan terhadap *cold cracking*. Masalah ini menyebabkan degradasi sifat sifat mekanikal yang menyebabkan menurunnya umur pakai dari peralatan. Pengelasan multilayer dan *buttering* pada *hardfacing* dilakukan pada penelitian ini. Beberapa variabel penelitian dilakukan meliputi ada tidaknya *pre heat treatment* dan kombinasi jenis elektroda pada pengelasan sedangkan untuk *hardfacing* diberi perlakuan berupa penggunaan jenis elektroda *buttering* yang berbeda serta banyaknya lapisan *buttering*. Tujuan dari penelitian ini adalah mengamati mikrostruktur dan mengkarakterisasi sampel termasuk ketahanan terhadap korosi pada hasil lasan dan *hardfacing*. Untuk mengetahui hal ini maka beberapa tes seperti kekerasan, metalografi, SEM, EDAX serta *immersion test* dilakukan. Hasil tes menunjukkan bahwa kombinasi 7018 sebagai *weld cap* dan MG NOX 35 sebagai *weld root* menunjukkan nilai rata-rata kekerasan tertinggi (422 HV) pada sampel 1, adanya *pre-heat treatment* pada susunan elektroda lasan yang sama menunjukkan profil kekerasan yang paling stabil yang meningkatkan ketahanan terhadap aus yang baik pada material. Hasil *immersion test* menunjukkan bahwa korosi galvanik terjadi pada semua sampel baik lasan maupun *hardfacing*. Komponen las dengan nilai Cr tertinggi menunjukkan sifat “mulia” berperan sebagai katoda dalam sistem. HAZ sebagai bagian paling lemah dalam sistem mengalami korosi yang parah berperan sebagai anoda dalam sistem. Pengamatan lebih lanjut menunjukkan adanya korosi sumuran pada permukaan MG NOX 35 pada lasan dan ER 309 pada *hardfacing* dengan lebar sumuran 0,5 sampai dengan 5 mikron.

Kata kunci : HSLA, Pengelasan Multilayer, *Buttering*, *Hardfacing*, Korosi Sumuran, Korosi Galvanik

ABSTRACT

Name : Nurdian Kartika Sari
Study Program : Metalurgi dan Material
Title : **Pitting Corrosion and Microstructure in Multilayer
Welding and Hardfacing of CREUSABRO ® 4800**

Wear resistance steel is one of low alloy steel (high strength low alloy) with high strength value. Combination between strength, hardness, and toughness are good points of HSLA. CREUSABRO ® 4800 is common brand in heavy equipment application. High hardness value may induce cold cracking during field applications. This problem decrease the mechanical properties of the material that will decrease the life time of the equipment. Multilayer in welding and buttering in hardfacing are conducted in this research. Some variables in this study are with or without pre heat treatment, different electrode arrangement in welding and different buttering electrode and amount of buttering layer in hardfacing. The aim of the study were observing the microstructure and characterize the specimens including the corrosion resistant of the welding or hardfacing system. To characterize the welding dan hardfacing result some tests are conducted. These tests including hardness, metalography, SEM, EDAX and immersion corrosion test. The result of the tests shows that even combination of 7018 as weld cap and MG NOX 35 as weld root has highest surface hardness (422 HV) in specimen 1, preheat treatment in similar arrangement welding in specimen 4 shows better hardness value profile. In hardfacing, combination MG DUR 3 in three layer butter shows better value profile that will increase the wear resistant of material. After immersion test it is observed that galvanic corrosion is the common corrosion type that occur in the specimens. Welding component with highest Cr component is the most noble act as cathode in the system. HAZ as weakest part of the system severely corrode become the anode of the system. Further observation shows that micro pitting occur in MG NOX 35 in welding and ER 309 L surface with pitting width between 0,5 to 5 microns

Keywords : HSLA, Multilayer welding, Buttering, Hardfacing, Pitting Corrosion, Galvanic Corrosion

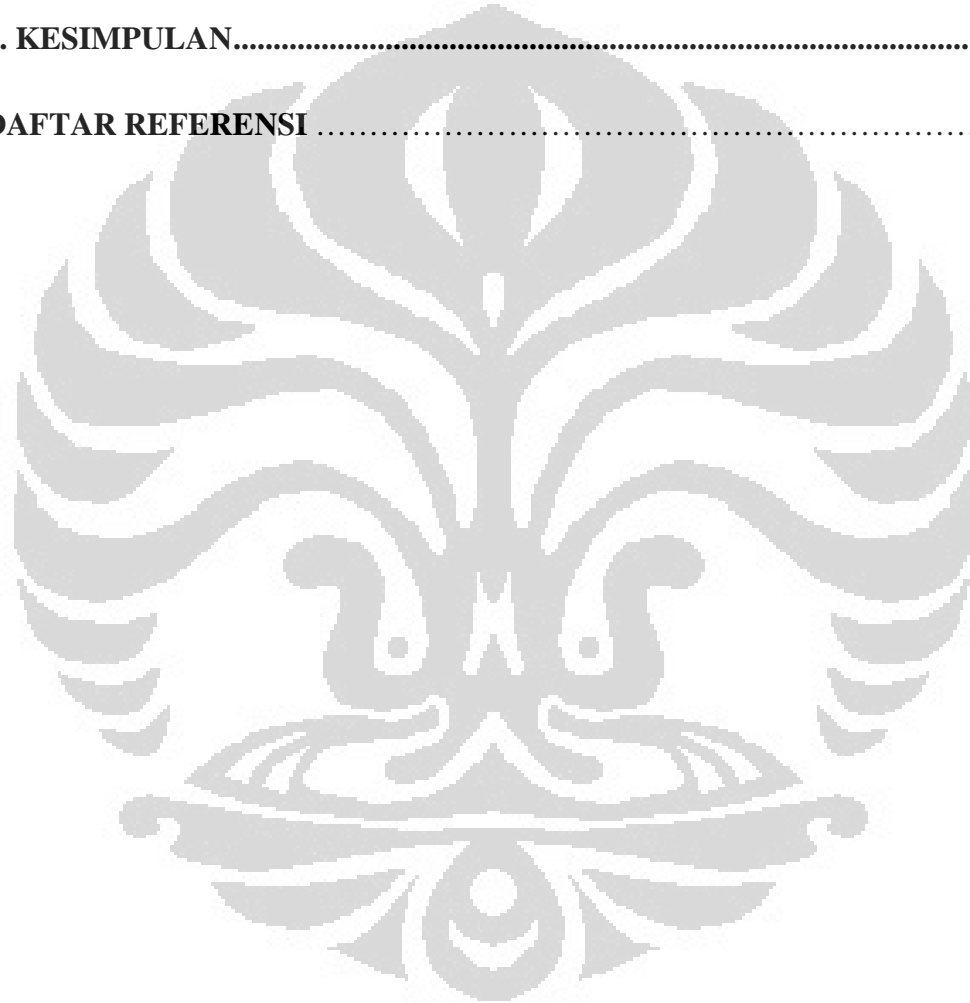
DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvii
1.PENDAHULUAN.....	1
1.1Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3Tujuan Penelitian	3
2.TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Studi Pustaka dan Hipotesis	4
2.2 <i>Pre-heat Treatment</i>	5
2.3 <i>Hardfacing</i>	Error! Bookmark not defined.
2.4 Pemilihan Elektroda	6
2.5 <i>Buttering</i>	7
2.6 SMAW (Shield Metal Arc Weding).....	8
2.7 Korosi Pada Lasan.....	8
2.7.1 Korosi Sumuran (<i>Pitting Corrosion</i>) Pada Daerah Lasan.....	11
2.8 Mikrostruktur	15
2.8.1 <i>Grey Cast Iron</i> Yang di <i>Hardfacing</i> Dengan Menggunakan Fe Cr [3]	17
2.8.2 Substrat Paduan Nickel Dengan Lapisan TiC [4]	18
2.8.3 Menggunakan <i>Mild Steel Alloy</i> Sebagai Substrat	20
2.8.4 Metode <i>Buttering</i> DenganLogam IndukAISI 4340 Dengan Kadar Karbon 0,35 % [6].....	22

2.8.5	Pengelasan Baja Karbon Rendah [11].....	25
2.8.6	Mikrostruktur HAZ Pada Lasan HSLA	27
3.	METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1	Ruang lingkup penelitian	29
3.1.1	Diagram Alir Penelitian	31
3.1.2	Material Penelitian	33
3.1.3	Parameter Penelitian.....	34
3.1.4	Pengujian.....	34
4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1	Hasil	35
4.1.1	Pengukuran kekerasan hasil lasan.....	35
4.1.1.1	Uji Kekerasan Sampel 1	35
4.1.1.2	Uji Kekerasan Sampel 2	35
4.1.1.3	Uji Kekerasan Sampel 3	40
4.1.1.4	Uji Kekerasan Sample 4	42
4.1.2	Hasil Uji Kekerasan <i>Hardfacing</i>	43
4.1.2.1	Hasil Uji Kekerasan Sampel 1 (3-1)	44
4.1.2.2	Hasil Uji Kekerasan Sampel 2 (3-3)	46
4.1.2.3	Hasil Uji Kekerasan Sampel 3 (D-2)	47
4.1.2.4	Hasil Uji Kekerasan Sampel 4 (D-3)	48
4.2	Mikrostruktur	49
4.2.1	Hasil Metalografi Lasan	49
4.2.1.1	Hasil Metalografi Sampel 1.....	49
4.2.1.2	Hasil Metalografi Sampel 2.....	50
4.2.1.3	Hasil Metalografi Sampel 3.....	51
4.2.1.4	Hasil Metalografi Sampel 4.....	52
4.2.1.5	Hasil Metalografi <i>Base Metal</i>	53
4.2.1.6	Hasil Metalografi HAZ	54
4.2.2	Hasil Metalografi <i>Hardfacing</i>	55
4.2.2.1	Hasil Metalografi Sampel 1 (3-1).....	55
4.2.2.2	Hasil Metalografi Sampel 2 (3-3).....	56

4.2.2.3 Hasil Metalografi Sampel 3 (D-2).....	57
4.2.2.4 Hasil Metalografi Sampel 4 (D-3).....	58
4.3 Immersion Test.....	59
4.3.1 Hasil Uji Celup Lasan	61
4.3.1.1 Hasil Uji Celup Lasan Sampel 1	61
4.3.1.2 Hasil Uji Celup Lasan Sampel 2	62
4.3.1.3 Hasil Uji Celup Lasan Sampel 3	65
4.3.1.4 Hasil Uji Celup Lasan Sampel 4	66
4.3.2 Hasil Uji Celup <i>Hardfacing</i>	68
4.3.2.1 Hasil Uji Celup Sampel 3-1	68
4.3.2.2 Hasil Uji Celup Sampel 3-2	69
4.4 Hasil SEM dan EDAX	70
4.4.1 Sampel 1.....	71
4.4.1.1 HAZ Antara Logam Induk Dengan <i>Weld Root</i> (7018)	71
4.4.1.2 HAZ Antara Logam Induk Dengan <i>Weld Cap</i> (MG NOX 35)	72
4.4.2 Sampel 2.....	73
4.4.2.1 HAZ Antara Logam Induk Dengan <i>Weld Root</i> (MG NOX 35) Tanpa Perlakuan <i>Pre-heat Treatment</i>	73
4.4.2.2 HAZ Antara Logam Induk Dengan <i>Weld Cap</i> (7018) Tanpa Perlakuan <i>Pre-heat Treatment</i>	74
4.4.2.3 Interface Antara <i>Weld Root</i> Dengan <i>Weld Cap</i> Baik pada Sampel 1, Maupun Sampel 2. Pengambilan SEM Siwakili Oleh Sampel 2	75
4.4.3 Sampel 3.....	76
4.4.3.1 HAZ Antara Logam Induk Dengan <i>Weld Root</i> (7018) Dengan Adanya <i>Pre-Heat Treatment</i>	76
4.4.3.2 HAZ Antara Logam Induk Dengan <i>Weld Cap</i> (MG NOX 35) Dengan Adanya <i>Pre-Heat Treatment</i>	76
4.4.4 Sampel 4.....	78
4.4.4.1 HAZ Antara Logam Induk Dengan <i>Weld Root</i> (MG NOX 35) Dengan Adanya <i>Pre-Heat Treatment</i>	76
4.4.4.2 HAZ Antara Logam Induk Dengan <i>Weld Cap</i> (7018) Dengan Adanya <i>Pre-Heat Treatment</i>	76
4.4.4.3 <i>Interface</i> Antara Lapisan MG NOX35 dan 7018 Dengan Menggunakan <i>Pre-Heat Treatment 200°C</i>	76

4.4.5 Sampel 1.....	80
4.4.6 Sampel 2 (3-3) (3 Lapis <i>Buttering</i> Lapisan 309 L dan Satu Lapis <i>Hardfacing</i> MG DUR 65).....	81
4.4.7 Sampel 3 (D-2) (Dua Lapis <i>Buttering</i> MG DUR 3 dan Satu Lapis MG DUR 65).....	82
4.4.8 Sampel 4 (D-3) (Tiga Lapis <i>Buttering</i> MG DUR 3 dan Satu Lapis <i>Hardfacing</i> MG DUR 65).....	86
5. KESIMPULAN.....	88
DAFTAR REFERENSI	91



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengelasan Dengan Metode Shield Metal Arc Welding [1].....	8
Gambar 2.2 Morfologi Sambungan Las [1].....	11
Gambar 2.3 Mekanisme terjadinya korosi sumuran.....	14
Gambar 2.4 Mekanisme Pecahnya Lapisan Pasif dan Pembentukan Sumuran, a) Mekanisme Penetrasi Ion Agresif, b) Pecahnya Lapisan Film Pasif, c) Penyerapan Ion Agresif dan Pelarutan Ion ke Dalam Elektrolit.....	15
Gambar 2.5 Mikrostruktur dari CREUSABRO ® 4800 VS 400 HB HSLA [13].....	15
Gambar 2.6 SEM Pada Deposit dan Batas Substrat, a) Lapisan Deposit , b) Lapisan Yang Berbatasan Antara Substrat dan Deposit [3].....	17
Gambar 2.7 Lapisan Kedua Lasan ,a) Lapisan Pertama Lasan, b) Yang Berbatasan Dengan <i>Grey Cast Iron</i> [3]	18
Gambar 2.8 Mikrostruktur Dari TiC Pada Berbagai Posisi Pelapisan <i>Laser Clading</i> , a) <i>globular</i> , b) <i>Cluster</i> , c) <i>Flower shaped</i> [4].....	19
Gambar 2.9 Distribusi Mikrohardness Dalam Lapisan [4]	20
Gambar 2.10 Hasil SEM Yang Menunjukkan Adanya <i>Hard Precipitate</i> Pada hasil <i>HardFacing</i> [7]	21
Gambar 2.11 Urutan Pengelasan [6].....	23
Gambar 2.12 a) <i>Base Metal</i> , b) Daerah <i>Hardfacing</i> Yang Tak Terlarut, c) <i>Interface ASS Buttering- Base metal</i> , d) <i>ASS Buttering –Hardfacing</i> , e) <i>ASS filler capping- Hardfacing</i> , f) <i>LHF Capping- Hardfacing</i> , g) Mikrostruktur <i>ASS Capping</i> , h) Mikrostruktur <i>LHF capping</i> [6]	23
Gambar 2.13 Mikrostruktur Dari (a) Spesimen Yang di <i>Hardfacing</i> Dengan Paduan 1, (b) Substrat, (c) Lapisan <i>Hardfacing</i> Paduan 1, (d) Lapisan <i>Hardfacing</i> Paduan 2; S, Substrat, A, <i>Ferrite</i> , B, <i>Pearlite</i> , C, Karbida Kromium Primer, D, Austenit dan Karbida, E, Austenit Primer [6]	24
Gambar 2.14 Gambar Kiri Menunjukkan Adanya <i>Grain Boundary Ferrite</i> (Berwarna Biru) Pada <i>Weld Metal</i> Yang Tidak Ditambahkan Unsur Mo dan Ni [11]	26

Gambar 2.15 Tidak Adanya <i>Grain Boundary Ferrite</i> [11]	26
Gambar 2.16 <i>Coarse Grain Heat Affected Zone</i> , a) Jarak 0,01mm Dari <i>FusionLine</i> , b) Jarak 01 mm Dari <i>Fusion Line</i> , c) Jarak 03 mm Dari <i>FusionLine</i> , d) Jarak 0,7 mm Dari <i>Fusion Line</i> [11].....	27
Gambar 2.17 Ukuran <i>Grain</i> Terhadap <i>Fusion Line</i> [11].....	28
Gambar 2.18 Grafik Kekerasan Terhadap Garis Fusi [11].....	28
Gambar 3.1 Bagan Sampel Pengelasan CREUSABRO ® 4800	29
Gambar 3.2 Bagan Sampel <i>Hardfacing</i>	30
Gambar 3.3 Diagram Alir Pengelasan CREUSABRO ® 4800.....	31
Gambar 3.4 Diagram Alir Proses <i>Hardfacing</i>	32
Gambar 3.5 Tabel Komposisi Kimia Material Penelitian	33
Gambar 4.1 Diagram Pengelasan Sampel 1 Dimana E 7018 Menjadi <i>Root Weld</i> dan MG DUR 35 Sebagai <i>Weld Cap</i>	36
Gambar 4.2 Persebaran Kekerasan Pada Sampel 1	37
Gambar 4.3 Profil Kekerasan Diukur Secara Vertikal Pada Sampel 1 Dimana E 7018 Menjadi <i>Rootweld</i> dan MG DUR 35 Sebagai <i>Weld Cap</i>	37
Gambar 4.4 Diagram Pengelasan Sampel 2 Dimana MG NOX 35 Sebagai <i>Root Weld</i> Sedangkan E 7018 Menjadi <i>Weld Cap</i>	38
Gambar 4.5 Profil Persebaran Kekerasan Pada Sampel 2.....	38
Gambar 4.6 Profil Kekerasan Diukur Secara Vertikal Pada Sampel 2	39
Gambar 4.7 Diagram Pengelasan Pada Sampel 3 Dimana Digunakan E 7018 Sebagai <i>Root Weld</i> dan MG NOX 35 Sebagai <i>Weld Cap</i> , Sebelum Pengelasan Dilakukan <i>Pre- Heat Treatment</i> 200°C.	40
Gambar 4.8 Profil Persebaran Kekerasan Pada Sampel 3.....	40
Gambar 4.9 Profil Kekerasan Secara Vertikal Pada Sampel 3.....	41

Gambar 4.10 Diagram Pengelasan Sampel 2 Dimana Digunakan <i>Root Weld</i> MG NOX 35 dan E 7018 Sebagai <i>Weld Cap</i> , Pengelasan Dilakukan Dengan <i>Pre-heat Treatment</i> 200°C	42
Gambar 4.11 Persebaran Kekerasan Pada Sampel 4	42
Gambar 4.12 Profil Persebaran Kekerasan Secara Vertikal Sampel 4.....	43
Gambar 4.13 Diagram Urutan Proses <i>Hardfacing</i> Pada Sampel 1 (3-1), Satu Lapisan <i>Buttering</i> Dengan Elektroda ER 309 L Dan Satu Lapisan <i>Hardfacing</i> Dengan Elektroda MG DUR 65	45
Gambar 4.14 Persebaran Kekerasan Pada Sampel 1 (3-1), Satu Lapisan <i>Buttering</i> 309 L Dan Satu Lapisan <i>Hardfacing</i> MG DUR 65	45
Gambar 4.15 Diagram Proses <i>Hardfacing</i> Pada Sampel 2 (3-2), Tiga Lapisan <i>Buttering</i> 309 L dan Satu Lapisan <i>Hardfacing</i> MG DUR 65	46
Gambar 4.16 Persebaran Kekerasan Pada Sampel 2, <i>Buttering</i> 3 lapis dengan elektroda AWS ER 309 L dan Satu Lapisan <i>Hardfacing</i> MG DUR 65.....	46
Gambar 4.17 Diagram Proses <i>Hardfacing</i> Pada Sampel 3 (D-2), Dua Lapisan <i>Buttering</i> dan Satu Lapisan <i>Hardfacing</i>	47
Gambar 4.18 Persebaran Kekerasan Pada Sampel 3, Dengan Elektroda MG DUR 3 Sebanyak Dua Lapis <i>Buttering</i> dan Satu Lapisan <i>Hardfacing</i> MG DUR 65.....	47
Gambar 4.19 Diagram Proses <i>Hardfacing</i> Pada Sampel 3 (D-2), Dua Lapisan <i>Buttering</i> dan Satu Lapisan <i>Hardfacing</i>	48
Gambar 4.20 Profil Kekerasan Vertikal Sampel 4, <i>Buttering</i> Dengan Elektroda M DUR 3 Tiga Lapis dan Satu Lapis Elektroda <i>Hardfacing</i> dengan MG DUR 65	48
Gambar 4.21 Foto Mikro (Dari Kiri Atas Searah Jarum Jam) a) Mikrostruktur Sampel 1 Pada Bagian <i>Root Weld</i> (E 7018), b) <i>Cap Weld</i> (MG DUR 35), c) HAZ Pada <i>Root Weld</i> , d) HAZ Pada <i>Weld Cap</i>	49
Gambar 4.22 Foto Mikro (Dari Kiri Atas Searah Jarum Jam) a) Mikrostruktur Sampel 1 Pada Bagian <i>Root Weld</i> (MG DUR 35), b) <i>Cap Weld</i> (E 7018), c) HAZ Pada <i>Root Weld</i> , d) HAZ Pada <i>Weld Cap</i>	51
Gambar 4.23 Foto Mikro (Dari Kiri Atas Searah Jarum Jam) a) Mikrostruktur Sampel 3 Dengan <i>Pre-heat Treatment</i> 200°C Pada Bagian <i>Root Weld</i> (E 7018), b) <i>Cap Weld</i> (MG DUR 35), c) HAZ Pada <i>Root Weld</i> , d) HAZ pada <i>Weld Cap</i>	51

Gambar 4.24 Foto Mikro (Dari Kiri Atas Searah Jarum Jam) a) Mikrostruktur Sampel 4 Dengan <i>Pre-heat Treatment</i> 200 ⁰ C Pada Bagian <i>Root Weld</i> (MG NOX 35), b) <i>Cap Weld</i> (E 7018), c) HAZ Pada <i>Root Weld</i> , d) HAZ Pada <i>Weld Cap</i>	52
Gambar 4.25 Foto Mikro Logam Induk (Dari Kiri Atas Searah Jarum Jam) a) Logam Induk Tanpa <i>Pre-heat Treatment</i> Dengan Perbesaran 100x, b) Logam Induk Tanpa <i>Pre-heat Treatment</i> Dengan Perbesaran 500x, c) Logam Induk Dengan <i>Pre-heat Treatment</i> Dengan Perbesaran 100x, d) Logam Induk dengan <i>Pre Treatment</i> Dengan Perbesaran 500X.....	53
Gambar 4.26 Foto Mikro HAZ (Dari Kiri Atas Searah Jarum jam) a) HAZ Pada <i>Weld Root</i> Pada Sampel 1, b) HAZ Pada <i>Weld Cap</i> Sampel 2, c) HAZ Pada <i>Weld Cap</i> Sampel 3, d) HAZ Pada <i>Weld Root</i> Sampel 4.....	54
Gambar 4.27 Foto Mikro Sampel 3-1 a) Daerah <i>Buttering</i> 309 Perbesaran 500x, b) Lapisan <i>Hardfacing</i> (gelap) dan <i>Buttering</i> (terang) 100x, c) Lapisan <i>Hardfacing</i> (gelap) dan <i>Buttering</i> (terang) 500x, d) HAZ 100x	55
Gambar 4.28 Foto Mikro Sampel 3-3 a) <i>Interface Buttering</i> 1 dan <i>Buttering</i> 2 100x, b) <i>Interface Buttering</i> 1 dan <i>Buttering</i> 2 500x, c) <i>hardfacing</i> (terang) dan <i>buttering</i> (gelap) 100x, d) <i>hardfacing</i> (terang) dan <i>Buttering</i> (gelap) 500x, e) HAZ 1 100x, f) HAZ 2 100x.....	56
Gambar 4.29 Foto Mikro D-2 a) <i>hardfacing</i> (gelap), <i>butter</i> (terang) 100x, b) <i>hardfacing</i> (gelap), <i>butter</i> (terang) 500x, c) HAZ 100 x , d) HAZ 500x.....	57
Gambar 4.30 Foto Mikro D-3 a) <i>Hardfacing</i> (gelap), <i>Butter</i> (terang) 100x, b) <i>Hardfacing</i> (gelap), <i>Butter</i> (terang) 500x, c) HAZ 100x, d) HAZ 500x	58
Gambar 4.31 Foto Sampel Sebelum Dilakukan Uji Celup Dari Sebelah Kiri Atas Bawah a) Sampel 1 <i>Welding</i> , b) Sampel 2 <i>Welding</i> , c) Sampel 3 <i>Welding</i> , d) Sam ₄ <i>Welding</i> , e) Sampel 3-1 <i>Hardfacing</i> , f) Sampel 3-3 <i>Hardfacing</i>	59
Gambar 4.32 Foto Hasil Uji Celup Sampel 1 (<i>Weld Root</i> ER 7018 dan <i>Weld Cap</i> MG NOX 35.....	61
Gambar 4.33 a) Foto Makro Sebelum Uji Celup Dilakukan, b) Foto Makro Setelah Uji Celup Dilakukan.....	61
Gambar 4.34 Foto Hasil Uji Celup Sampel 2 (<i>Weld Root</i> MG NOX 35 dan <i>Weld Cap</i> ER 7018).....	62
Gambar 4.35 a) Foto Makro Sebelum Uji Celup Dilakukan, b) Foto Makro Setelah Uji Celup Dilakukan Dengan Perbesaran 7X.....	63

Gambar 4.36 Foto SEM Pada MG NOX 35 Menunjukkan Adanya Mikropitting....	64
Gambar 4.37 Foto Hasil Uji Celup Sampel 3 (<i>Weld Root</i> 7018 dan <i>Weld Cap</i> MG NOX 35).....	65
Gambar 4.38 a) Foto Makro Sebelum Uji Celup Dilakukan, b) Foto Makro Setelah Uji Celup Dilakukan Dengan Perbesaran 7X.....	65
Gambar 4.39 Foto Hasil Uji Celup Sampel 4 (Dengan <i>Pre-heat Treatment Weld Root</i> MG NO 35 dan <i>Weld Cap</i> 7018).....	66
Gambar 4.40 a) Foto Makro Sebelum Uji Celup Dilakukan, b) Foto Makro Setelah Uji Celup Dilakukan Dengan Perbesaran 7X.....	67
Gambar 4.41 Foto Hasil Uji Celup Sampel <i>hardfacing</i> 3-1 (Satu Lapis <i>Buttering</i> Dengan Elektrode ER 309 L dan Satu Lapisan <i>Hardfacing</i>).....	68
Gambar 4.42 a) Foto Makro Sebelum Uji Celup Dilakukan, b) Foto Makro Setelah Uji Celup Dilakukan Dengan Perbesaran 7X.....	68
Gambar 4.43 Foto Hasil Uji Celup Sampel <i>hardfacing</i> 3-3 (3 lapis <i>buttering</i> dengan elektrode ER 309 L dan satu lapisan <i>hardfacing</i>).....	69
Gambar 4.44 a) Foto Makro Sebelum Uji Celup Dilakukan, b) Foto Makro Setelah Uji Celup Dilakukan Dengan Perbesaran 7X.....	69
Gambar 4.45 SEM Pada Lapisan <i>Buttering</i> ER 309 L Menunjukkan Adanya Mikro <i>pitting</i>	70
Gambar 4.46 HAZ antara logam induk dengan <i>weld root</i> (7018) a,b,c,d) Matriks pada HAZ, e) <i>Hard Presipitat</i> karbida Ti, f) Spektrum pada <i>Hard Presipitat</i> di H	72
Gambar 4.47 HAZ Antara Logam Induk Dengan <i>Weld Cap</i> (MG NOX 35) Dimana Ditemukan Karbida Krom.....	72
Gambar 4.48 HAZ Antara Logam Induk Dengan <i>Weld Root</i> (MG NOX 35) Tanpa Adanya Perlakuan <i>Pre-heat Treatment</i>	73
Gambar 4.49 HAZ Antara Logam Induk Dengan <i>Weld Cap</i> (7018) Tanpa Adanya Perlakuan <i>Pre-heat Treatment</i>	74
Gambar 4.50 <i>Interface</i> Antara <i>Weld Root</i> Dengan <i>Weld Cap</i> Pada Sampel 2	75

Gambar 4.51 HAZ Antara Logam Induk Dengan <i>Weld Root</i> (7018) Dengan Perlakuan <i>Pre-heat Treatment</i>	76
Gambar 4.52 HAZ Antara Logam Induk Dengan <i>Weld Cap</i> (MG NOX 35) Dengan Perlakuan <i>Pre-heat Treatment</i>	77
Gambar 4.53 HAZ Antara Logam Induk Dengan <i>Weld Root</i> (MG NOX 35) dengan perlakuan <i>pre-heat Treatment</i>	78
Gambar 4.54 HAZ Antara Logam Induk Dengan <i>Weld Cap</i> (7018) Dengan Perlakuan <i>Pre-heat Treatment</i>	79
Gambar 4.55 <i>Interface</i> antara <i>weld cap</i> dengan <i>weld root</i> dengan perlakuan <i>pre heat treatment</i>	80
Gambar 4.56 HAZ Pada <i>Hardfacing</i> Sampel 1 (3-1).....	81
Gambar 4.57 <i>Hardfacing</i> Pada sampel 2 (3-3) a&b) HAZ Dekat Dengan Logam Indukdan Spektrum Komposisi Kimia Pada Lapisan <i>Buttering</i> , c) HAZ Dekat Dengan Lapisan <i>Buttering</i>	82
Gambar 4.58 <i>Interface</i> Lapisan <i>Buttering</i> dan Logam Induk Pada Sampel 3 (D-2) ...	83
Gambar 4.59 SEM Pada Lapisan <i>Hardfacing</i> Sampel 3 (D-2)	84
Gambar 4.60 <i>Interface</i> Antara <i>Hardfacing</i> dan Lapisan <i>Buttering</i> Pada Sampel 3 (D-2) a dan b) Daerah Lapisan <i>Hardfacing</i> , c dan d) Daerah Lapisan <i>Buttering</i>	85
Gambar 4.61 HAZ Pada SPampel 4 (D-3) a dan b) Presipitasi Karbida Titanium, c dan d).....	86

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Carbon Equivalen	4
Tabel 2.2 Penentuan temperatur <i>preheating</i> berdasarkan ketebalan dan jenis pelat	5
Tabel 2.3 Pemotongan Pada CREUSABRO ® 4800 [13]	16
Tabel 2.4 Pemilihan Elektroda Pengelasan [13].....	16
Tabel 2.5 Komposisi hasil lasan berdasarkan posisinya dari sambungan las [3].....	18
Tabel 2.6 Komposisi paduan <i>Hardfacing</i> Fe-Base [7].....	20
Tabel 2.7 <i>hard phase</i> (HP) pada paduan <i>hardfacing</i> FE-Based [7]	21
Tabel 2.8 komposisi material base metal, filler dan <i>hardfacing</i> yang digunakan [6]22	
Tabel 2.9 Komposisi substrat dan kawat <i>hardfacing</i> yang digunakan [6]	24
Tabel 3.1 <i>Mechanical Properties</i> Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO ® 4800	33
Tabel 3.2 Sifat Mekanis MG NOX 35.....	33
Tabel 3.3 Sifat Mekanis Elektroda E-7018	34
Tabel 4.1 Hasil pengukuran horizontal kekerasan hasil lasan multilayer (dalam VH)35	
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Kekerasan Secara Vertikal (dalam VH).....	36
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Kekerasan Sampel <i>Hardfacing</i>	44
Tabel 4.4 Tabel Luas Permukaan dan Volume Larutan FeCl ₃ yang dibutuhkan	60

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Melihat adanya keterbatasan akan pasokan listrik di seluruh Indonesia, PT. PLN (Persero) sebagai salah satu perusahaan yang bergerak dibidang kelisrikan mencanangkan adanya perbaikan kondisi dengan mengadakan permbangunan pembangkit 10.000 MW. Tahap pertama pembangunan pembangkit dipusatkan pada pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara terutama batubara berkalori rendah (*low rank coal*).Terkait dengan adanya proyek-proyek tersebut, keberadaan alat-alat berat sebagai alat operasional proyek merupakan salah satu faktor yang cukup penting.

Untuk menunjang umur pakai dari alat berat, faktor material yang digunakan menjadi hal yang diutamakan. Penggunaan baja tahan aus (*wear resistance steel*) menjadi kuncinya. Salah satu jenis baja tahan aus yang biasa digunakan dalam industri alat berat adalah CREUSABRO ®. Baja tahan aus (*wear resistance steel*)termasuk kategori baja paduan rendah dengan kekuatan tinggi (*high strength low alloy steel-HSLA*). Keuntungan utama dari baja ini adalah kombinasi yang baik antara sifat kekuatan, kekerasan dan ketangguhan yang tinggi.

Tingginya kekerasan pada baja jenis ini memicu terjadinya *cold cracking* pada saat pengaplikasiannya dilapangan. Permasalahan ini menyebabkan turunnya nilai sifat mekanis dan menimbulkan terjadinya *crack*. Dengan adanya hal tersebut maka umur pakai dari material menjadi lebih pendek dari waktu yang diharapkan (*design life time*).Seringkali dalam proses *hardfacing* pada HSLA ditemukan adanya *crack*. Untuk mencegah hal tersebut dilakukan perlakuan panas berupa *pre-heat treatment*.

Dengan adanya dua macam pelapisan yang terjadi maka akan terjadi perbedaan komposisi di daerah sekitar lasan. Ditambah lagi dengan adanya siklus termal yang terjadi selama proses pengelasan berpotensi menginisiasi terjadinya korosi pada daerah tersebut. Siklus pemanasan dan pendinginan selama terjadinya proses pengelasan mempengaruhi mikrostruktur dan komposisi permukaan dari lasan logam induk yang bersebelahan. Dengan adanya perubahan mikrostruktur ini maka ketahanan korosi pada sambungan las akan menjadi lebih rendah daripada logam induk [1].

1.2 Perumusan Masalah

Pada penelitian ini akan dilakukan dua macam proses yaitu :

- A. Proses pengelasan multilayer dengan menggunakan metode pengelasan SMAW dimana baja paduan rendah CREUSABRO® 4800 di las dengan menggunakan dua macam elektroda pengisi yang berbeda. Pengelasan dilakukan berlapis dalam enam lapisan dimana tiga lapisan pertama merupakan *root weld* kemudian dilanjutkan dengan tiga lapisan dengan menggunakan elektroda yang berbeda. Parameter yang dibedakan lainnya adalah ada tidaknya *pre-heat treatment*.
- B. Proses *hardfacing* dengan metode SMAW dengan menggunakan baja paduan rendah CREUSABRO® 4800. Sebelum dilakukan *hardfacing* dilakukan proses *buttering* pada spesimen mulai dari satu layer hingga tiga layer. Digunakan dua macam elektroda *buttering* yang berbeda dengan komposisi kimia yang berbeda. Yaitu MG DUR 3 dan ER 309 L.

Dari ke delapan sampel yang dibuat enam sampel yang mengandung elektroda stainless steel maupun dengan kandungan krom cukup tinggi di uji korosi sumuran berdasarkan ASTM G 48

Penelitian kemudian dilanjutkan dengan mengkarakterisasi hasil eksperimen dengan pemeriksaan visual, pengujian kekerasan, pengamatan foto makro, dan pengujian metalografi serta SEM untuk mengetahui struktur mikro, persebaran karbida serta morfologi hasil tes korosi yang dilakukan pada specimen.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengamati pengaruh *pre-heat treatments* serta elektroda yang berbeda terhadap terhadap sifat mekanis (kekerasan dan ketangguhan) pada hasil lasan baja CREUSABRO® 4800
- b. Mengamati pengaruh banyaknya lapisan *buttering* serta penggunaan elektroda *buttering* yang berbeda terhadap kekerasan dan ketahanan korosi dari hasil *hardfacing*
- c. Mempelajari migrasi serta persebaran karbida pada base metal, HAZ dan *weld metal* pada hasil lasan dan *hardfacing* CREUSABRO® 4800
- d. Mempelajari morfologi dari hasil korosi terutama korosi sumuran pada hasil lasan dan logam induk pada lasan dan *hardfacing* baja CREUSABRO® 4800
- e. Mempelajari bentuk-bentuk korosi yang terjadi pada hasil lasan dan *hardfacing* setelah di tes *immersion*

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Pustaka dan Hipotesis

Carbon equivalent merupakan bilangan untuk menunjukkan hubungan antara komposisi paduan dengan kekerasan dari baja yang akan dilas. CE merupakan bilangan yang dapat menggambarkan kemampuan dari sebuah paduan. Beberapa unsur yang mempengaruhi kemampuan dari baja antara lain meliputi karbon, mangan, krom, silicon. *Molybdenum*, *vanadium*, tembaga dan nikel. Semakin tinggi nilai CE maka kemampuan dari paduan akan semakin rendah.

Berdasarkan AWS, paduan dengan nilai CE diatas 0,4% memiliki potensi untuk mengalami retak pada bagian *Heat Affected Zone* pada saat pemotongan maupun pada saat dilas. Pada baja paduan rendah nilai CE yang lebih tinggi daripada 0,5% berpotensi mengalami kegagalan karena getas.

Nilai dari CE dihitung dengan formula berikut:

$$CE = \%C + \left(\frac{\%Mn + \%Si}{6}\right) + \left(\frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5}\right) + \left(\frac{\%Cu + \%Ni}{15}\right) \quad (2.1)$$

Tabel 2.1 Carbon Equivalen

Carbon Equivalent CE	Weldability
sampai dengan 0,35	Excellent
0,36-0,4	Very Good
0,41-0,45	Good
0,46-0,5	Fair
didas 0,5	Poor

Adanya kemungkinan retak pada saat pengelasan dapat ditentukan dengan formula :

work from Ito and Bessyo

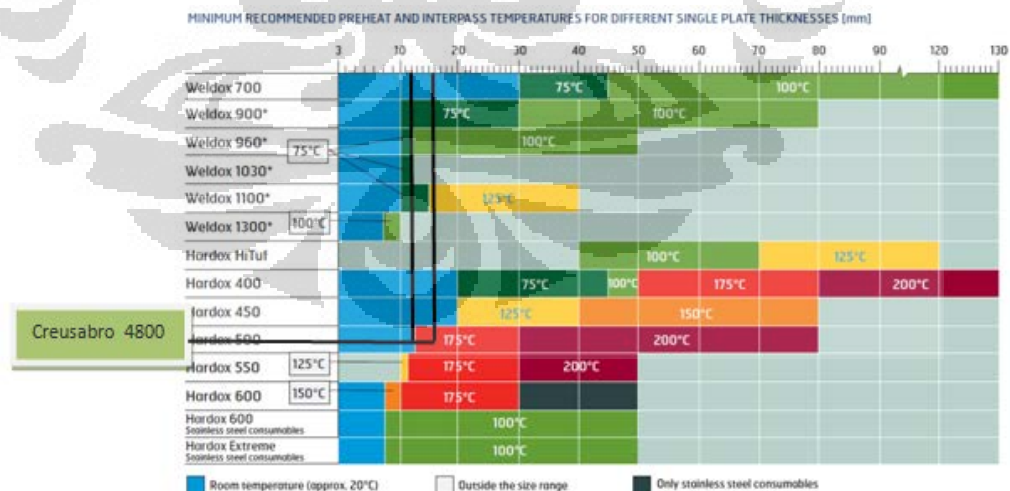
$$P_{cm} = \%C + \left(\frac{\%Mn + \%Cu + \%Cr}{20} \right) + \frac{\%Ni}{60} + \frac{\%Mo}{15} + \frac{\%V}{10} + 5B \quad (2.2)$$

Nilai CE menunjukkan kecenderungan lasan untuk membentuk struktur martensit keras yang cenderung getas. Jika nilai CE antara 0,4 sampai dengan 0,6 maka diperlukan adanya *Pretreatment*. Sedangkan jika nilai CE diatas 0,6 maka *preheat* dan *postweld* diperlukan

2.2 Pre-heat Treatment

Pre-heat Treatment disarankan dilakukan pada pengelasan pelat baja yang cukup tebal dan memiliki *Carbon Equivalent (CE)* tinggi. *Pre-heat* dilakukan sebelum proses pengelasan dilakukan. Caranya adalah dengan cara memanaskan kampuh las (*base metal*) pada temperatur tertentu. Tujuan dilakukan *pre-heat* adalah untuk menurunkan laju pendinginan logam pengisi (*filler metal*) ketika mengisi kampuh las (*weld pool*).

Tabel 2.2 Penentuan temperatur *preheating* berdasarkan ketebalan dan jenis pelat



Dari tabel tersebut temperatur *preheating* untuk jenis pelat CREUSABRO® 4800 dengan ketebalan 12 mm dan 16 mm adalah 200 °C.

2.3 *Hardfacing*

Hardfacing atau *hardsurfacing* merupakan metode murah dengan cara melapisi komponen logam dengan material yang tahan aus [2]. Biasanya digunakan juga untuk mengembalikan permukaan peralatan yang aus sehingga dapat berfungsi kembali, namun juga dapat digunakan pada komponen atau peralatan baru sebelum digunakan. Beberapa keuntungan dari *hardfacing* adalah sebagai berikut:

- a. Hanya memerlukan penggantian komponen yang sedikit
- b. Lebih efisien dengan mengurangi *downtime*
- c. Hanya menggunakan sedikit material mahal sehingga lebih ekonomis
- d. Secara umum faktor biaya dapat dikurangi

Dalam proses perbaikan komponen yang mengalami keausan terdapat beberapa langkah antara lain adalah:

- a. *Buttering* → deposit yang melarutkan karbon dan unsur-unsur paduan lainnya dari logam induk (substrat)
- b. *Build up* → daerah yang mengalami keausan serius harus diperbaiki dengan menggunakan material yang anti retak serta tangguh yang digunakan sebagai material las
- c. *Hardfacing* → material logam anti aus yang di depositkan pada permukaan logam induk ataupun permukaan material *build up* untuk memperpanjang umur pakai dari material. Biasanya *hardfacing* hanya terbatas satu sampai tiga

2.4 Pemilihan Elektroda

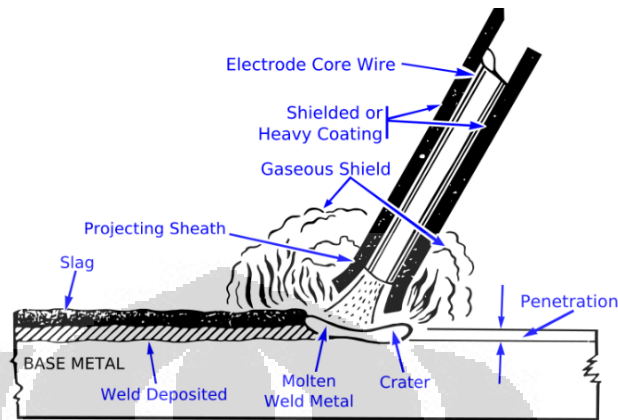
Pemilihan material elektroda dipengaruhi oleh tiga faktor berikut antara lain adalah :

- a. *Logam induk* → pemilihan logam induk mempengaruhi secara umum pemilihan *build-up* material. Baja dengan kandungan mangan yang dominan biasanya digunakan pada pengaplikasian dengan beban impak tinggi, maka digunakan deposit yang mengandung mangan juga, sedangkan untuk material logam induk karbon dan baja paduan menggunakan weld metal *low alloy steel* juga
- b. Tipe dari keausan → menentukan pemilihan permukaan akhir dari hasil *hardfacing* serta pengaplikasiannya dilapangan misalkan untuk aplikasi logam dengan logam, lingkungan yang abrasif, pengaplikasian yang menyebabkan impak tinggi, hingga tahan terhadap korosi
- c. Metode *arc welding* yang dipakai → pemilihan dari jenis *arc welding* yang dipakai ditentukan oleh ukuran, banyaknya peralatan, posisi pengelasan dan lain-lain

2.5 *Buttering*

Merupakan salah satu cara untuk mengatasi retak pada hasil *hardfacing*. Ketika dilakukan *hardfacing* pada material memiliki kekerasan yang tinggi maka kemungkinan terjadinya retak sangat besar. Hasil *hardfacing* menyebabkan adanya pertemuan dua fasa yang sama-sama keras. Oleh karena itu pemberian *buttering* berfungsi sebagai pemisah (*buffer*) dua fasa keras tersebut sehingga retak yang mungkin terjadi dapat dihindari.

2.6 SMAW (Shield Metal Arc Welding)



Gambar 2.1 Pengelasan Dengan Metode *Shield Metal Arc Welding* [1]

SMAW merupakan salah satu pengelasan manual yang menggunakan elektroda yang dilapisi *flux*. Arus listrik baik dalam bentuk arus searah (DC) ataupun bolak balik (AC) digunakan untuk membentuk busur listrik diantara elektroda dan logam yang ingin disambung. Pada saat proses pengelasan berlangsung *flux* yang melindungi elektroda akan terbakar dan membentuk gas pelindung. Karena kepraktisannya, metode ini banyak digunakan dalam konstruksi struktur-struktur baja dan fabrikasi industrial.

2.7 Korosi Pada Lasan

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi adanya korosi pada sambungan las antara lain adalah [1]:

- Desain dari lasan
- Teknik fabrikasi
- Teknik pengelasan
- Urutan pengelasan
- Kontaminasi dari kelembapan
- Adanya unsur-unsur kimia organik dan non organik pada sambungan
- Adanya lapisan oksida logam ataupun kerak

- h. *Weld slag* dan *spatter*
- i. Penetrasi atau fusi lasan yang tidak sempurna
- j. Porositas
- k. Retakkan
- l. Tingginya tegangan sisa
- m. Pemilihan material pengisi yang tidak tepat
- n. Hasil akhir permukaan lasan

Faktor-faktor metalurgi antara lain disebabkan adanya siklus pemanasan dan pendinginan selama terjadinya proses pengelasan mempengaruhi mikrostruktur dan komposisi permukaan dari lasandan logam induk yang bersebelahan. Dengan adanya perubahan mikrostruktur ini maka ketahanan korosi pada sambungan las akan menjadi lebih rendah daripada logam induk. Beberapa penyebabnya antara lain adalah :

- a. Terjadinya mikrosegregasi
- b. Adanya presipitasi dari fase sekunder
- c. Terjadinya atau terbentuknya daerah tidak tercampur (*unmixed zones*)
- d. Rekristalisasi dan pertumbuhan butir pada daerah *Heat Affected Zone (HAZ)*
- e. Penguapan beberapa elemen paduan
- f. Kontaminasi yang terjadi saat *weld pool* mulai membeku.

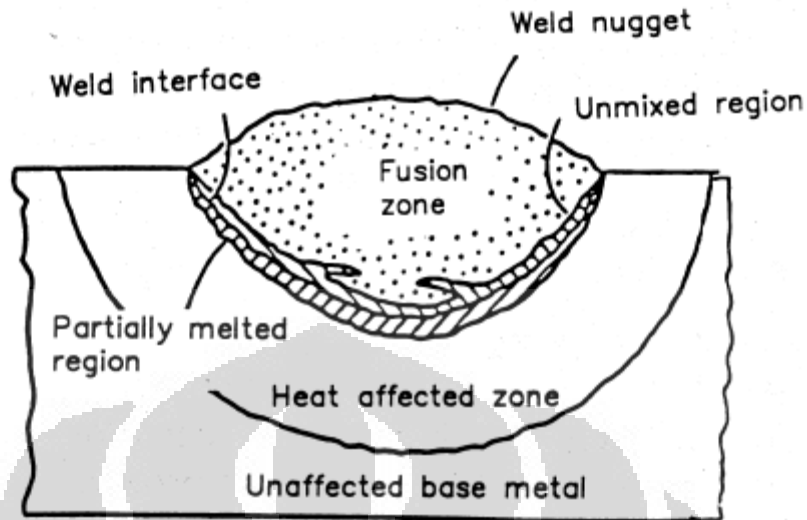
Ketahanan terhadap korosi dapat dikendalikan dengan menjaga komposisi paduan untuk mencegah terjadinya reaksi presipitasi dari lingkungan luar selama proses pengelasan. Hal ini terjadi karena adanya kontaminasi berupa gas atau zat yang masuk ke dalam gas pelindung selama proses pengelasan terjadi. Dengan menghilangkan oksida krom ataupun logam induk yang mengalami *chromium depleted* yang mengalami perubahan warna dengan menggunakan *filler* yang tepat [1]. Terdapat beberapa kriteria pada saat pemilihan *filler* las, antara lain adalah:

- a. Kemudahan dalam proses pengelasan
- b. *Tensile* dan *shear strength* dari las
- c. Keuletan dari filler

- d. Temperatur pemakaian
- e. Ketahanan terhadap korosi
- f. Kecocokan warna antara *filler* dengan logam induk

Secara umum, jika dilihat dari mikrostrukturnya, maka daerah hasil lasan akan dibedakan menjadi 5 bagian [1] yaitu:

- a. *Fusion zone* → adalah hasil lelehan yang menyatu dengan logam induk dan filler sehingga menghasilkan daerah dengan komposisi yang berbeda dengan logam induk. Perbedaan komposisi ini rentan menyebabkan terjadinya *galvanic corrosion* secara makroskopik. Pada zona fusi memungkinkan terjadinya segregasi secara mikrostruktural. Pada daerah fusi terdapat suatu daerah tipis berdekatan dengan garis fusi yang disebut sebagai *unmixed region*, dimana logam dasar meleleh kemudian dengan cepat membeku dan membentuk bekuan dengan komposisi yang sama dengan logam induk.
- b. *Heat Affected Zone (HAZ)* → dimana pada daerah ini mengalami temperatur cukup tinggi untuk menyebabkan terjadinya perubahan mikrostruktur pada larutan padat namun pada temperatur ini tidak cukup tinggi untuk menyebabkan terjadinya pelelehan. Setiap posisi pada HAZ relatif terhadap garis fusi memiliki mikrostruktural yang berbeda-beda sehingga memiliki ketahanan terhadap korosi yang berbeda-beda pula. Pada daerah meleleh sebagian (*partially melted region*) biasanya satu sampai dua butir di dalam HAZ. Di daerah ini sering ditemukan adanya retakan yang berpotensi menyebabkan terjadinya *cracking* yang disebabkan inklusi hidrogen pada daerah *under bead*.
- c. *Unaffected logam induk* → daerah ini tidak mengalami terjadinya perubahan secara metalurgi namun jika ditinjau posisinya dalam sambungan maka daerah ini mengalami terjadinya tegangan sisa transversal dan longitudinal.



Gambar 2.2. Morfologi Sambungan Las [1]

2.7.1 Korosi Sumuran (*Pitting Corrosion*) Pada Daerah Lasan

Merupakan salah satu bentuk korosi lokal yang disebabkan karena rusaknya lapisan tipis pasif yang melindungi material (terutama untuk *stainless steel*). *Pits* atau sumuran disebabkan karena adanya konsentrasi sel yang disebabkan karena adanya variasi komposisi yang bersentuhan dengan material paduan [1].

Penggunaan material dengan karbon rendah membantu mencegah terjadinya sensitisasi, sedangkan penambahan nitrogen akan memperlambat kinetika presipitasi pergerakan krom dan *molybdenum* selama proses pengelasan berlanjut.

Pada penggunaan *stainless steel*, dikenal istilah PREN sebagai ukuran pengukuran ketahanan terhadap korosi sumuran. Beberapa komposisi seperti kromium, *molybdenum*, dan nitrogen dimasukkan kedalam perhitungan. Formula umum yang biasa digunakan adalah sebagai berikut :

$$\text{PREN} = \% \text{Cr} + 3.3(\% \text{Mo}) + 16(\% \text{N}) \quad (2.3)$$

Angka PREN yang semakin tinggi menunjukkan ketahanan yang semakin tinggi pula. Misalkan pada *stainless steel austenitic* 304 memiliki nilai PREN sekitar 18-21 sedangkan untuk *hastealloy* nilai PREN mencapai 64.

Material lasan memiliki kecenderungan untuk mengalami serangan lokal seperti korosi sumuran yang disebabkan adanya *microsegregation* pada struktur dendritik. Kemungkinan terbesar terjadinya *pitting* adalah pada daerah *unmixed zone*. Dengan adanya proses *pre-heat* diharapkan terbentuknya daerah ini dapat diperkecil sehingga dapat menambah ketahanan hasil lasan terhadap adanya korosi sumuran.

Retak pada hasil lasan dapat dicegah dengan adanya penambahan unsur Si (silikon) pada logam. Hampir semua *stainless steel* memiliki kandungan silikon. Silikon ditambahkan sebagai elemen paduan karena berfungsi untuk menarik oksigen selama proses manufaktur dilakukan. Silikon dalam jumlah sedikit dapat mengurangi kecepatan oksidasi pada temperatur tinggi pada *wrought stainless steel* baik pada austenitik maupun *ferritic*. Perlindungan silikon terhadap *stainless steel* dijelaskan dengan adanya pembentukan *interface* silika antara lapisan eksternal krom dan logam induk yang berfungsi sebagai penghalang terjadinya difusi transpor kation. Sehingga dengan keberadaan silikon pada paduan maka aliran atom metalik akan berkurang.

Namun demikian efek silikon pada temperatur tinggi tidak selalu menguntungkan beberapa pengamatan menunjukkan bahwa dengan adanya kandungan silikon maka akan mempercepat terjadinya *scaling* pada tes *cyclic*. Hal ini dijelaskan karena terbentuknya presipitat silika internal yang menghentikan adanya pergerakan *vacancy* yang menyebabkan terjadinya *microcavity*.

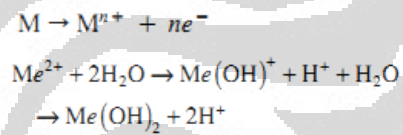
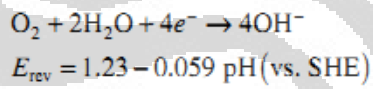
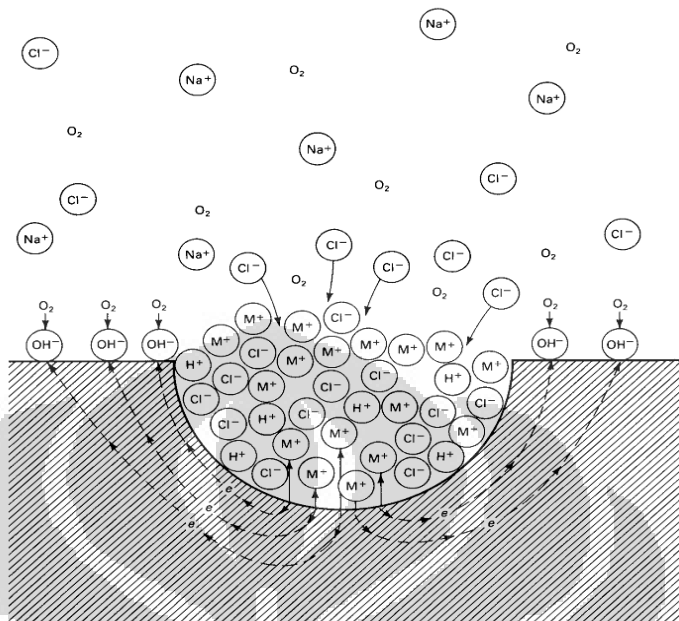
Kandungan Si pada *stainless steel* juga mempengaruhi perubahan struktur mikro pada temperatur tinggi. Si membantu untuk menstabilisasi dan menghaluskan partikel pada *stainless steel* yang mengandung Nb sehingga meningkatkan ketahanan terhadap *creep*.

Efek dari penambahan silikon pada *stainless steel* mengurangi adanya korosi lokal. *Ferritic stainless steel* menunjukkan sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan austenitik terutama pada penambahan berkisar 0.5 % sampai

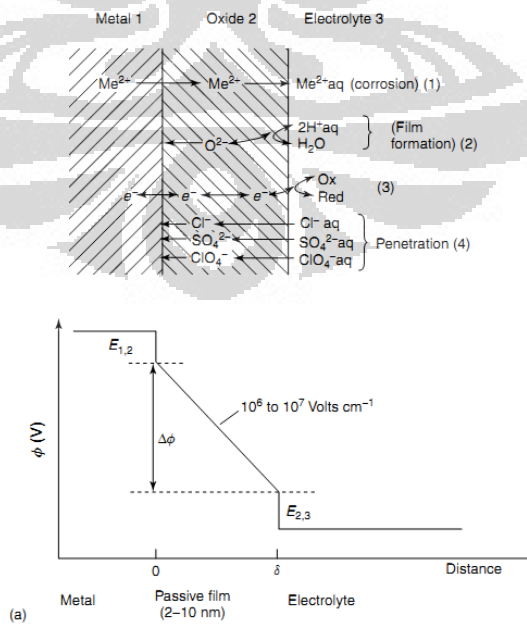
dengan 1.5 % namun pada kadar yang lebih tinggi menunjukkan adanya efek yang berkebalikan (diatas 4%).

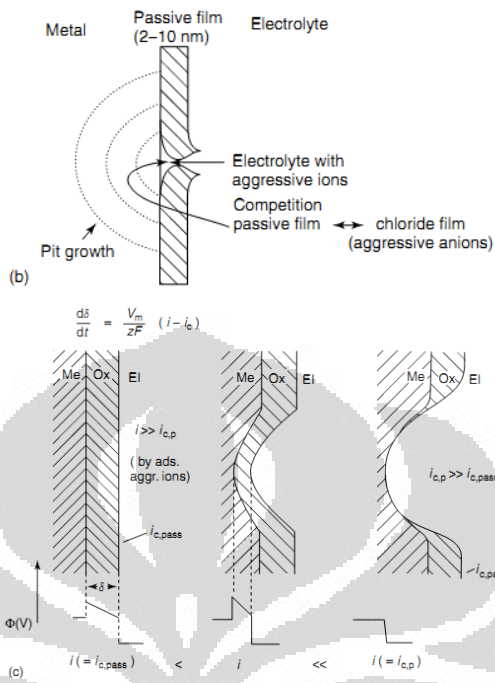
Korosi sumuran merupakan salah satu korosi lokal yang pada umumnya dimulai dengan pecahnya lapisan pasif pada permukaan logam. Pecah atau rusaknya lapisan pasif dapat disebabkan oleh faktor-faktor mekanik, fisik, metalurgi, kimia maupun elektrokimia. Secara elektrokimia, ada dua teori yang menjelaskan fenomena pecahnya lapisan pasif yaitu teori penyerapan ion khlor melalui lapisan *monolayer* oksigen yang ada pada permukaan logam. Menurut teori ini yang dijelaskan pada gambar 2.3, meskipun oksigen memiliki afinitas kimia lebih tinggi terhadap logam dibandingkan ion khlor, namun dengan kehadiran ion khlor akan menaikkan beda potensial lapisan pasif sehingga lapisan *monolayer* oksigen akan rusak dan digantikan oleh lapisan ion klor yang memicu terjadinya pelarutan logam secara anodik. Yang berikutnya adalah teori dengan pendekatan termodinamik yakni terdapat beda potensial kritis untuk memulai terjadinya *pitting* dan menjaga *piting* dapat terus berlangsung, dimana beda potensial yang terjadi tergantung dari konsentrasi ion khlor.

Gambar 2.4 menunjukkan pecahnya lapisan pasif, reaksi elektrokimia mulai terjadi dengan adanya sel-sel anodik di daerah pecahnya lapisan pasif dan sel katodik di daerah lapisan pasif. Rasio luasan daerah katodik dan anodik yang besar, kehadiran ion khlor dalam sumuran dengan reaksi bersifat autokatalik dan potensial yang sangat rendah di ujung sumuran, menyebabkan pelarutan pada daerah anodik dapat berlangsung secara terus-menerus.



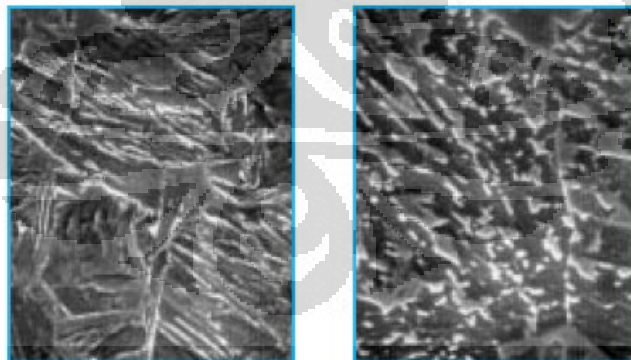
Gambar 2.3 Mekanisme terjadinya korosi sumuran





Gambar 2.4 Mekanisme Pecahnya Lapisan Pasif dan Pembentukan Sumuran, a) Mekanisme Penetrasi Ion Agresif, b) Pecahnya Lapisan Film Pasif, c) Penyerapan Ion Agresif dan Pelarutan Ion ke Dalam Elektrolit

2.8 Mikrostruktur



400 HB Water quenched
Microstructure

CR® 4800^(P) Microstructure

Gambar 2.5 Mikrostruktur dari CREUSABRO® 4800 VS 400 HB HSLA [13]

Gambar 2.5 menunjukkan bahwa struktur mikro dari CREUSABRO® 4800 di dominasi oleh *bainite/martensite* + *retained austenite* dan karbida mikro. Pada saat

terjadi transformasi maka *retained austenite* akan berubah menjadi *fresh martensite*. Dengan adanya struktur karbida mikro dan karbida titanium yang tersebar merata, maka akan didapatkan ketahanan aus yang lebih tinggi. Pada material ini di *reinforced* dengan krom dan molibdenum yang membentuk karbida krom dan molibdenum (kekerasan mencapai 1500 s.d 1800 HV) dan juga karbida titanium dengan kekerasan 3200 HV.

Pemotongan dengan menggunakan gas atau plasma laser dapat digunakan, namun demikian untuk pemotongan sampai dengan ketebalan tertentu membutuhkan perlakuan khusus untuk mencegah terjadinya retak dingin (*cold crack*) dengan ketentuan sebagai berikut:

Tabel 2.3 Pemotongan Pada CREUSABRO ® 4800 [13]

Plate temperature	Thicknesses ≤ 60 mm	Thicknesses > 60mm
≥ 10°C	No preheating	Preheating: 150°C
< 10°C	All thicknesses: Preheating 150°C	

Jika dilihat dari tabel 2.3, karena ketebalan baja yang digunakan hanya 12 sampai dengan 16 mm dan temperatur dari pelat sendiri dianggap sama dengan temperatur ambien maka tidak diperlukan *pre-heating* untuk melakukan pemotongan.

Untuk pemilihan elektrode pengelasan dijelaskan pada table 2.4 dibawah ini

Tabel 2.4 Pemilihan

Processes	AWS
Manual Coated electrode	AWS 5-1 Class E7016 or 7018
Semi-automatic Under gas	AWS A-5-18 Class ER70S4 or ER 70S6
	AWS-5-20 Class ER 71T5

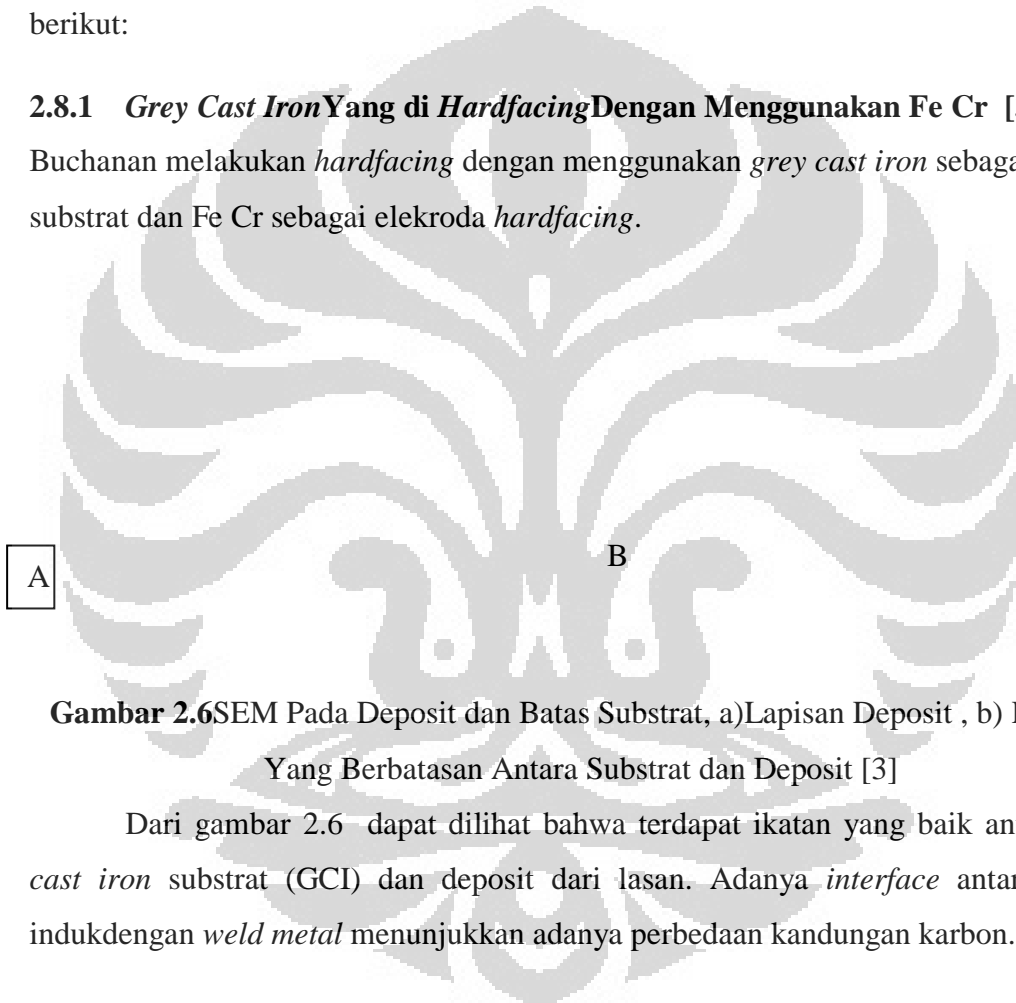
Elektroda Pengelasan [13]

Mikrostruktur dari proses pengelasan sangat bergantung pada jenis elektroda yang digunakan. selain itu berbagai parameter pengelasan seperti arus, voltase, panjang busur, kecepatan pengelasan, jumlah lapisan pengelasan dan temperatur *pre-heat* yang digunakan juga mempengaruhi bentuk-bentuk dari mikrostruktur.

Beberapa studi mengenai mikrostruktur pada aplikasi *hardfacing* yang disertai *buttering* dan pengelasan dengan menggunakan logam induk HSLA adalah sebagai berikut:

2.8.1 *Grey Cast Iron* Yang di *Hardfacing* Dengan Menggunakan Fe Cr [3]

Buchanan melakukan *hardfacing* dengan menggunakan *grey cast iron* sebagai substrat dan Fe Cr sebagai elektroda *hardfacing*.



Gambar 2.6 SEM Pada Deposit dan Batas Substrat, a) Lapisan Deposit, b) Lapisan Yang Berbatasan Antara Substrat dan Deposit [3]

Dari gambar 2.6 dapat dilihat bahwa terdapat ikatan yang baik antara *grey cast iron* substrat (GCI) dan deposit dari lasan. Adanya *interface* antara logam induk dengan *weld metal* menunjukkan adanya perbedaan kandungan karbon.

Gambar 2.7 Lapisan kedua lasan ,a) lapisan pertama lasan,b) yang berbatasan dengan grey cast iron [3]

Detail dari mikrostruktur digambarkan dalam gambar 2.7 dimana deposit menunjukkan adanya karbida M7C3 (warna terang) dalam matrik austenit. Karbida primer muncul dalam dua bentuk yaitu *hexagonal platelet* dan bentuk *long spine* yang mengindikasikan bahwa karbida dalam bentuk batangan.

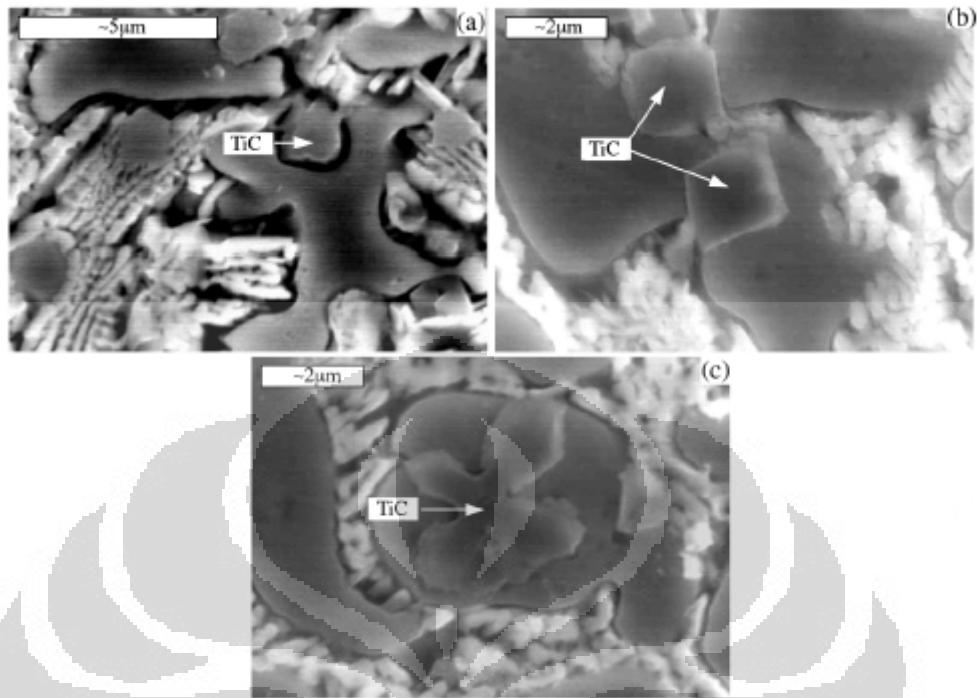
Tabel 2.5 Komposisi hasil lasan berdasarkan posisinya dari sambungan las[3]

Position from weld joint (mm)	A80			S80		
	1.5	3.0	5.0	1.5	3.0	5.0
C	5.4	5.6	6.1	4.9	5.0	5.8
Si	1.0	0.9	0.8	1.2	1.0	0.9
Cr	24.3	30.4	37.4	16.5	24.0	30.7
Mn	0.9	0.8	0.6	1.4	1.5	1.6
Fe	68.4	62.3	55.1	76.0	68.5	61.0

Tabel 2.5 menunjukkan komposisi lasan yang memperlihatkan adanya variasi diantara deposit, baik krom dan karbon meningkat sebanding dengan jarak terhadap substrat. Kandungan karbida tertinggi berada pada bagian atas/ lapisan paling atas.

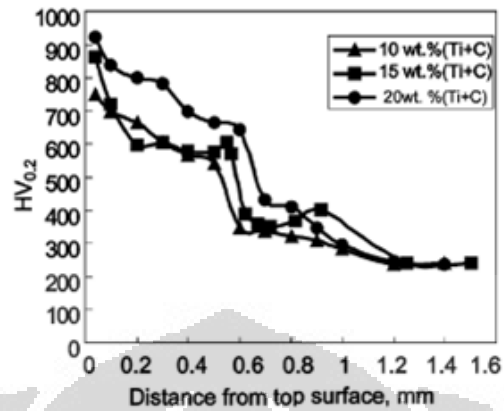
2.8.2 Substrat Paduan Nickel Dengan Lapisan TiC [4]

Kirscgassner menggunakan laser untuk menghasilkan deposit pada permukaan baja karbon, mikrostruktur dari deposit tersebut ditunjukkan pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Mikrostruktur Dari TiC Pada Berbagai Posisi Pelapisan *Laser Cladding*,
 a) *Globular*, b) *Cluster*, c) *Flower Shaped* [4]

Pada penelitian ini digunakan baja karbon sebagai substrat kemudian menggunakan *nickel based alloy* dengan partikel TiC sebagai material *cladding*. Mikrostruktur dari lapisan secara umum terdiri dari gamma-Ni dedrit, M23C6, sedikit CrB dan partikel TiC yang tersebar. Bentuk dari partikel TiC beraneka ragam dari menggumpal, berkelompok hingga menyerupai bunga (*flower-like shaped*). Jika ditinjau dari kekerasan maka kekerasan semakin tinggi sebanding dengan jarak terhadap *base metal*. Hal ini dapat dijelaskan dengan semakin tingginya kandungan TiC pada permukaan hasil lasan yang ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Distribusi Mikrohardness Dalam Lapisan [4]

2.8.3 Menggunakan *Mild Steel Alloy* Sebagai Substrat

Buchely menggunakan *mild steel alloy* sebagai substrat kemudian *hardfacing* dilakukan dengan menggunakan Gas *Metal Arc Welding* dengan menggunakan deposit dengan kandungan material yang berbeda-beda. Proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan gas pelindung Ar + 2.5% CO₂ dan *temperature interpass* 150 – 200° C [7].

Tabel 2.6 menunjukkan komposisi paduan-paduan yang digunakan sebagai deposit *hardfacing*.

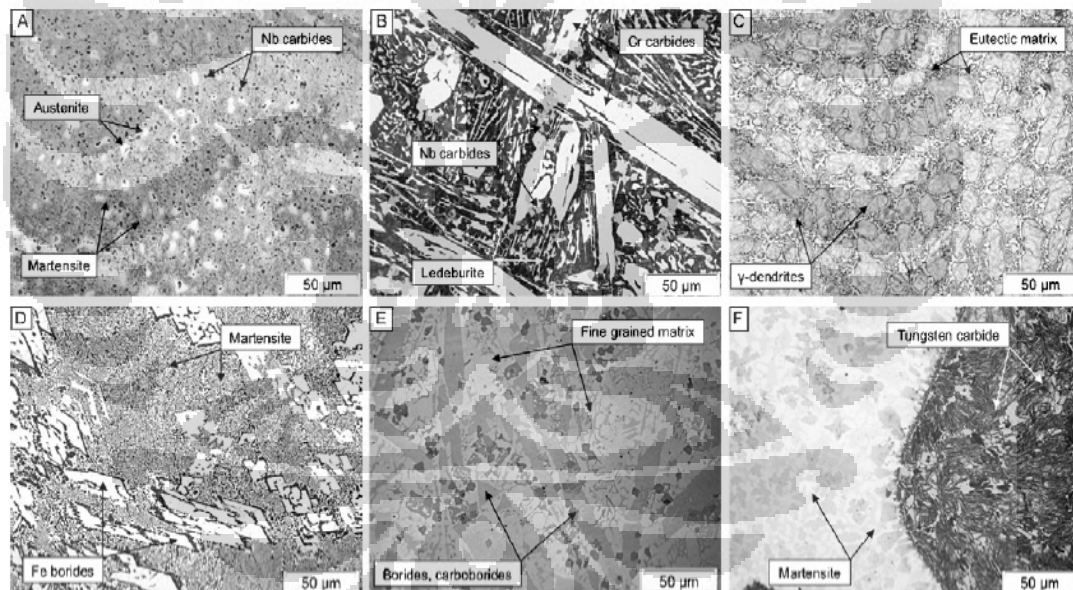
Tabel 2.6 Komposisi paduan *Hardfacing* Fe-Base [7]

Sample	Chemical composition [wt.%]					
	Fe	C	Cr	Nb	B	Others (Mo, V, W, Ti, Ni)
A	Basis	<1	6	3	–	1.5
B	Basis	5.5	21	7	–	1
C	Basis	2.5	7	–	<1	<1
D	Basis	<1	–	–	4	1.5
E	Basis	1.3	15.4	4.2	4.2	11.5
F	Basis	–	<1	–	–	1.8

Tabel 2.7 *hard phase* (HP) Pada Paduan *Hardfacing* FE-Based [7]

Sample	Type of HP	Content of HP [vol.%]	Size of HP [μm]	Shape of HP
A	Nb carbides	7	<3	Spattered
B	Fe/Cr carbides	57.1	30–200	Columnar
	Nb carbides	5.4	<7	Granular
C	Fe/Cr carbides	48.3	–	Closed skeleton
D	Fe carbo-borides	18.5	20–80	Columnar
E	Fe/Cr carbo-borides	52	10–100	Columnar
	Nb carbides	4.6	5–10	Blocky
	Mo/W carbo-borides	5.3	10–25	Blocky
F	Synthetic added WC	38.7	65–250	Rounded

Tabel 2.7 menunjukkan jenis, ukuran, dan bentuk dari *hard phase* pada deposit pada setiap jenis deposit *hardfacing* yang digunakan. Penjelasan lebih lanjut akan dipaparkan setelah gambar 2.10.



Gambar 2.10 Hasil SEM Yang Menunjukkan Adanya *Hard Precipitate* Pada hasil *Hardfacing* [7]

Gambar 2.10 menunjukkan bahwa pada paduan A ditemukan struktur martensit dengan beberapa struktur *austenitic*. Karbida niobium tersebar ke seluruh matrik martensit. Kekerasan martensit mencapai 800HV. Paduan B terdiri dari

karbida Fe/Cr dengan kekerasan mikro mencapai 1600 HV dalam matrik ladeburit. Dengan kekerasan mencapai 800 HV. Karbida Nb primer terdistribusi merata dengan volume sekitar 5%. Dengan terdistribusinya karbida Nb primer maka akan terbentuk struktur yang tahan terhadap abrasi dan erosi karena tingginya kekerasan.

Paduan C menunjukkan adanya *dendrite hypoeutectic* dengan kekerasan mencapai 920 HV0.1 yang berada dalam *matrik eutectic* dengan kekerasan mencapai 1000 HV0.1. Karbida Fe/Cr dengan volume mencapai 48,3% menjadi matriks dendrite primer.

Paduan D terdiri dari struktur *Fe Carbo-borides* dengan bentuk batang-batang dengan kekerasan mencapai 1500 HV0.1. distribusi *hard phase* cukup seragam.

Paduan E juga mengandung unsur boron seperti pada paduan D namun ditambah dengan unsur-unsur lain seperti W, Mo, Nb dan Cr. Ditunjukkan struktur mikro yang padat dengan kekerasan mencapai 1200 sampai 1900 HV0.1.

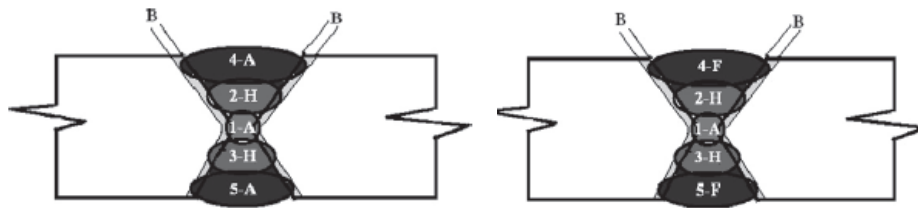
Pada paduan F ditunjukkan adanya fusi dan pecahan-pecahan karbida tungsten yang larut dalam Fe matrik. Matriks memiliki kekerasan mencapai 800 hingga 1100 HV0.1.

2.8.4 Metode *Buttering* Dengan Logam Induk AISI 4340 Dengan Kadar Karbon 0,35 % [6].

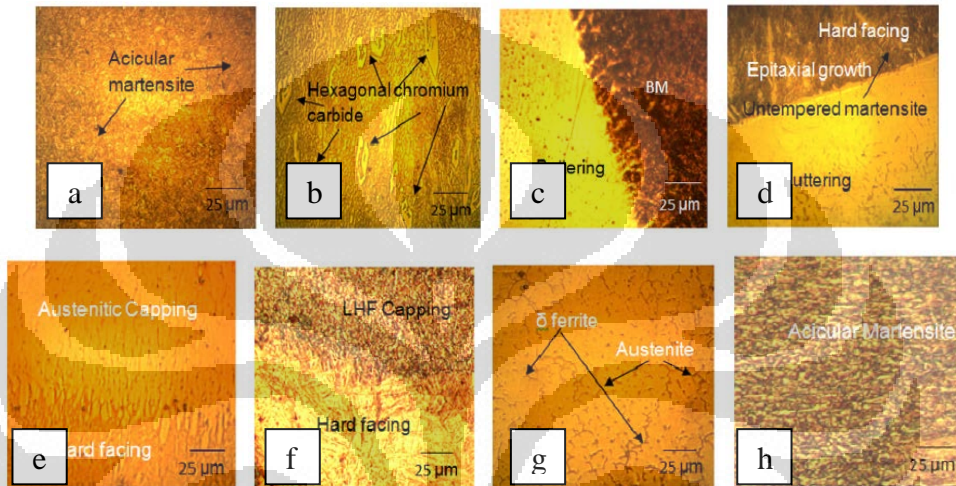
Balakrishnan menggunakan logam induk AISI 4340 sebagai logam induk dan menggunakan metode *buttering* untuk mencegah terjadinya *crack* antar lapisan pengelasan. Table 2.8 menunjukkan komposisi dari setiap komponen lasan.

Tabel 2.8 komposisi material *base metal*, filler dan *hardfacing* yang digunakan [6]

Element	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Fe
Base metal (AISI 4340)	0.35	0.54	-	-	-	1.25	1.75	0.52	-	Bal.
ASS electrode (AWS E 307-16)	0.08	1.20	0.60	0.015	0.02	20.30	8.50	2.60	-	Bal.
LHF electrode (AWS E 11018-M)	0.06	1.32	0.33	0.015	0.022	0.40	2.30	0.41	0.003	Bal.
Hardfacing alloy (AWS E FeCr-A7)	4.0	-	-	-	-	30.00	-	2.0	0.50	Bal.



Gambar 2.11 Urutan pengelasan [6]

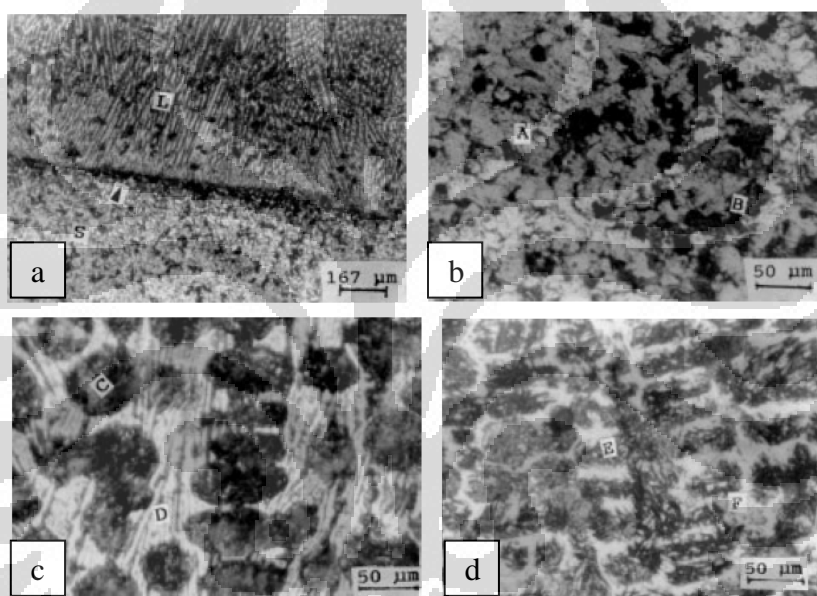


Gambar 2.12a) Base metal, b) daerah *hardfacing* yang tak terlarut, c) *interface* ASS *Buttering*- Base metal, d) ASS *Buttering* -*Hardfacing*, e) ASS *filler capping*-*Hardfacing*, f) LHF *Capping*- *Hard facing*, g) Mikrostruktur ASS *Capping*, h) Mikrostruktur LHF *capping* [6]

Dari hasil SEM pada logam induk yang ditunjukkan pada gambar 2.12 dapat dilihat adanya struktur *circular martensite* yang berbentuk jarum-jarum halus dalam lapisan martensit. Pada daerah *capping* ASS dan LHF memiliki mikrostruktur yang homogen. Pada daerah *hardfacing* yang tidak terlarut terdapat struktur karbida krom heksagonal dalam matrik austenitik. *Interface* las antara ASS *buttering* dan logam induk serta antara *hardfacing* dengan ASS *capping* menunjukkan pertumbuhan epitaksial yang seragam.

Tabel 2.9 Komposisi substrat dan kawat *hardfacing* yang digunakan [6]

Material	Composition, wt%					Vickers Hardness
	C	Mn	Si	Cr	Fe	
Hardfacing alloy 1	0.5	0.3	0.45	6.5	bal	650
Hardfacing alloy 2	2.5	1.5	0.60	2.7	bal	550
Substrate	0.18	0.40	0.1	...	bal	150



Gambar 2.13 Mikrostruktur dari (a) spesimen yang di *hardfacing* dengan paduan 1, (b) substrat, (c) lapisan *hardfacing* paduan 1, (d) lapisan *hardfacing* paduan 2; S, Substrat, A, ferrite, B, Pearlite, C, karbida kromium primer, D, Austenit dan karbida, E, austenit primer [6]

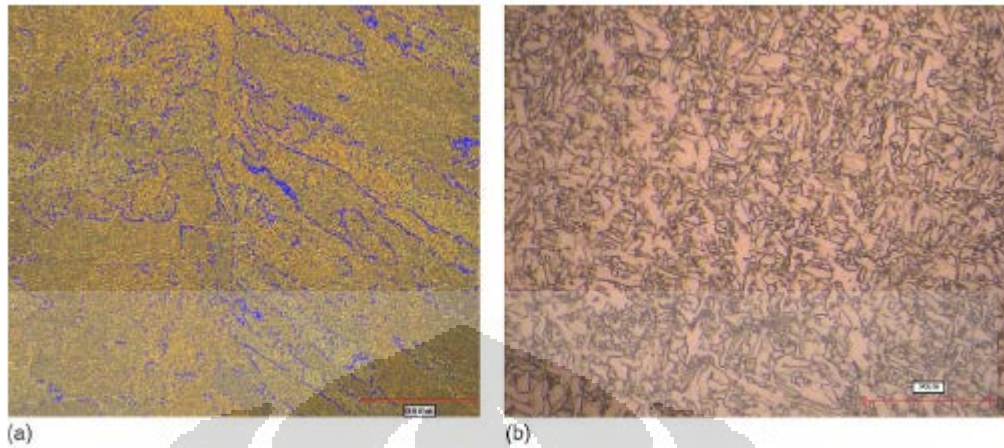
Gambar 2.13 menunjukkan lapisan *hardfacing* paduan 1 terdiri dari kromium primer yang mengandung karbida dalam dendrit (c) dan austenit ditambah karbida pada daerah interdendritik. Pada lapisan *hardfacing* paduan 2 menunjukkan adanya struktur dendrit austenit primer (e) yang dikelilingi eutektik austenit ditambah karbida didalam daerah interdendritik.

Pada saat dua material dengan kandungan krom yang tidak sama disambungkan maka karbon akan bermigrasi dari material yang memiliki kadar krom rendah ke paduan yang memiliki krom dengan kadar yang lebih tinggi. Kecepatan migrasi dari karbon meningkat sejalan dengan meningkatnya temperatur dengan adanya migrasi tersebut maka akan terbentuk daerah yang kekurangan unsur karbon. Jika dilihat dari komposisi *base metal*. Elektroda *buttering* dan elektroda *hardfacing*, maka proses segregasi krom ini akan terjadi sehingga akan terbentuk daerah dengan kadar krom yang tinggi dan daerah dengan kadar krom yang rendah. Perbedaan ini akan menyebabkan degradasi akan kemampuan tahanan terhadap korosi.

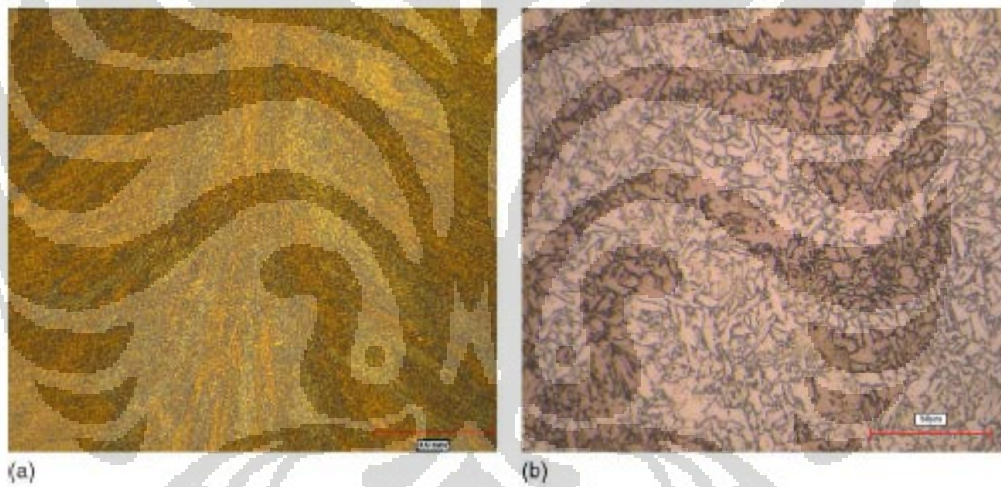
Pada HSLA kondisi pemaparan terhadap air, larutan alkali ataupun netral tidak akan memberikan banyak efek. Namun hal berbeda terjadi bila HSLA dikenakan perlakuan di lingkungan asam. Kecepatan korosi pada HSLA meningkat dengan meningkatnya kadar karbon dan nitrogen dalam material begitupula dengan kandungan fosfor dan sulfur. Penambahan tembaga di lain pihak mengurangi serta menghambat terjadinya korosi pada HSLA [10].

2.8.5 Pengelasan Baja Karbon Rendah [11]

Penambahan molibdenum pada *weld metal* meningkatkan presentase dari *acircular ferrite* dan *granular bainite* dan menurunkan fasa lain seperti Fasa Kedua ferit dan ferit pada batas butir. Penambahan Mo dan Ni secara terkontrol akan meningkatkan kandungan *acircular ferrite* dan *granular bainite* yang sangat berpengaruh pada tingkat ketangguhan dari logam las.



Gambar 2.14 Gambar kiri menunjukkan adanya *grain boundary ferrite* (berwarna biru) pada *weld metal* yang tidak ditambahkan unsur Mo dan Ni [11]

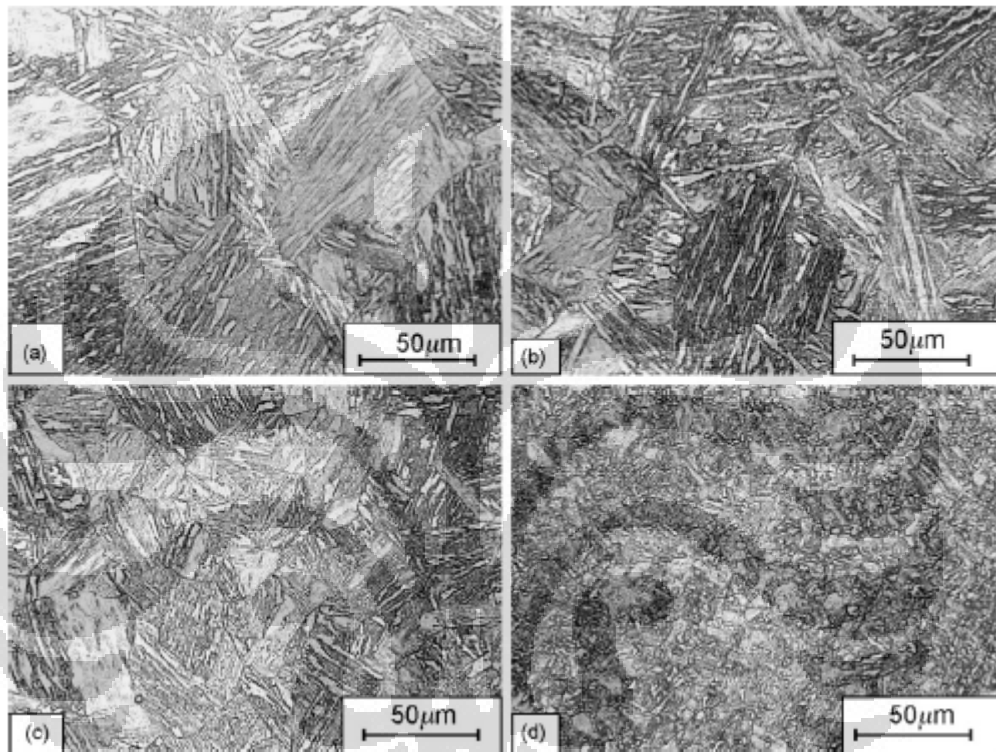


Gambar 2.15 Tidak adanya *grain boundary ferrite* [11]

Gambar 2.15 menunjukkan tidak adanya *grain boundary ferrite* pada *weld metal* dengan penambahan ikel dan molibdenum terkontrol Ni (2.03–2.91 wt.%) dan Mo (0.7–0.995 wt.%) maka akan meningkatkan jumlah kandungan *accircular ferrite* dan *granular ferit* yang meningkatkan ketangguhan akan logam hasil lasan.

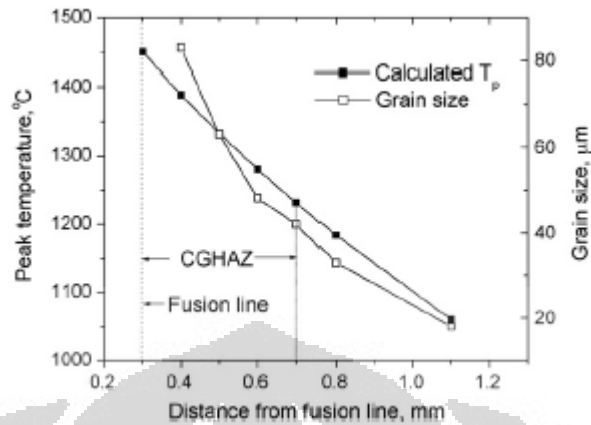
2.8.6 Mikrostruktur HAZ Pada Lasan HSLA

M.Shome melakukan pada daerah sekitar lasan terutama pada *coarse grain heat affected zone* yang termasuk daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) yang mengalami pembesaran butir sesuai dengan jaraknya dari *fusion line*.



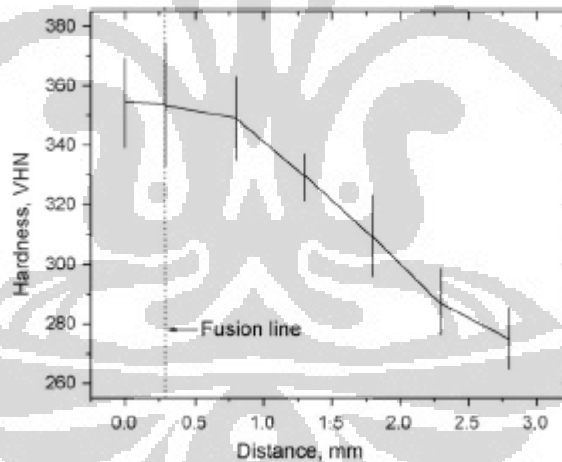
Gambar 2.16 *Coarse Grain Heat Affected Zone*, a) Jarak 0,01 mm Dari *Fusion Line*, b) Jarak 01 mm Dari *Fusion Line*, c) Jarak 03 mm Dari *Fusion Line*, d) Jarak 0,7 mm Dari *Fusion Line*[11]

Gambar 2.16 menunjukkan mikrostruktur dari *coarse grain heat affected zone* masing-masing dalam jarak 0,01 mm, 0,1 mm, 0,3 mm, 0,7 mm dari *fusion zone* (daerah fusi), dari gambar dapat dilihat bahwa semakin jauh dari daerah fusi maka grain semakin kecil. Hal ini disebabkan karena semakin jauh dari daerah fusi panas yang diterima logam induk semakin kecil sehingga proses pembesaran grain semakin kecil.



Gambar 2.17 Ukuran *grain* terhadap *fusion line* [11]

Gambar 2.17 menunjukkan bahwa semakin jauh dari *fusion line* maka ukuran butir akan semakin kecil. Ukuran terbesar butir mencapai diameter 80 mikron kemudian semakin kecil pada mencapai diameter 40 mikron.



Gambar 2.18 Grafik Kekerasan Terhadap Garis Fusi [11]

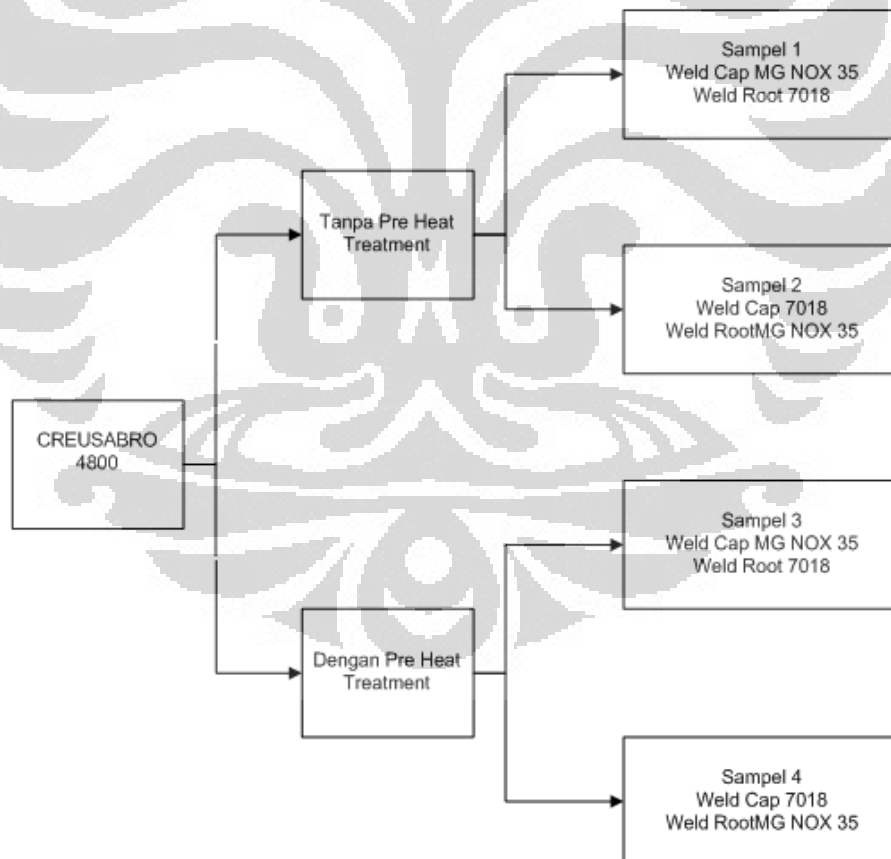
Dari gambar 2.18 diatas dapat dilihat bahwa kekerasan menurun sejalan dengan jaraknya dari garis fusi. Pada *fusion line* kekerasan mencapai 360 VHN kemudian menurun secara signifikan hingga mencapai 270 VHN.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

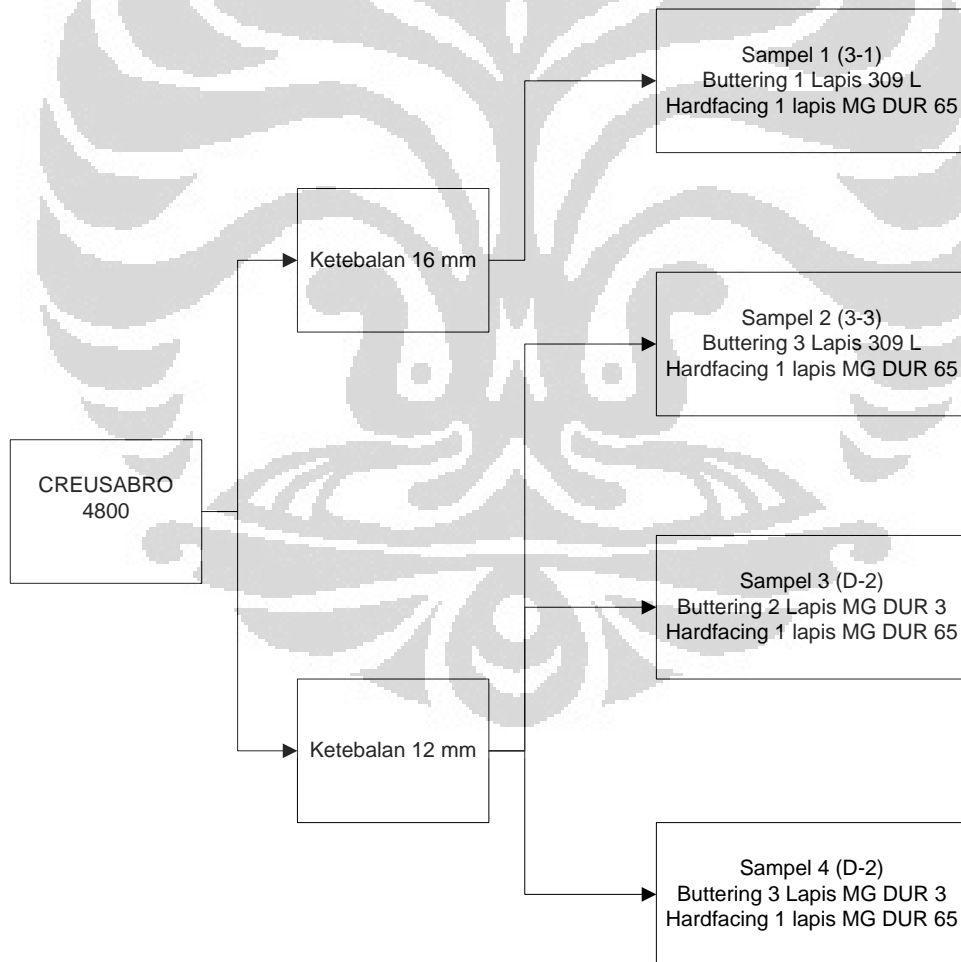
3.1 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam penelitian ini dikerjakan 4 buah sampel pengelasan *multilayer* dimana masing masing 2 sampel ada yang diberikan perlakuan *pre-heat treatment* 200° C dan 2 sisanya tidak diberikan perlakuan *pre-heat treatment*. Dua macam elektroda digunakan antara lain MG NOX 35 dan 7018. Pengelasan dengan metode *multilayer* dilakukan masing-masing 3 lapisan dengan urutan penggunaan elektroda seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bagan Sampel Pengelasan CREUSABRO ® 4800

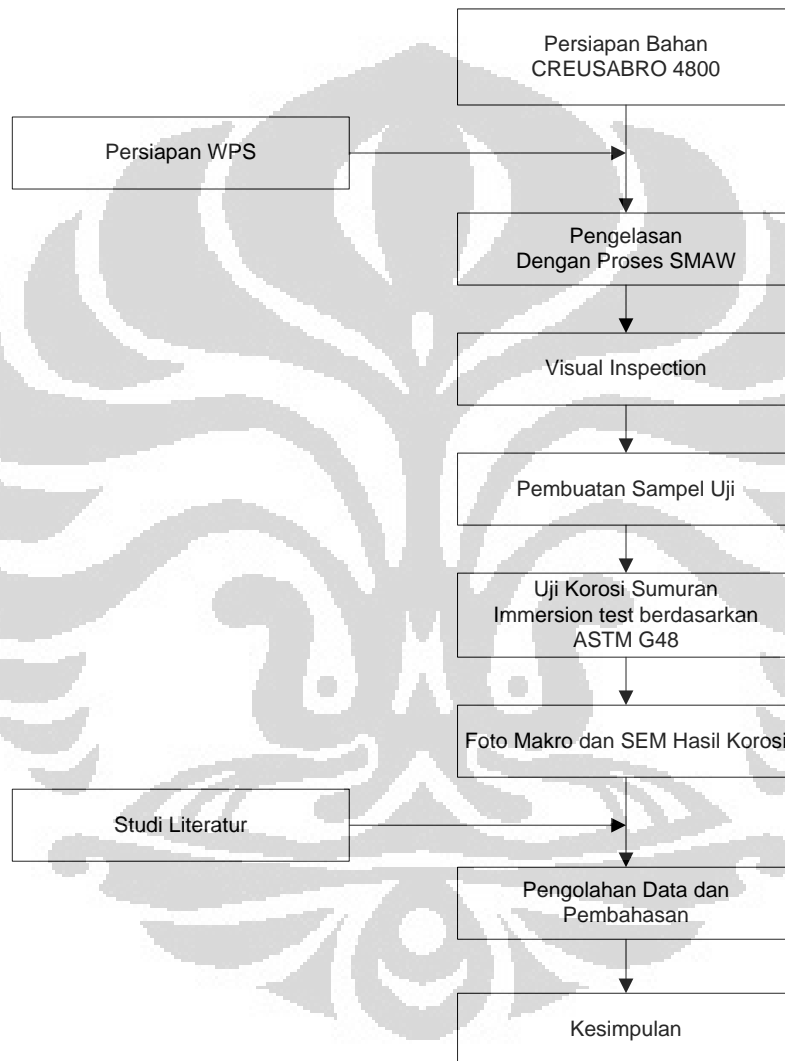
Proses *hardfacing* dilakukan dengan 4 sampel. Seluruh sampel dan elektroda yang digunakan dalam proses ini sebelumnya telah melalui proses *pre-heat treatment* 200°C untuk mencegah terjadinya *cold cracking*. Satu sampel dengan menggunakan material CREUSABRO ® 4800 dengan ketebalan 16 mm. Sampel ini kemudian dilapisi lapisan *buttering* sebanyak satu lapisan dengan menggunakan elektroda 309 L. Untuk sampel kedua digunakan CREUSABRO ® 4800 dengan ketebalan 12 mm kemudian dilapisi lapisan *buttering* sebanyak 3 lapisan dengan menggunakan elektroda 309 L. Pada sampel 3 dan 4 digunakan elektroda *buttering* MG DUR 3 masing masing dua lapis dan tiga lapis sebelum akhirnya dilapisi oleh elektroda *hardfacing* sebanyak 1 lapisan. Gambar 3.2 merupakan bagan sampel *hardfacing* yang akan dilakukan.



Gambar 3.2 Bagan Sampel *Hardfacing*

3.1.1 Diagram Alir Penelitian

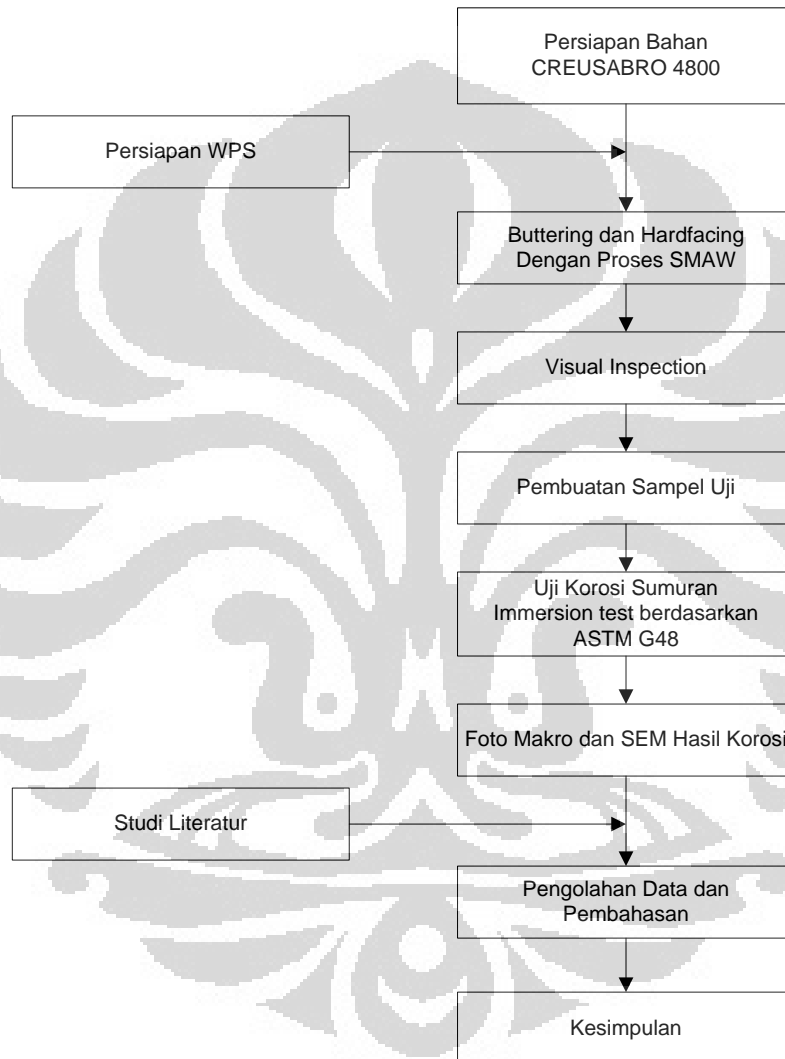
Secara umum dilakukan 2 macam perlakuan yaitu pengelasan dan *hardfacing* dengan logam induk CREUSABRO ® 4800. Gambar 3.3 merupakan diagram alir proses pengelasan *multilayer*.



Gambar 3.3 Diagram Alir Pengelasan CREUSABRO ® 4800

Pengelasan CREUSABRO ® 4800 dilakukan secara berlapis dengan setiap jenis lapisan dilakukan sebanyak tiga lapis. Untuk mengetahui adanya cacat pada hasil pengelasan dilakukan radiografi dan ultrasonik. Setelah didapatkan hasil bahwa

sampel tidak mengalami cacat yang dapat mempengaruhi hasil karakterisasi material, maka sampel di potong-potong sesuai dengan kebutuhan pengetesan. Untuk proses uji korosi sumuran sampel dipotong dengan panjang rata-rata 50 mm dan tebal 10 mm.



Gambar 3.4 Diagram Alir Proses *Hardfacing*

Gambar 3.4 merupakan diagram alir proses *hardfacing* yang dilakukan pada permukaan material yang sebelumnya sudah dilakukan perlakuan *pre-heat treatment* 200°C. Sebelum sampel dipotong sesuai dengan kebutuhan karakterisasi material,

sampel *hardfacing* ini di radiografi untuk mengetahui apakah ada kemungkinan cacat yang menyebabkan terjadinya gangguan pada hasil karakterisasi material nantinya.

3.1.2 Material Penelitian

Berikut adalah ringkasan material yang digunakan dalam proses penelitian ini.

Gambar 3.5 Tabel Komposisi Kimia Material Penelitian

		C	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	Ti	Si	W	Nb
Logam induk (CREUSABRO ® 4800)		< 0.20	<0.005	<0.018	<1.60	0.20	<1.9	<0.40	<0.200			
<i>Welding</i>												
WM 1	MG NOX 35	0.08	0.008	0.018	4.03	9.67	20.1	1.15		0.49		
WM 2	E-7018	<0.12	<0.035	<0.04	1.6					<0.75		
<i>Hardfacing</i>												
<i>Hardfacing</i>	MG DUR 65	5					21	8.5				
<i>Buttering</i>	MG DUR 3	0.2			2.5		0.75	0.25			6	7
	AWS ER 309L	0.03 max			1.0 - 2.5	12.0 - 14.0	23.0- 0.65	0.75 max		0.30 - 0.65		

Tabel 3.1 *Mechanical Properties* Baja Tahan Aus Jenis CREUSABRO ® 4800

<i>Hardness</i> (HB)	YS (Mpa)	UTS (Mpa)	Elongation (%)	KCVL -20 °C (J/Cm ²)	Elasticity Modulus (GPa)
370	900	1200	12	45	205

Tabel 3.2 Sifat Mekanis MG NOX 35

<i>Yield Point</i>	<i>Tensile Strength</i>	<i>Elongation</i>	<i>Hardness</i>
442 N/mm ²	598 N/mm ²	45.0%	200 ~ 475 HV
45.1 kgf/mm ²	61.0 kgf/mm ²		

Tabel 3.3Sifat Mekanis Elektroda E-7018

AWS A5.1- 91	Tensile Strenght	Yielding Stress	Elongation	Test Value
	Mpa	Mpa	%	J
E7018	700	≥ 420	≥ 25	50- 180

3.1.3 Parameter Penelitian

Parameter penelitian yang menggunakan proses pengelasan adalah sebagai berikut :

- a. Proses pengelasan : SMAW
- b. Tipe las : Manual
- c. Posisi las : Flat (1G)
- d. Polaritas : DCEN
- e. Arus Pengelasan : 90-120 Ampere
- f. Tegangan Pengelasan : 20-30 Volt

3.1.4 Pengujian

Terdapat beberapa pengujian yang akan dilakukan, antara lain adalah :

- a. Pemeriksaan Visual dan Radiografi
- b. Pengujian kekerasan dengan metode *Vickers*
- c. Pengujian Terhadap Korosi Sumuran berdasarkan ASTM G 46
- d. Pengamatan Metalografi dengan mikroskop optik
- e. Pengamatan Endapan karbida dengan SEM dan EDS

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran kekerasan serta pengamatan struktur mikro dan makro dengan menggunakan mikroskop optik dan SEM.

4.1.1 Pengukuran Kekerasan Hasil Lasan

Pengukuran kekerasan pada hasil lasan dengan menggunakan CREUSABRO®4800 sebagai Logam Induk (*Base Metal*) dilakukan pengukuran kekerasan secara horizontal dan vertikal. Pengukuran kekerasan dilakukan setelah pengetsaan sampel.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Horizontal Kekerasan Hasil Lasan *Multilayer* (Dalam VH)

Bagian Sampel	Sampel 1		Sampel 2		Sampel 3		Sampel 4	
	S1V1	S1V2	S2V1	S2V2	S3V1	S3V2	S4V1	S4V2
Logam induk	402.6	393	464.3	443.6	467.6	475.1	386.2	510
	398	395.4	417.6	451.5	496.8	485.6	500.2	356.6
	379	389	443.7	403.2	510	465.2	511.7	381.5
HAZ	400	459	442.6	381.7	440.1	255.4	377.8	336.1
	436	516.5	433.6	356.9	491.3	245.7	385.9	345.2
	454.2	454	431.5	383.7	474.4	230.5	429.4	383.1
Weld Metal	161	236.4	404.7	293.1	311.6	235.6	401.4	269.1
	153	191.9	407.4	257.4	317.8	281.1	332.2	251.2
	230.6	217.5	407.4	303.8	249.2	230.5	317.4	275.9
HAZ	467	403.4	376.7	405.1	375.9	252.2	326.5	404.9
	459.4	453.1	393.2	398.9	375.4	215.7	377.9	385.1
	466.4	473	415.3	425.4	355.5	245.7	362.8	323
Logam induk	415.6	474	368.8	523	475	288.9	405.5	439.4
	420.7	387.2	508.9	473	385.7	451.8	380.2	386.5
	413.1	434.6	428.3	411.9	456.1	475.2	366.6	355.3

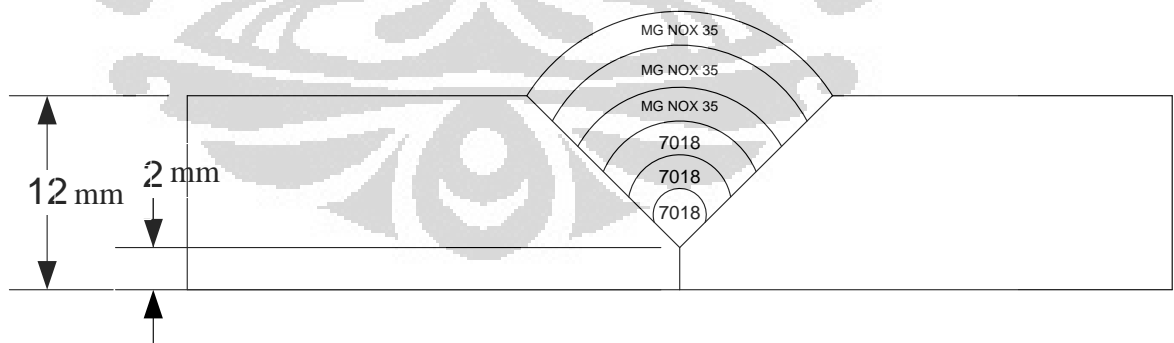
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Kekerasan Secara Vertikal (Dalam VH)

	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4
Logam Induk 1	374	411.3	345.6	292.9
	408	445	376.3	288.9
	416.8	467.4	408.5	299.3
Logam Induk 2	215.4	288.6	256.4	293.8
	219.3	277.7	205.8	283.7
	196	293.8	222.3	342

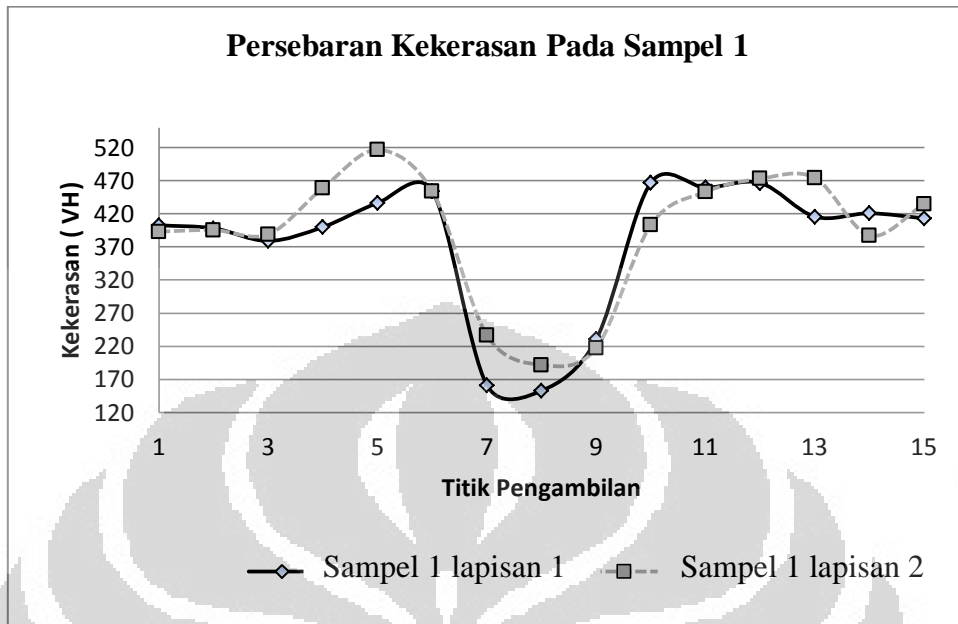
Pengukuran horizontal sendiri dilakukan dua kali dimana pengukuran pertama difokuskan pada bagian *weld cap* sedangkan pengukuran kedua dilakukan pada bagian *root weld*. Pengukuran kekerasan yang kedua dilakukan secara vertikal. Berikut adalah hasil pengukuran kekerasan tersebut

4.1.1.1 Uji Kekerasan Sampel 1

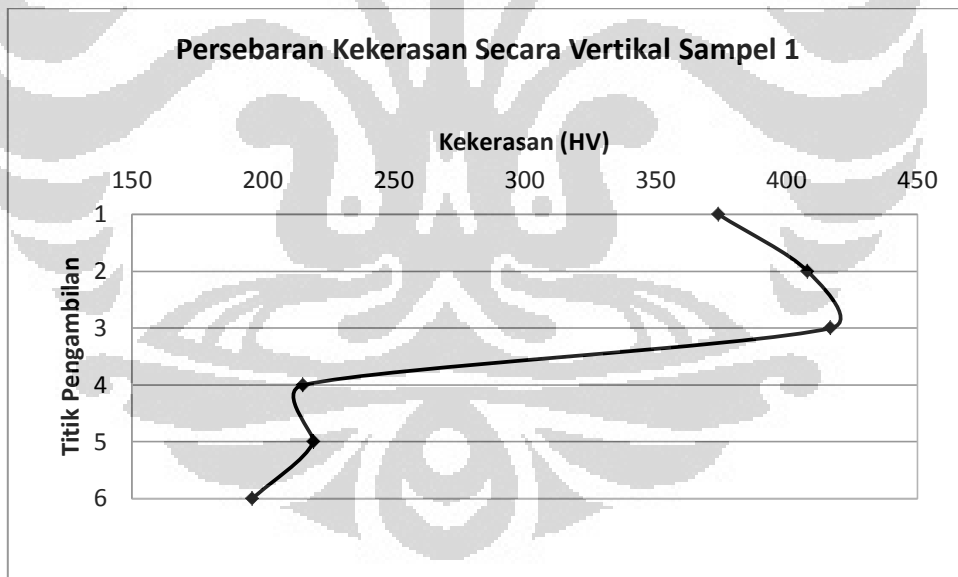
Sampel 1 adalah Baja Karbon Rendah CREUSABRO® 4800 yang dilas dengan metode *multilayer* dengan *root weld* E 7018 sebanyak 3 lapisan kemudian digunakan elektroda MG DUR 35 sebagai *weld cap*. Proses pengelasan dilakukan tanpa proses *pre-heat treatment*.



Gambar 4.1 Diagram Pengelasan Sampel 1 Dimana E 7018 Menjadi *Root Weld* dan MG DUR 35 Sebagai *Weld Cap*



Gambar 4.2 Persebaran Kekerasan Pada Sampel 1



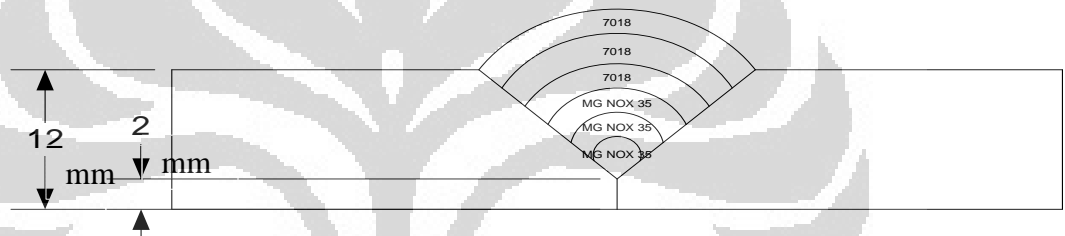
Gambar 4.3 Profil Kekerasan Diukur Secara Vertikal Pada Sampel 1 Dimana E 7018 Menjadi *Rootweld* dan MG DUR 35 Sebagai *Weld Cap*

Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa pada 3 lapisan pertama ada kenaikan kekerasan secara signifikan pada daerah HAZ dimana kekerasan dapat mencapai 460 VH kemudian menurun tajam pada bagian *weld metal*. Hal yang sama juga terjadi

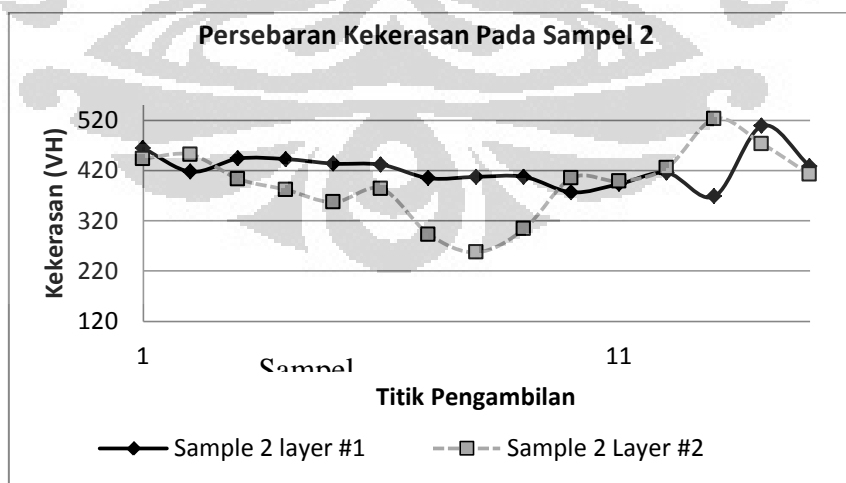
pada 3 lapisan kedua yaitu MG NOX 35. Kenaikan kekerasan mencapai 42,3 VH atau sekitar 10% dari kekerasan *base metal*. Penurunan pada daerah *weld metal* mencapai 248, 5 VH atau sekitar 62 % dari kekerasan *base metal*.

4.1.1.2 Uji Kekerasan Sampel 2

Sampel 2 adalah Baja Karbon Rendah CREUSABRO ® 4800 yang dilas dengan metode multilapisan dengan *root weld* MG DUR 35 sebanyak 3 lapisan kemudian digunakan elektroda E 7018 sebagai *weld cap*. Proses pengelasan dilakukan tanpa proses *pre-heat treatment*.



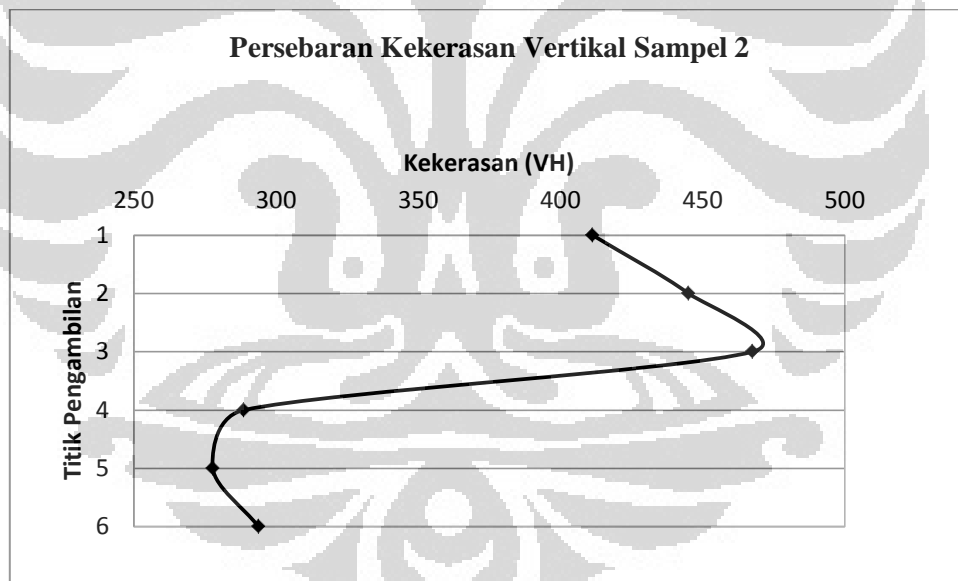
Gambar 4.4 Diagram Pengelasan Sampel 2 Dimana MG NOX 35 Sebagai *Root Weld* Sedangkan E 7018 Menjadi *Weld Cap*



Gambar 4.5 Profil Persebaran Kekerasan Pada Sampel 2

Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa uji kekerasan pada lapisan pertama yaitu *weld cap* dari menunjukkan adanya profil kekerasan yang cenderung konstan baik pada daerah *base metal*, HAZ hingga daerah *weld metal*. Profil kekerasan yang cenderung konstan ini terus berlangsung hingga titik pengukuran yang ke 13 dimana kekerasan menurun hingga 370 VH. Kemudian melonjak naik pada titik ke 14 menjadi diatas 500 VH. Pada lapisan ke 2 yaitu *weld root* dari lasan terlihat bahwa ada proses kenaikan kekerasan hingga titik ke 6 kemudian mengalami penurunan secara signifikan dan mencapai kekerasan terendah pada titik ke 8. Pada titik ke 10 merupakan titik balik perubahan profil kekerasan. Pada titik ini kekerasan kembali naik hingga mencapai 520 VH pada titik ke 13.

Adanya cekungan pada mulai titik ke 6 hingga ke 10 merupakan wilayah dari *weld metal* MG NOX 35.

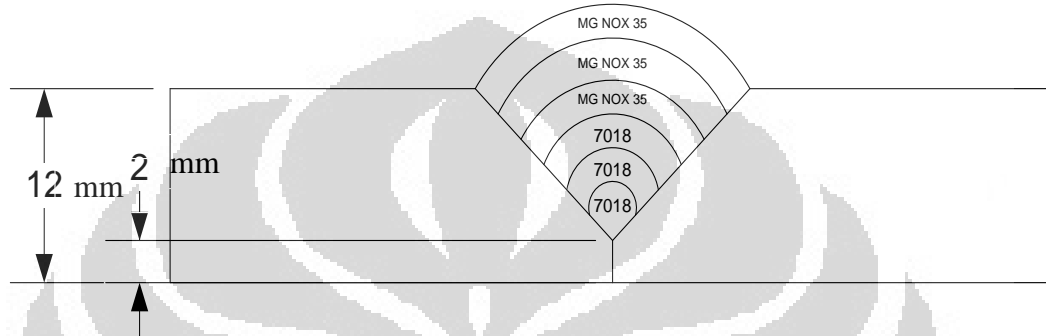


Gambar 4.6 Profil Kekerasan Diukur Secara Vertikal Pada Sampel 2

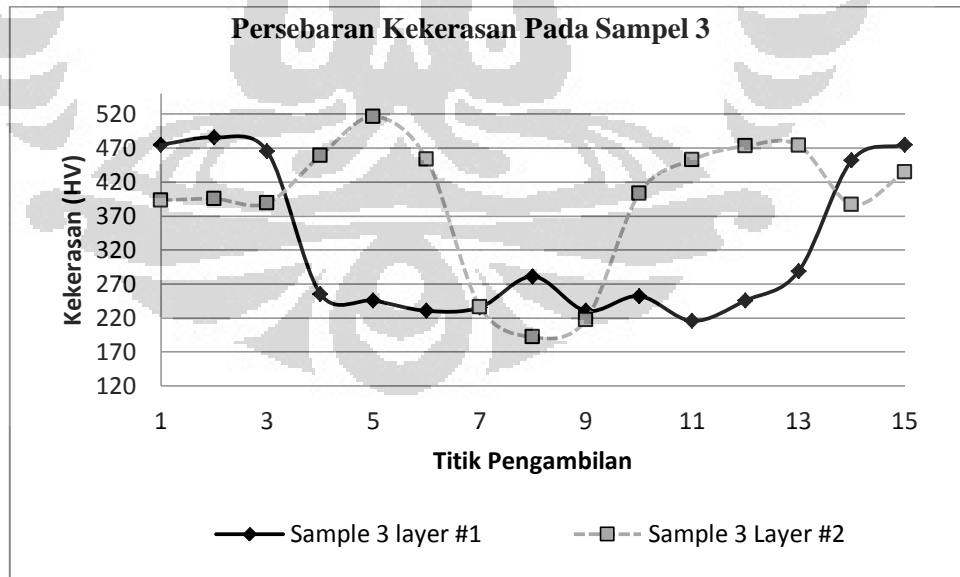
Gambar 4.6 menunjukkan profil kekerasan yang diambil secara vertikal, kekerasan tertinggi terjadi pada titik ke 3 dimana titik ini terletak pada *interface* antara dua jenis lapisan las.

4.1.1.3 Uji Kekerasan Sampel 3

Sampel 3 adalah Baja Karbon Rendah CREUSABRO ® 4800 yang dilas dengan metode multilapisan dengan *root weld* E 7018 sebanyak 3 lapisan kemudian digunakan elektroda MG DUR 35 sebagai *weld cap*. Proses pengelasan dilakukan proses *pre-heat treatment* 200°C.



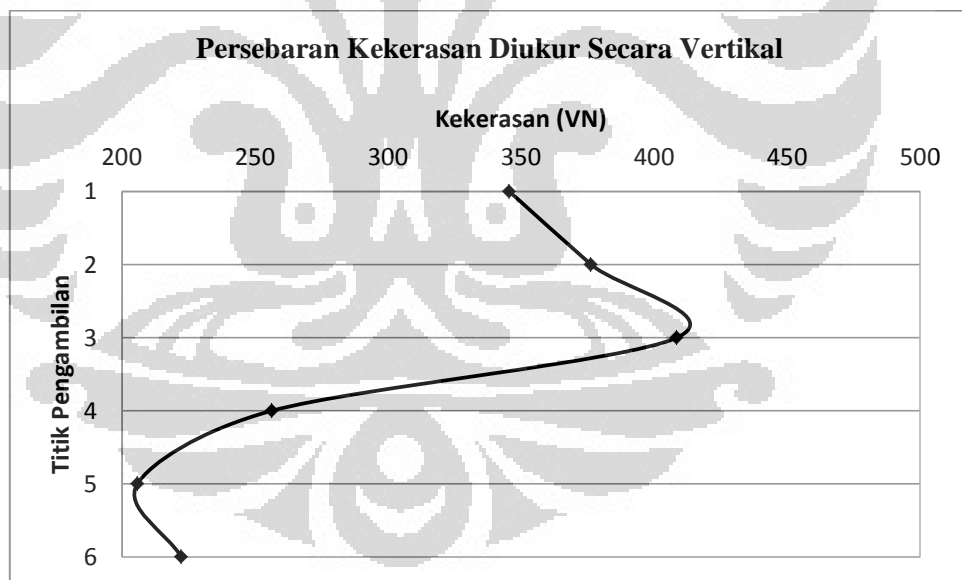
Gambar 4.7 Diagram Pengelasan Pada Sampel 3 Dimana Digunakan E 7018 Sebagai *Root Weld* dan MG NOX 35 Sebagai *weld cap*, Sebelum Pengelasan dilakukan *Pre-Heat Treatment* 200°C.



Gambar 4.8 Profil Persebaran Kekerasan Pada Sampel 3

Gambar 4.8 menunjukkan adanya profil perubahan kekerasan yang sangat signifikan baik pada lapisan pertama atau *weld cap* maupun pada *weld root* atau lapisan kedua. Pada lapisan pertama dapat dilihat bahwa terjadi penurunan kekerasan pada titik ke 2 kemudian nilai kekerasan berhenti turun pada titik ke 7 hingga mencapai kekerasan 220 VH. Pada titik ke 7 kekerasan naik hingga titik ke 8 kemudian menurun hingga mengalami kenaikan pada titik ke 11.

Pada lapisan kedua diamati adanya kenaikan yang signifikan dari sekitar 370 VH kemudian meningkat hingga hampir mencapai 520 VH pada titik ke 5. Adanya kenaikan kekerasan ini terjadi pada daerah HAZ antara logam induk dengan MG DUR 35. Titik ke 5 merupakan titik balik penurunan kekerasan hingga mencapai titik terendah dibawah 220 VH pada titik ke 8. Titik ke 7 sampai dengan titik 9 merupakan bagian dari *weld metal* MG DUR 35. Nilai kekerasan mulai meningkat pada titik ke 10 dan kembali mencapai puncaknya pada titik ke 13.

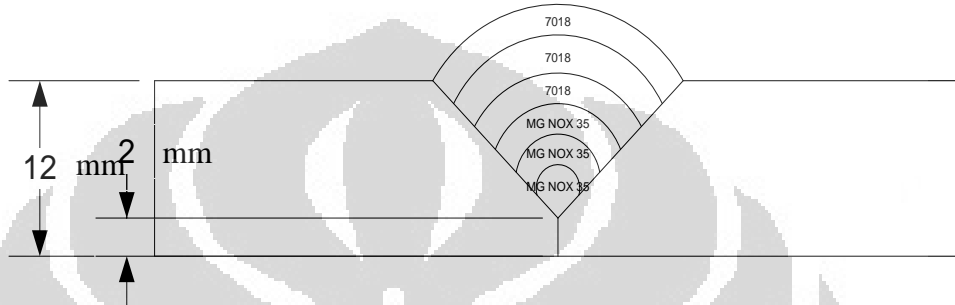


Gambar 4.9 Profil Kekerasan Secara Vertikal Pada Sampel 3

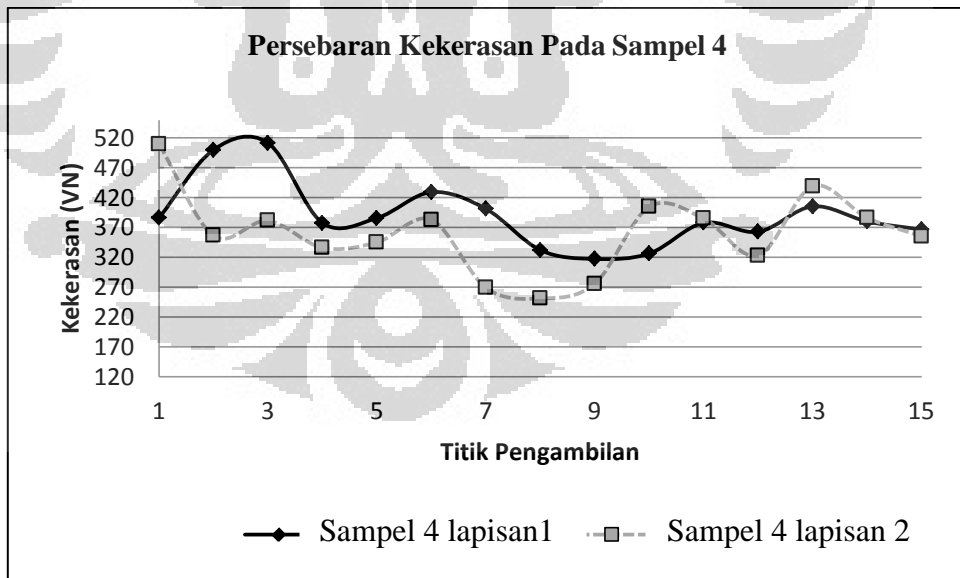
Gambar 4.9 menunjukkan profil kekerasan yang diukur secara vertikal menunjukkan kekerasan tertinggi terdapat pada titik ke 3 kemudian mengalami penurunan secara drastis pada titik ke 4. Antara dua titik ini merupakan *interface* antara *weld root* dan *weld cap*.

4.1.1.4 Uji Kekerasan Sampel 4

Sampel 4 adalah Baja Karbon Rendah CREUSABRO® 4800 yang dilas dengan metode multilapisan dengan *root weld* MG DUR 35 sebanyak 3 lapisan kemudian digunakan elektroda E 7018 sebagai *weld cap*. Proses pengelasan dilakukan proses *pre-heat treatment* 200°C.

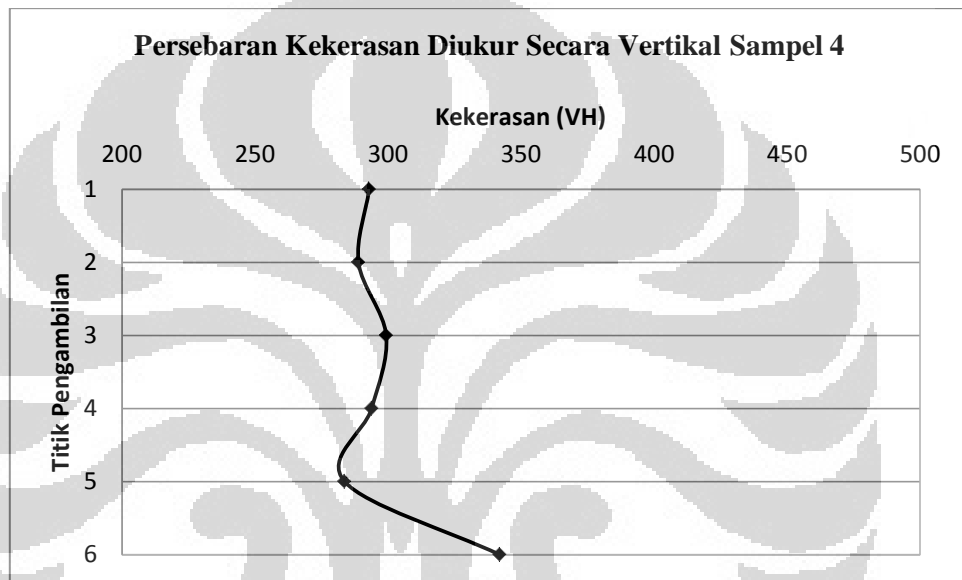


Gambar 4.10 Diagram Pengelasan Sampel 2 Dimana Digunakan *Root Weld* MG NOX 35 dan E 7018 Sebagai *Weld Cap*, Pengelasan Dilakukan Dengan *Pre-heat Treatment* 200°C



Gambar 4.11 Persebaran Kekerasan Pada Sampel 4

Gambar 4.11 menunjukkan persebaran kekerasan pada sampel 4 dimana terjadi adanya fluktuasi nilai kekerasan baik pada lapisan pertama maupun lapisan kedua namun secara umum lapisan pertama memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan lapisan kedua. Jika dibandingkan dengan nilai kekerasan pada sampel sebelumnya, sampel 4 memiliki persebaran kekerasan yang lebih konstan di sepanjang daerah pengelasan.



Gambar 4.12 Profil Persebaran Kekerasan Secara Vertikal Sampel 4

Gambar 4.12 menunjukkan hasil pengujian kekerasan yang diambil secara vertikal menunjukkan bahwa kekerasan tertinggi berada pada titik ke 6. Titik ke 6 ini merupakan daerah HAZ antara lapisan *buttering* dengan lapisan *base metal*.

4.1.2 Hasil Uji Kekerasan *Hardfacing*

Hasil pengukuran kekerasan terhadap hasil *hardfacing* CREUSABRO® 4800 dengan proses *buttering* dari mulai satu lapisan hingga tiga lapisan. Pengukuran dilakukan dari jarak 30 mikron dari permukaan terluar hasil *hardfacing*, kemudian

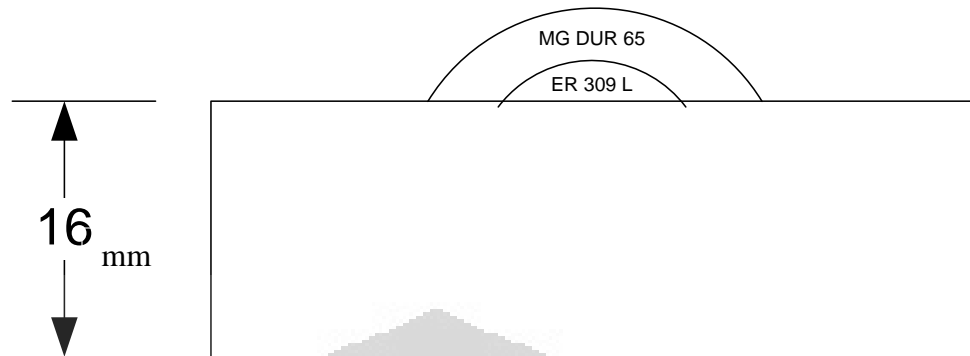
data diambil dengan penambahan jarak 5 mikron. Hal ini dimaksudkan agar didapatkan hasil yang seragam antara hasil pengukuran satu dengan yang lainnya.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Kekerasan Sampel *Hardfacing*

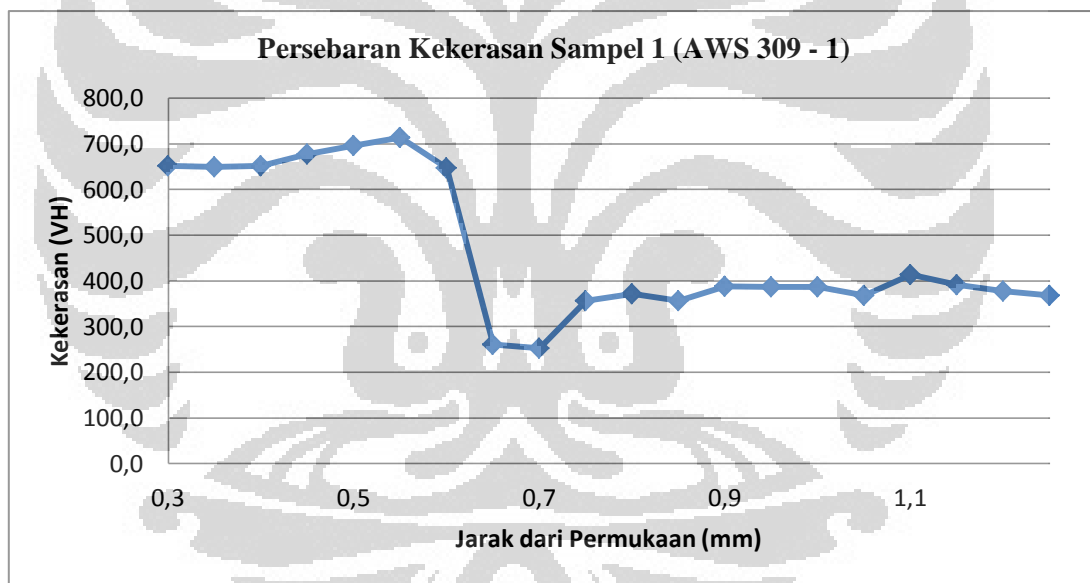
Interval	Jarak dari permukaan	Hardness (HV)			
		309 -1	309 -3	DUR-2	DUR-3
1	30	652,4	721,6	785,4	655,5
2	35	649,4	642,2	572,3	616,8
3	40	651,6	657,9	566,2	672,2
4	45	677,3	636,5	565,7	542,1
5	50	696,6	577,8	637,4	687,8
6	55	713,8	542,6	637,5	626,3
7	60	646,8	568,2	588,7	603,9
8	65	261,0	603,0	512,7	639,8
9	70	253,1	445,4	217,3	517,5
10	75	356,7	454,7	179,2	215,9
11	80	371,3	436,6	184,1	338,1
12	85	356,4	374,1	184,4	372,0
13	90	387,5	366,0	169,7	339,5
14	95	386,8	401,8	185,5	324,6
15	100	386,5	350,4	307,5	329,5
16	105	368,2	364,3	354,9	376,6
17	110	413,8	355,6	328,0	397,0
18	115	391,9	362,0	364,9	435,5
19	120	378,0	368,6	336,0	370,8
20	125	368,3	371,1	344,0	368,1

4.1.2.1 Hasil Uji Kekerasan Sampel 1 (3-1)

Sampel pertama menggunakan baja CREUSABRO® 4800 dengan ketebalan 16 mm kemudian dilakukan proses *buttering* dengan elektroda AWS ER 309 L sebanyak satu lapis. Proses *hardfacing* dilakukan setelah proses *buttering* dengan menggunakan elektroda MG DUR 65.



Gambar 4.13 Diagram Urutan Proses *Hardfacing* Pada Sampel 1 (3-1), Satu Lapisan *Buttering* Dengan Elektroda ER 309 L Dan Satu Lapisan *Hardfacing* Dengan Elektroda MG DUR 65

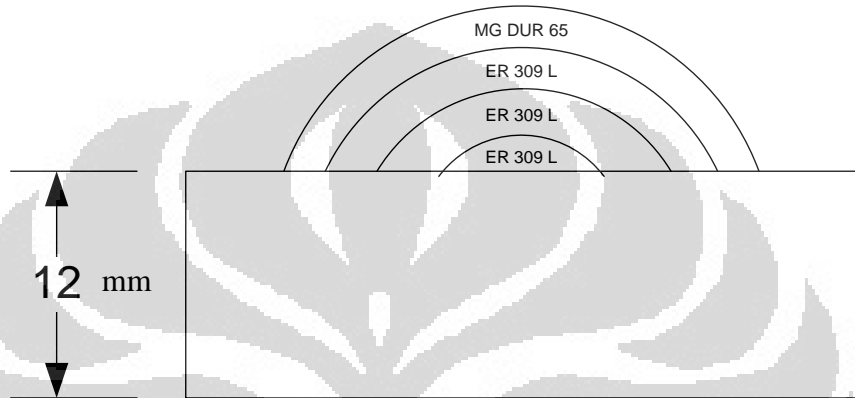


Gambar 4.14 Persebaran Kekerasan Pada Sampel 1 (3-1), Satu Lapisan *Buttering* 309 L Dan Satu Lapisan *Hardfacing* MG DUR 65

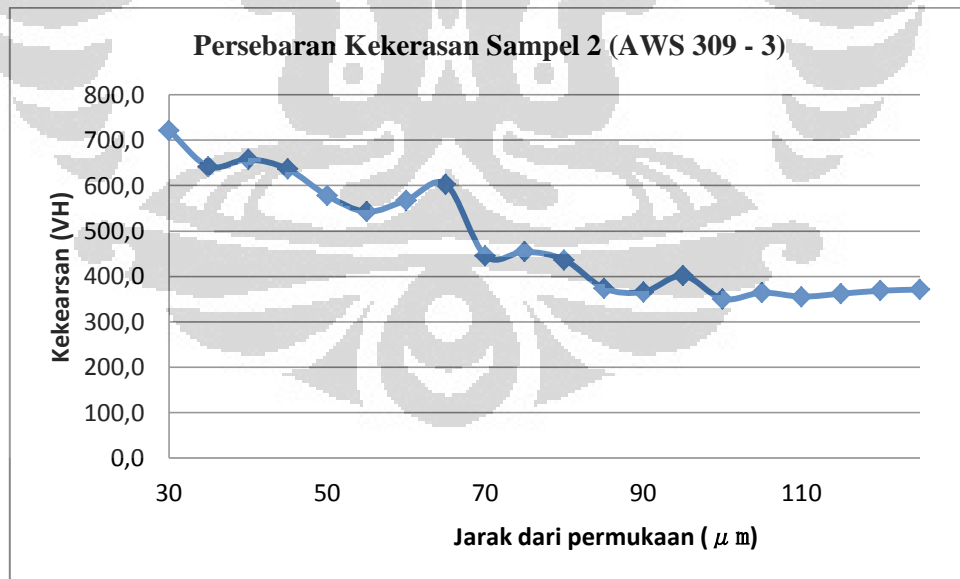
Dari gambar 4.14 dapat dilihat bahwa pada jarak 55 mikron dari permukaan *hardfacing* kekerasan menurun secara signifikan. Nilai kekerasan ini dicatat sebagai nilai kekerasan elektroda *buttering*. HV semakin meningkat pada ketebalan 75 mikron dari permukaan *hardfacing*. Daerah ini sampai dengan ketebala 85 mikron merupakan daerah HAZ yang disebabkan pengelasan lapisan *buttering*. Pada ketebalan

90 mikron nilai kekerasan mulai stabil. Nilai kekerasan ini merupakan nilai kekerasan dari logam induk yaitu sekitar 370 HV.

4.1.2.2 Hasil Uji Kekerasan Sampel 2 (3-3)



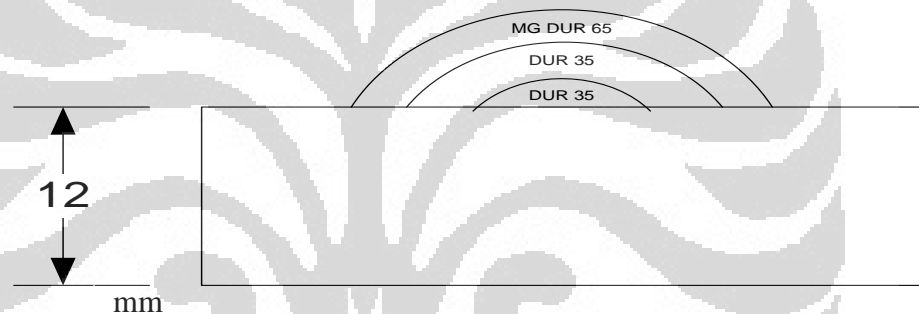
Gambar 4.15 Diagram Proses *Hardfacing* Pada Sampel 2 (3-2), Tiga Lapisan *Buttering* 309 L dan Satu Lapisan *Hardfacing* MG DUR 65



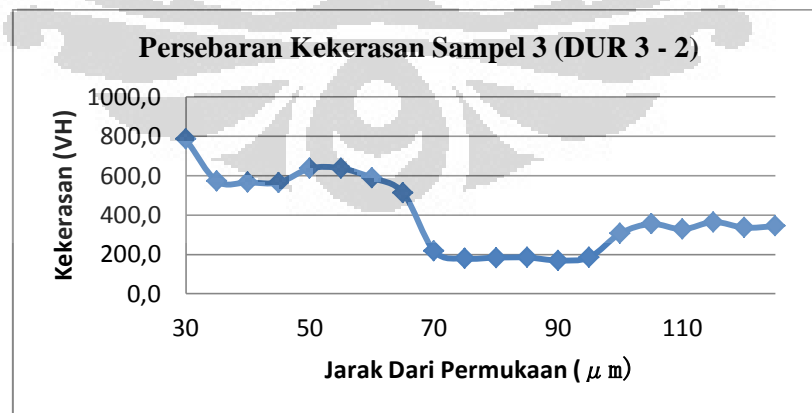
Gambar 4.16 Persebaran Kekerasan Pada Sampel 2, *Buttering* 3 lapis dengan elektroda AWS ER 309 L dan Satu Lapisan *Hardfacing* MG DUR 65

Jika dibandingkan dengan grafik sebelumnya, penurunan kekerasan pada sampel ini tidak terlalu drastis. Hal ini menunjukkan baiknya proses difusi antara elektroda *buttering* dengan elektroda *hardfacing*. Penurunan kekerasan dicatat baru terlihat secara signifikan pada ketebalan 100 mikron dari permukaan *hardfacing*. Terdapat sedikit kenaikan kekerasan pada ketebalan 95 mikron dimana daerah ini dianggap sebagai daerah HAZ sehingga kecenderungan kenaikan kekerasan dapat terjadi. Ada tidaknya daerah ini akan dijelaskan lebih lanjut pada hasil foto mikrostruktur dan SEM

4.1.2.3 Hasil Uji Kekerasan Sampel 3 (D-2)



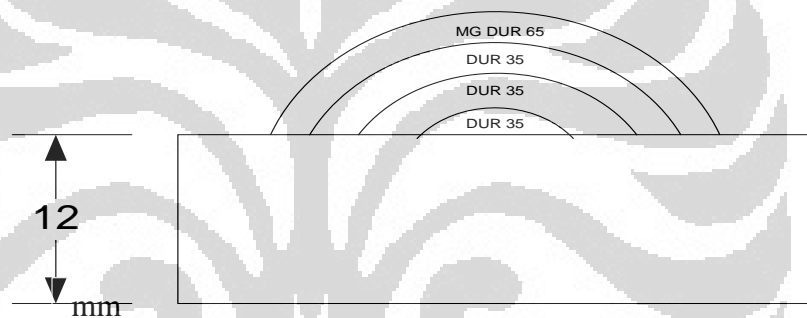
Gambar 4.17 Diagram Proses *Hardfacing* Pada Sampel 3 (D-2), Dua Lapisan *Buttering* dan Satu Lapisan *Hardfacing*



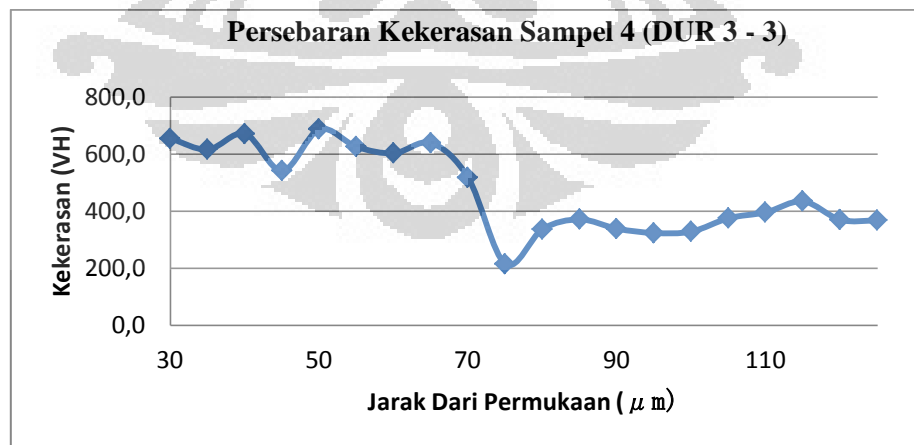
Gambar 4.18 Persebaran Kekerasan Pada Sampel 3, Dengan Elektroda MG DUR 3 Sebanyak Dua Lapis *Buttering* dan Satu Lapisan *Hardfacing* MG DUR 65

Dari gambar 4.18 dapat ditunjukkan bahwa terjadi penurunan kekerasan pada ketebalan 35 mikron dari permukaan *hardfacing* kemudian mengalami kenaikan HV pada ketebalan 50 mikron. Jika dilihat adanya kecenderungan ini, maka lapisan *hardfacing* bisa mencapai 20 mikron. Penurunan menonjol terlihat pada ketebalan 70 mikron dimana kekerasan jatuh secara dramatis hingga mencapai 200 HV. Kekerasan mulai naik pada ketebalan 100 mikron dan kembali stabil pada jarak 105 mikron. Diatas 105 mikron kekerasan mencapai angka yang stabil sama dengan kekerasan *weld base*.

4.1.2.4 Hasil Uji Kekerasan Sampel 4 (D-3)



Gambar 4.19 Diagram Proses *Hardfacing* Pada Sampel 3 (D-2), Dua Lapisan *Buttering* dan Satu Lapisan *Hardfacing*



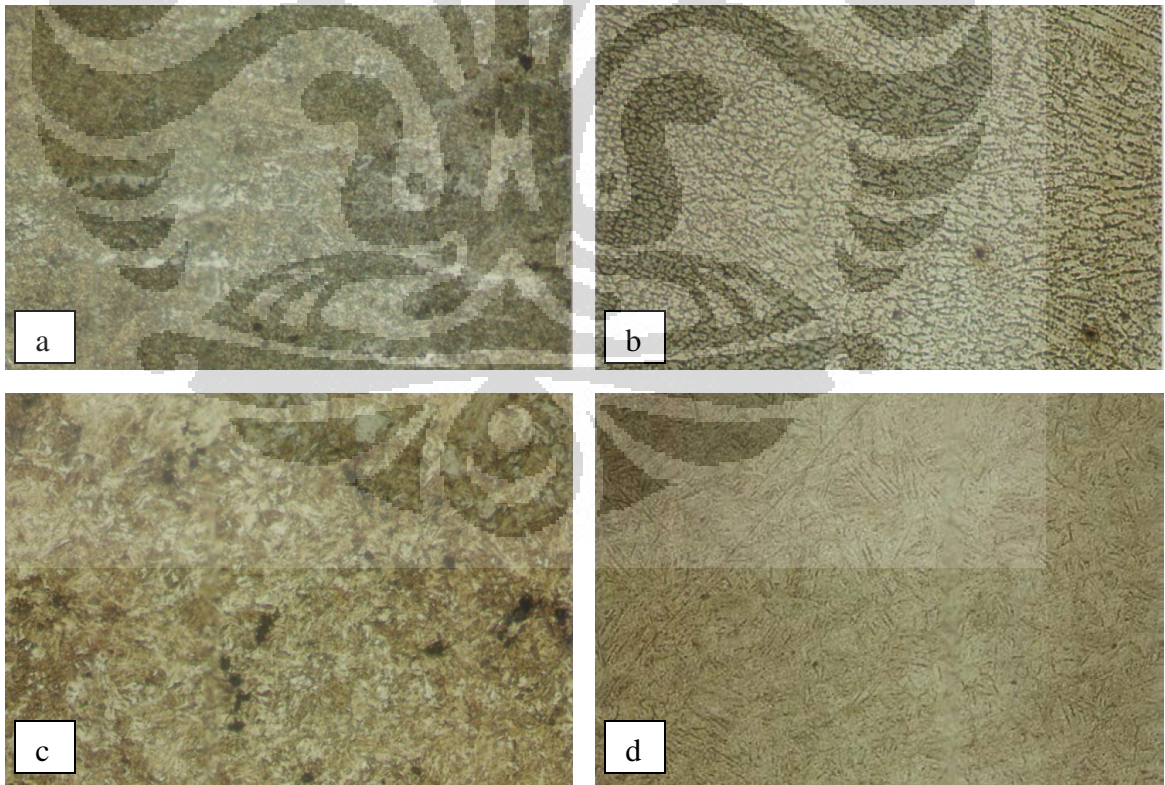
Gambar 4.20 Profil Kekerasan Vertikal Sampel 4, *Buttering* Dengan Elektroda MG DUR 3 Tiga Lapis dan Satu Lapis Elektroda *Hardfacing* dengan MG DUR 65

Sampel 4 menggunakan elektroda *buttering* MG DUR 6 dan menggunakan elektroda *hardfacing* MG DUR 65. Proses *buttering* dilakukan tiga lapis kemudian dilanjutkan dengan proses *hardfacing* satu lapis. Dari grafik dapat dilihat bahwa hingga ketebalan 65 mikron kekerasan cenderung stabil. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi proses difusi yang baik antara lapisan *buttering* dengan lapisan *hardfacing* yang paling atas. Penurunan kekerasan tercatat pada ketebalan 65 mikron dan kembali meningkat pada ketebalan 80 mikron. Jaran antara 80 mikron hingga 105 cenderung stabil dan kemungkinandaerah ini adalah daerah HAZ dengan *base metal*. Pada ketebalan diatas 105 mikron kekerasan cenderung stabil sama dengan kekerasan dari *base metal*.

4.2 Mikrostruktur

4.2.1 Hasil Metalografi Lasan

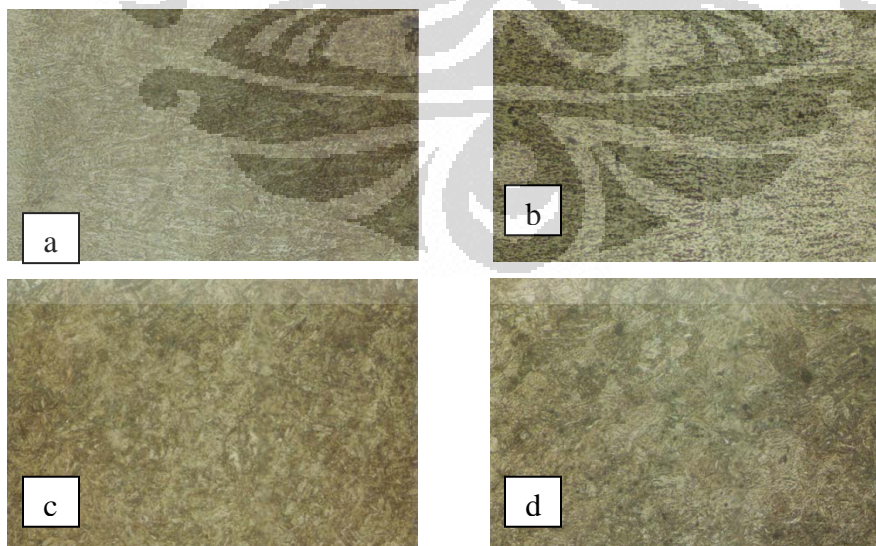
4.2.1.1 Hasil Metalografi Sampel 1



Gambar 4.21 Foto Mikro (dari kiri atas searah jarum jam) a) Mikrostruktur sampel 1 pada bagian *root weld* (E 7018), b) *Cap Weld* (MG DUR 35), c) HAZ pada *root weld*, d) HAZ pada *weld cap*

Foto mikro menunjukkan bahwa pada sampel 1 dimana digunakan *root weld* E 7018 ditemukan adanya struktur ferit sedangkan pada *weld cap* dengan menggunakan elektroda MG NOX 35 ditemukan adanya struktur austenit. Jika dilihat butir dari HAZ, dapat dilihat bahwa HAZ pada *weld root* jauh lebih kasar daripada yang ada di *weld cap*. Jika dibandingkan antara butir pada logam induk (*parent metal*) dan HAZ pada *weld root* terlihat perbedaan yang cukup signifikan yang disebabkan adanya pertumbuhan butir pada saat pemanasan yang berulang. Pemanasan pertama dihasilkan dari tiga lapisan *weld root* kemudian dilanjutkan dengan pemanasan yang dihasilkan dari pengelasan tiga lapisan kedua yang menyebabkan butir bertumbuh menjadi lebih besar. Adanya *pitting* pada HAZ daerah *weld root* menandakan bahwa daerah ini lebih rentan terhadap korosi daripada daerah HAZ *weld cap*. Adanya kecenderungan akan terjadinya korosi akan dibuktikan dan dibahas lebih lengkap pada bagian pembahasan hasil *test immersion*.

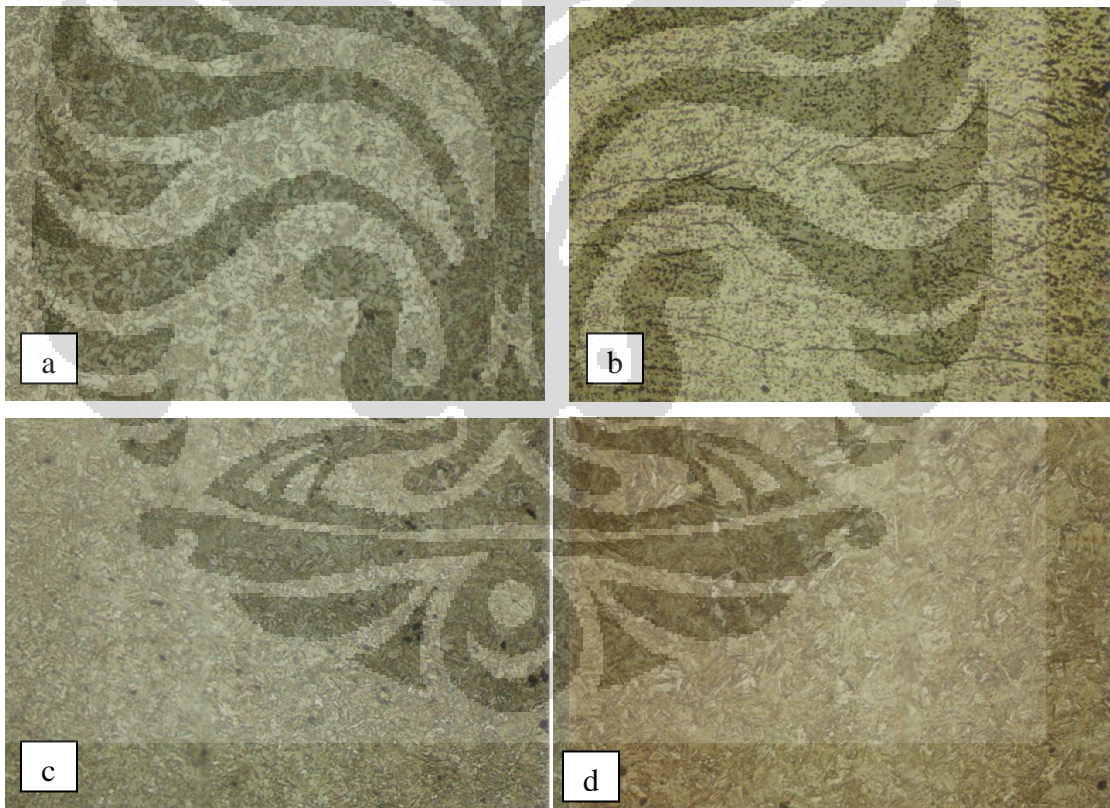
4.2.1.2 Hasil Metalografi Sampel 2



Gambar 4.22 Foto Mikro (dari kiri atas searah jarum jam) a) Mikrostruktur sampel 1 pada bagian *root weld* (MG DUR 35), b) *Cap Weld* (E 7018), c) HAZ pada *root weld*, d) HAZ pada *weld cap*

Dari foto struktur mikro gambar 4.22, dapat dilihat bahwa pada bagian *root weld* ditemukan struktur austenit namun pada bagian ini terlihat lebih halus dibandingkan dengan sampel 1. Sedangkan pada *root cap* ditemukan adanya struktur ferit. Jika ditinjau dari HAZ nya ditemukan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara HAZ pada *weld root* dengan HAZ pada *weld cap*.

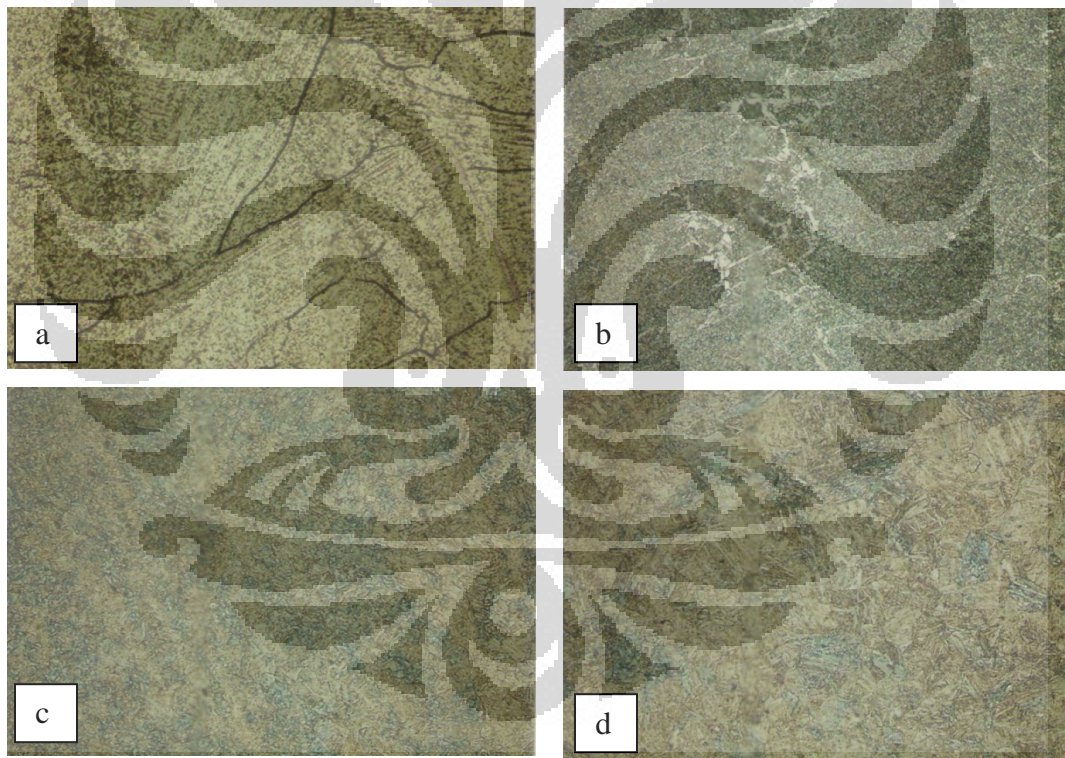
4.2.1.3 Hasil Metalografi Sampel 3



Gambar 4.23 Foto Mikro (dari kiri atas searah jarum jam) a) Mikrostruktur sampel 3 dengan *pre-heat treatment* 200⁰C pada bagian *root weld* (E 7018), b) *Cap Weld* (MG DUR 35), c) HAZ pada *root weld*, d) HAZ pada *weld cap*

Dari foto mikro gambar 4.23, dapat dilihat bahwa pada *weld root* dengan elektroda E7018 dengan *pre-heat treatment* didapatkan struktur *ferrite* sedangkan pada bagian *weld cap* ditemukan retak-retak. HAZ pada *weld root* menunjukkan butir yang lebih kecil daripada yang tidak mengalami *pre-heat treatment*. Jika dibandingkan antara HAZ *weld root* dengan *weld cap* ternyata besar butir pada daerah *weld cap* terlihat lebih besar dan tajam daripada daerah *weld root*. Berkaitan dengan mikrostruktur dari elektroda *weld cap*, maka diperlukan pengamatan lebih lanjut pada daerah ini.

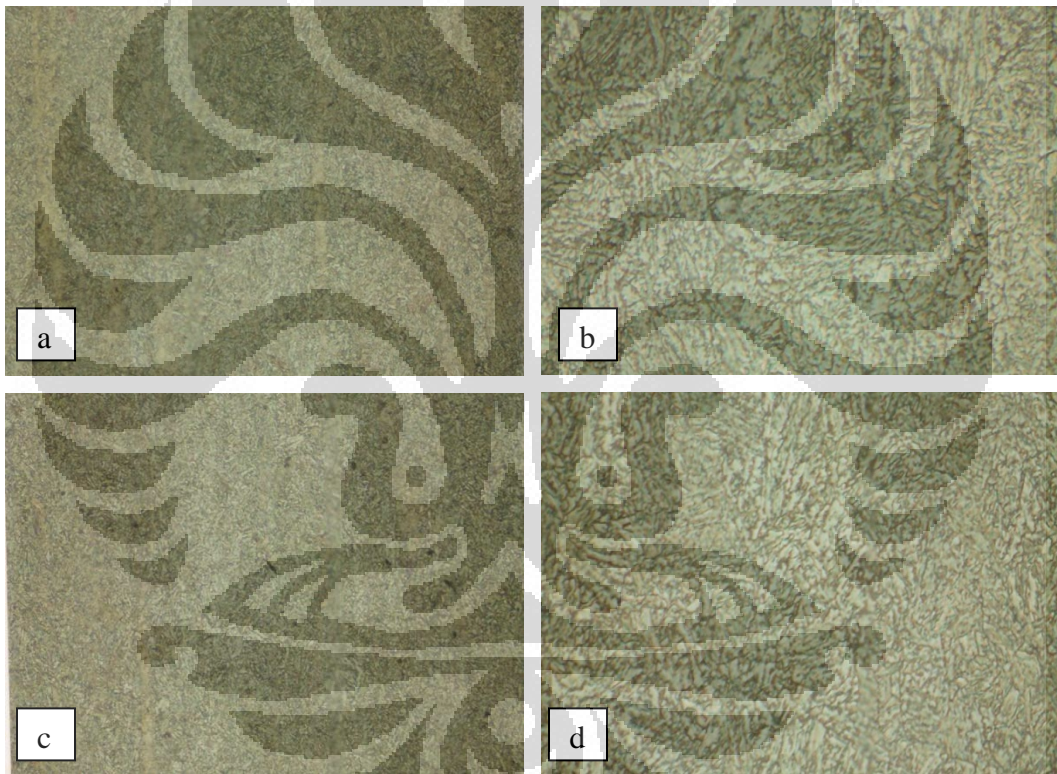
4.2.1.4 Hasil Metalografi Sampel 4



Gambar 4.24 Foto Mikro (dari kiri atas searah jarum jam) a) Mikrostruktur sampel 4 dengan *pre-heat treatment* 200⁰C pada bagian *root weld* (MG NOX 35), b) *Cap Weld* (E 7018), c) HAZ pada *root weld*, d) HAZ pada *Weld Cap*

Dari foto mikro gambar 4.24, dapat dilihat bahwa pada daerah *weld root* dengan elektroda MG NOX 35 ditemukan banyak retak. Jika dihubungkan dengan data kekerasan pada daerah ini memiliki kekerasan yang cukup tinggi mendekati kekerasan dari logam induk sehingga kemungkinan terjadinya *crack* pada daerah ini cukup tinggi. Sedangkan pada *weld cap* tidak ditemukan retak sama sekali. Jika ditinjau dari HAZ maka akan tidak terdapat perbedaan signifikan antara HAZ *weld root* dengan HAZ *weld cap*.

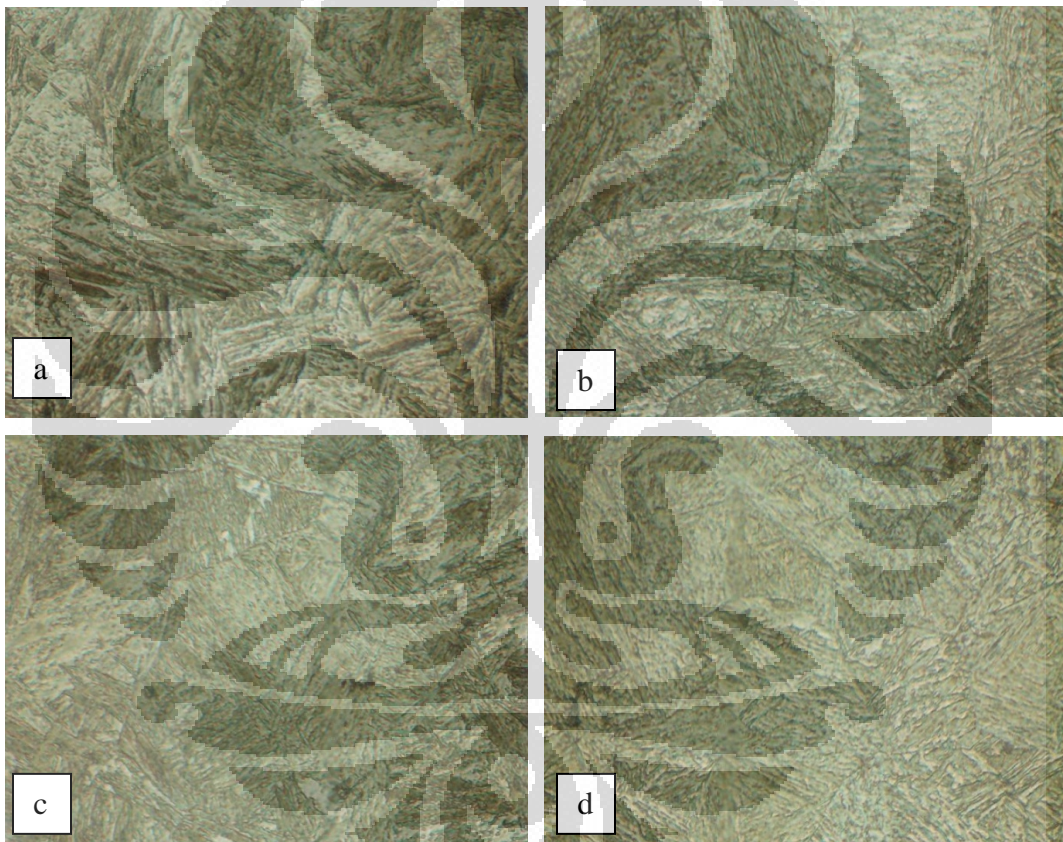
4.2.1.5 Hasil Metalografi Base Metal



Gambar 4.25 Foto Mikro Logam induk (dari kiri atas searah jarum jam) a) Logam induktanpa *pre-heat treatment* dengan perbesaran 100x, b) Logam induktanpa *pre-heat treatment* dengan perbesaran 500x, c) Logam indukdengan *pre-heat treatment* dengan perbesaran 100x, d) Logam indukdengan *pre-heat treatment* dengan perbesaran 500X

Foto struktur mikro gambar 4.25, pada logam induk menunjukkan adanya *martensit*, *austenit* sisa dan *bainite*. Jika dibandingkan antara foto bagian atas dan bagian bawah secara umum tidak terdapat perbedaan signifikan secara mikrostruktur antara logam induk yang mengalami *pre-heat treatment* maupun yang tidak mengalami *pre-heat treatment*.

4.2.1.6 Hasil Metalografi HAZ

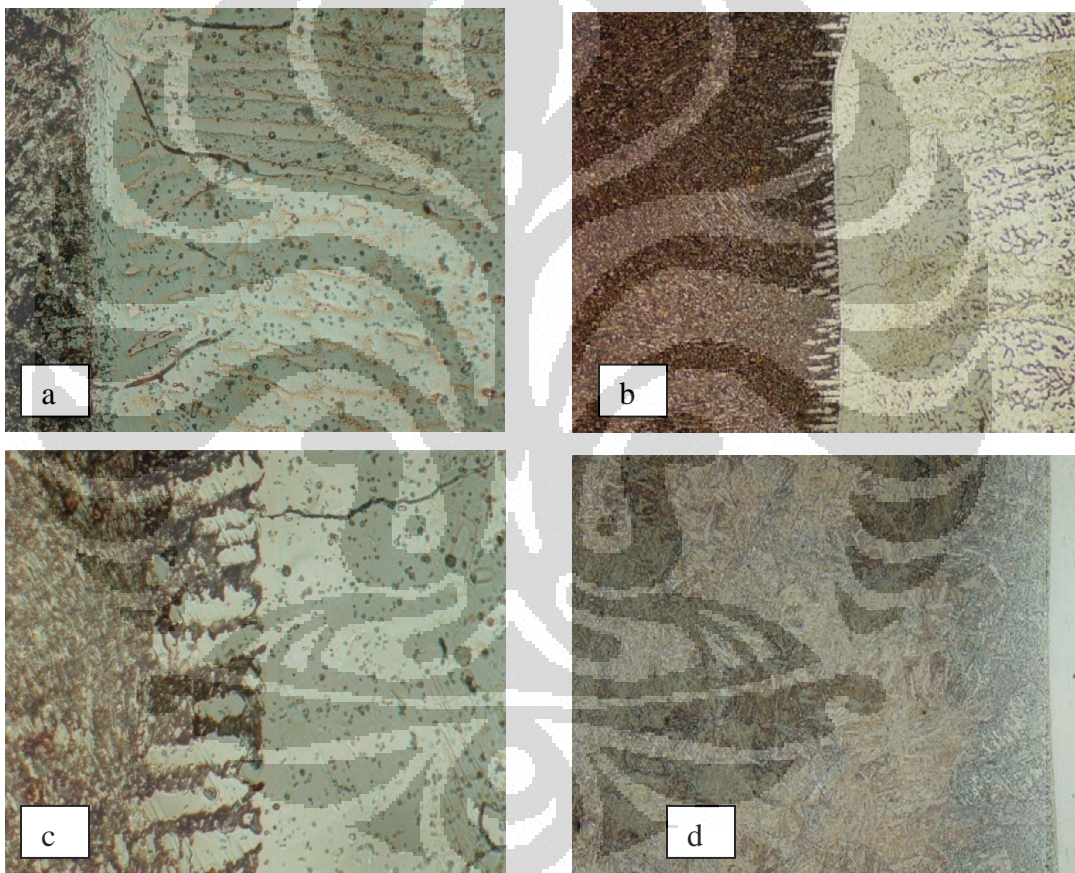


Gambar 4.26 Foto Mikro HAZ (dari kiri atas serah jarum jam) a) HAZ pada *weld root* pada sampel 1, b) HAZ pada *weld caps* sampel 2, c) HAZ pada *weld caps* sampel 3, d) HAZ pada *weld roots* sampel 4

Foto mikrostruktur diatas menunjukkan bahwa pada butir pada HAZ yang tidak di *pre-heat treatment* memiliki butir yang besar-besar dan juga kasar jika dibandingkan dengan HAZ yang diberikan perlakuan *pre-heat treatment*.

4.2.2 Hasil Metalografi *Hardfacing*

4.2.2.1 Hasil Metalografi Sampel 1 (3-1)

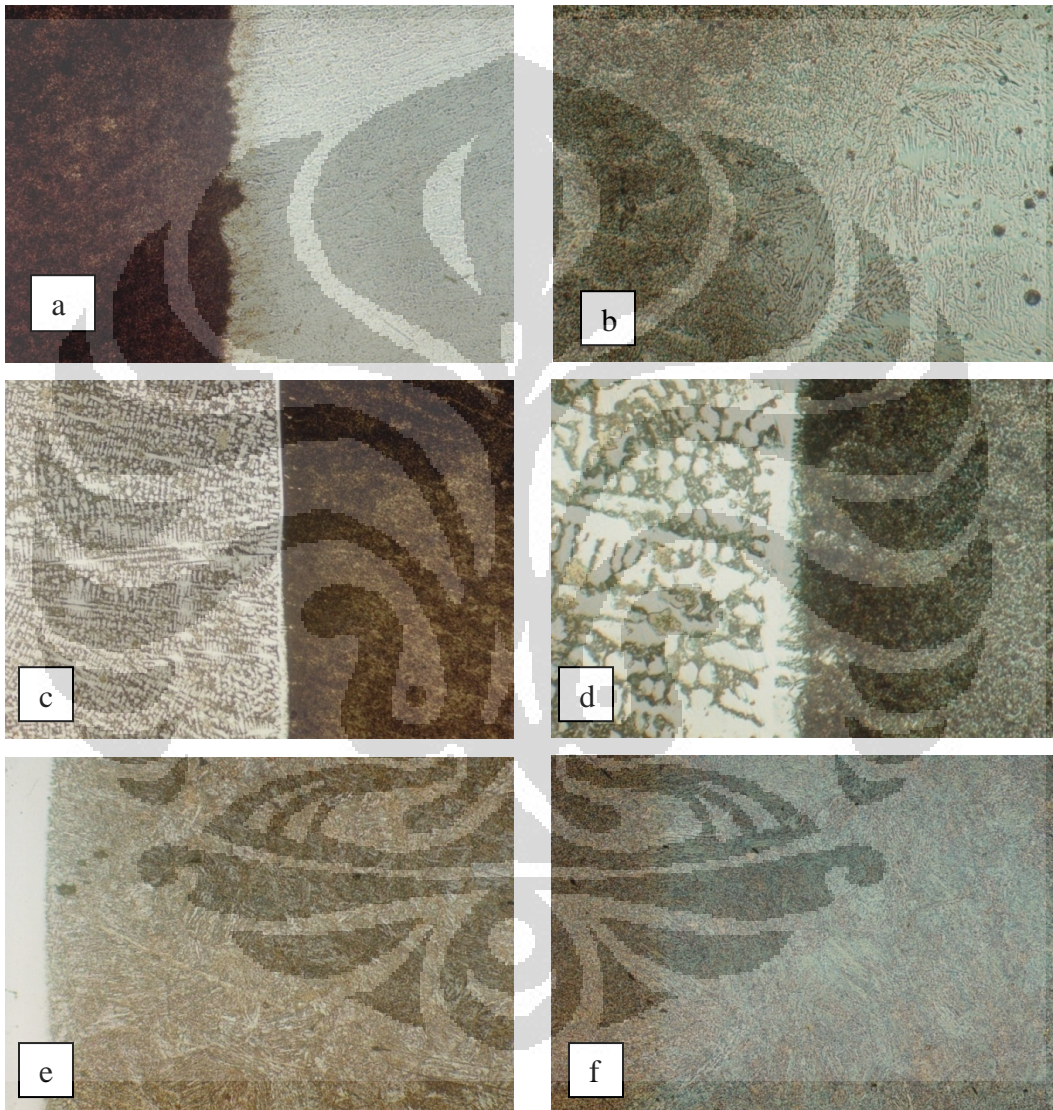


Gambar 4.27 Foto Mikro Sampel 3-1 a) Daerah *buttering* 309 perbesaran 500x, b) lapisan *hardfacing* (gelap) dan *buttering* (terang) 100x, c) lapisan *hardfacing* (gelap) dan *buttering* (terang) 500x, d) HAZ 100x

Dari hasil foto mikro gambar 4.27 didapatkan bahwa lapisan *buttering* menunjukkan struktur *austenit* sedangkan lapisan *hardfacing* merupakan struktur

karbida. Pada daerah buttering ditemukan adanya *micro crack* yang terutama muncul pada daerah perbatasan antara daerah buttering dan *hardfacing*. *Interface* antara daerah *hardfacing* dengan daerah *buttering* menunjukkan struktur dendrit.

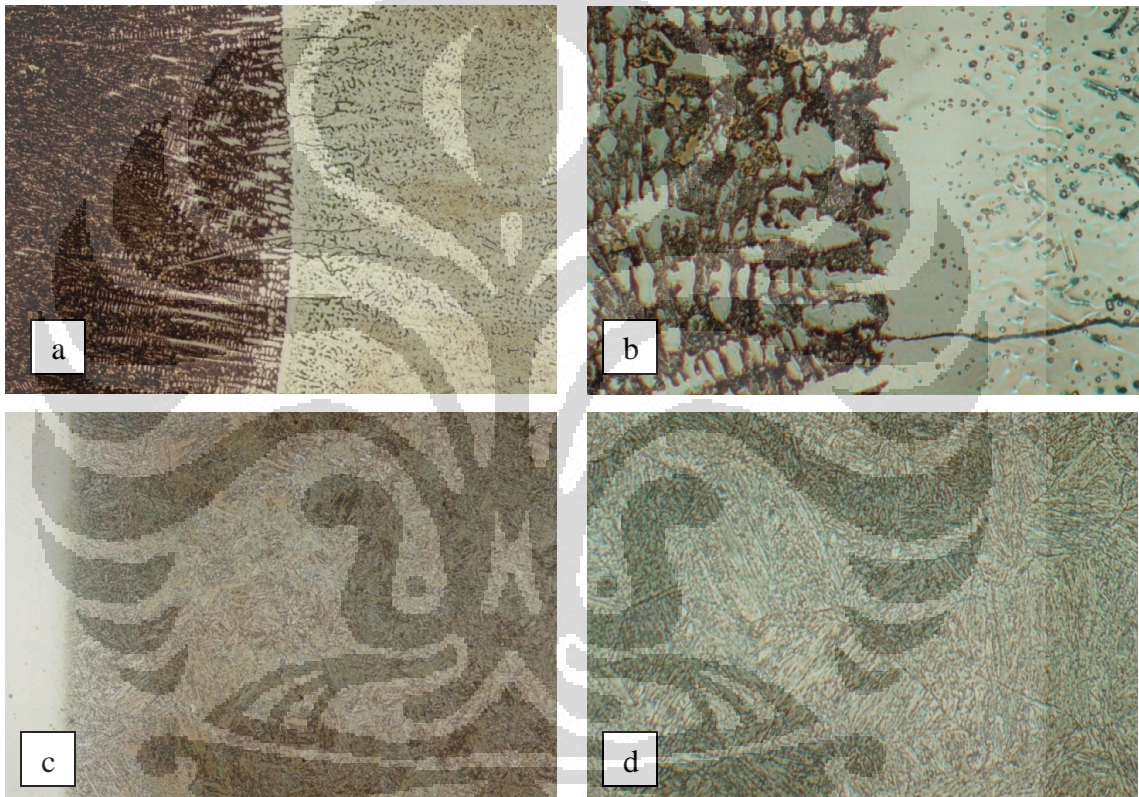
4.2.2.2 Hasil Metalografi Sampel 2 (3-3)



Gambar 4.28 Foto Mikro Sampel 3-3 a) *interface buttering 1 dan buttering 2* 100x, b) *interface buttering 1 dan buttering 2* 500x, c) *hardfacing* (terang) dan *buttering* (gelap) 100x, d) *hardfacing* (terang) dan *buttering* (gelap) 500x, e) HAZ 1 100x, f) HAZ 2 100x

Pada gambar 4.28 sampel 2 (3-3) lapisan antar *buttering* terlihat jelas. Sedangkan pada *interface* antara lapisan *hardfacing* dengan lapisan *buttering* sama seperti pada sampel 1 (3-1) dimana pada daerah ini ditemukan adanya struktur dendrit mengarah ke arah lapisan *hardfacing*. Terdapat perbedaan antara *buttering* 1 lapis dengan 3 lapis yaitu tidak ditemukannya *crack* mikro pada lapisan *buttering*.

4.2.2.3 Hasil Metalografi Sampel 3 (D-2)

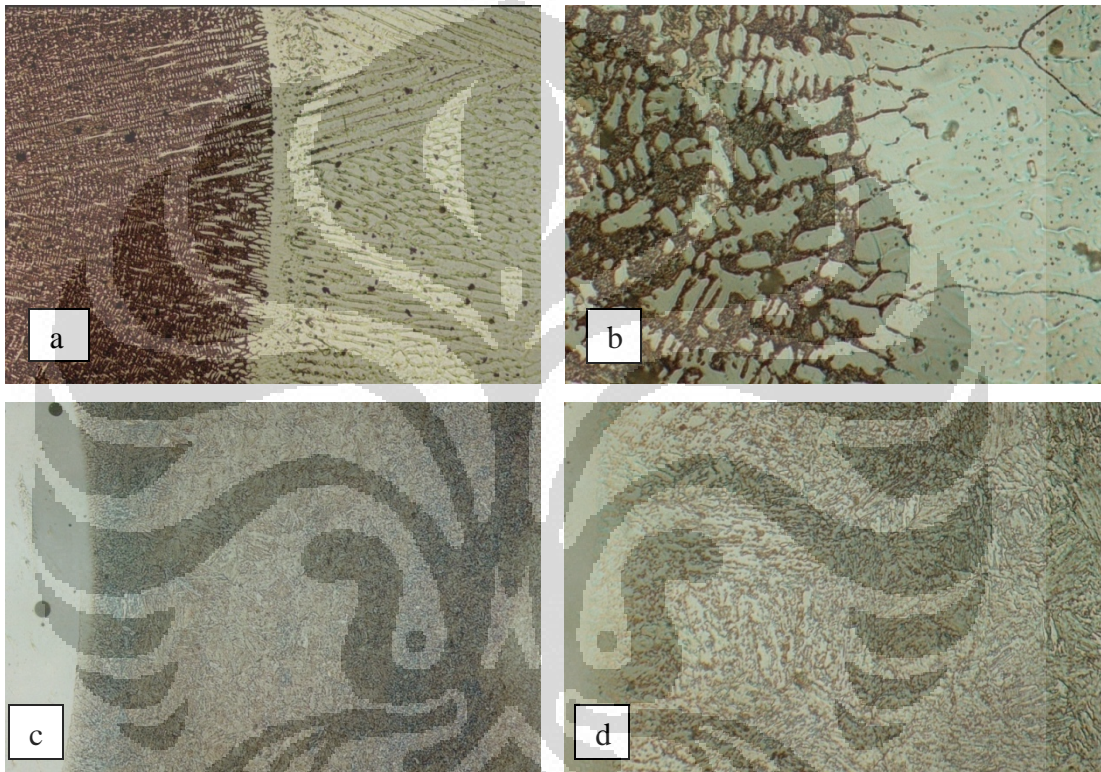


Gambar 4.29 Foto Mikro D-2 a) *hardfacing* (gelap), *butter*(terang) 100x, b) *hardfacing* (gelap), *butter* (terang) 500x, c) HAZ 100 x , d) HAZ 500x

Pada gambar 4.29 foto makro sampel 3 dimana digunakan MG DUR 3 sebagai elektroda *buttering*. Elektroda ini memiliki kandungan tungsten dan niobium namun tidak seperti elektroda *hardfacing* yang digunakan, elektroda ini tidak memiliki kandungan krom. Morfologi daerah *hardfacing* sama seperti sampel-sampel sebelumnya yaitu cenderung berbentuk dendritik menyerupai jarum-jarum

halus yang terbentuk pada daerah lapisan *hardfacing*. Pada daerah *buttering* terjadi mikro *crack* yang disebabkan tingginya kekerasan lapisan *buttering* selain itu kemungkinan terjadinya mikro *crack* ini antara lain dikarenakan proses pengelasan dan *pre heating* pada elektroda yang kurang sempurna.

4.2.2.4 Hasil Metalografi Sampel 4 (D-3)



Gambar 4.30 Foto Mikro D-3 a) *hardfacing* (gelap), *butter* (terang) 100x, b) *hardfacing* (gelap), *butter* (terang) 500x, c) HAZ 100x, d) HAZ 500x

Pada gambar 4.30 sampel 4 (D-3) digunakan lapisan *buttering* MG DUR 3 sebanyak 3 lapis kemudian dilakukan proses *hardfacing*. Terlihat pada foto mikro bahwa terjadi alur-alur yang tampak teratur dari daerah *hardfacing* menuju lapisan *buttering*. Struktur *interface* pada daerah *hardfacing* dan *buttering* sama seperti sampel-sampel sebelumnya yaitu dendritik. HAZ pada daerah *buttering* dan logam induk menunjukkan struktur *pearlite* yang berbentuk kolumnar.

4.3 Immertion Test

Immersion dilakukan pada 6 sampel yang menggunakan elektroda dengan kadar Cr tinggi. Terutama pada sampel *hardfacing*, sampel dengan *buttering* MG DUR 3 tidak digunakan karena tidak mengandung unsur krom. Awalnya proses uji korosi ini difokuskan untuk mengamati adanya korosi sumuran yang mungkin terjadi pada elektroda-elektroda yang mengandung krom tinggi namun setelah tes dilakukan ternyata korosi galvanik terlihat lebih dominan. Berikut adalah hasil uji test korosi yang dilakukan berdasarkan ASTM G31 dan G 48.



Gambar 4.31 Foto Sampel Sebelum Dilakukan Uji Celup Dari Sebelah Kiri Atas ke Bawah a) Sampel 1 *welding*, b) Sampel 2 *welding*, c) Sampel 3 *welding*, d) Sampel 4 *welding*, e) Sampel 3-1 *hardfacing*, f) Sampel 3-3 *hardfacing*

Proses Uji Celup didahului dengan proses persiapan sampel terutama pada bagian yang akan diamati yaitu pada potongan membujur terhadap hasil lasan dan *hardfacing*. Persiapan dilanjutkan dengan proses pengalusan permukaan dengan menggunakan amplas dari grid 100 hingga ke 1500.

Berdasarkan Astm G31 banyaknya larutan FeCl₃ yang dibutuhkan per mm₂ adalah 0,2 ml. Berikut adalah tabel banyaknya larutan FeCl₃ yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} \text{luas permukaan S1} &= 2(54 \times 12) + 2(12 \times 12) + 2(54 \times 12) \\ &= 2880 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{massa S1} = 63,27 \text{ gr}$$

$$\text{Volume} = 2880 \text{ mm}^2 \times 0,2 = 576 \text{ ml}$$

Tabel 4.4 Tabel Luas Permukaan dan Volume Larutan FeCl₃ yang dibutuhkan

Sampel	A (mm ²)	V (ml)
S1	2880	576
S2	3144	628,8
S3	2962	592,4
S4	3025	605
S5	3278,4	655,68
S6	2948,38	589,68

Keterangan :

A = Luasan permukaan sampel dalam mm²

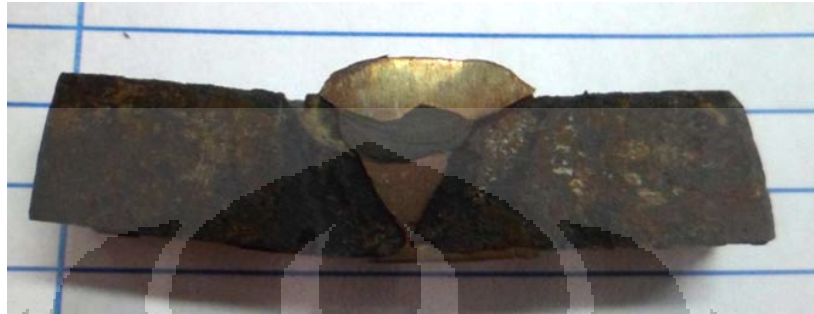
V = Volume larutan FeCl₃ yang dibutuhkan dalam ml

M₀ = Massa awal sebelum *immersion* dilakukan (dalam gram)

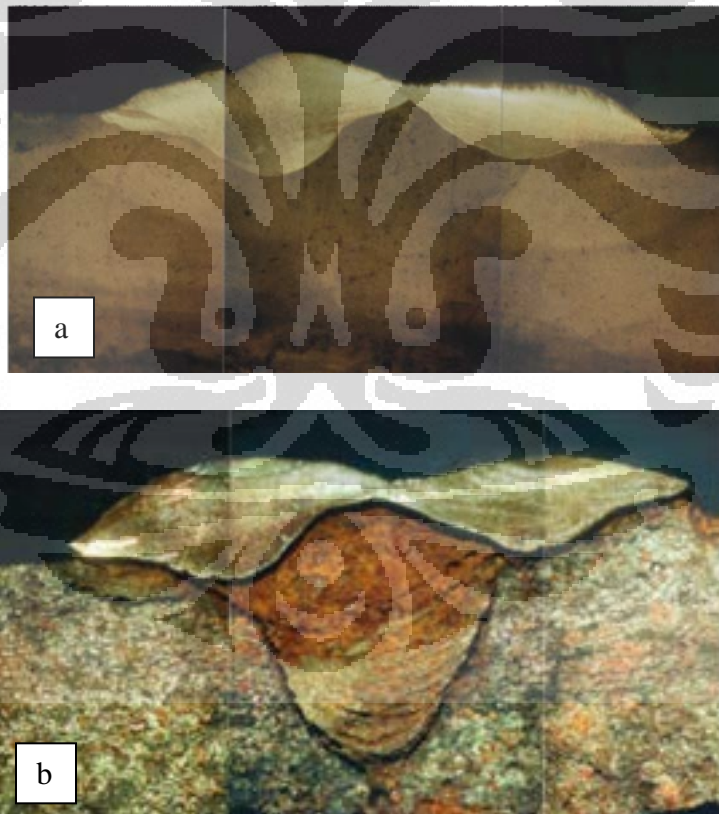
M₁ = Massa sampel setelah *immersion* (dalam gram)

4.3.1 Hasil Uji Celup Lasan

4.3.1.1 Hasil Uji Celup Lasan Sampel 1



Gambar 4.32 Foto hasil Uji Celup Sampel 1 (*weld root* ER 7018 dan *weld cap* MG NOX 35)



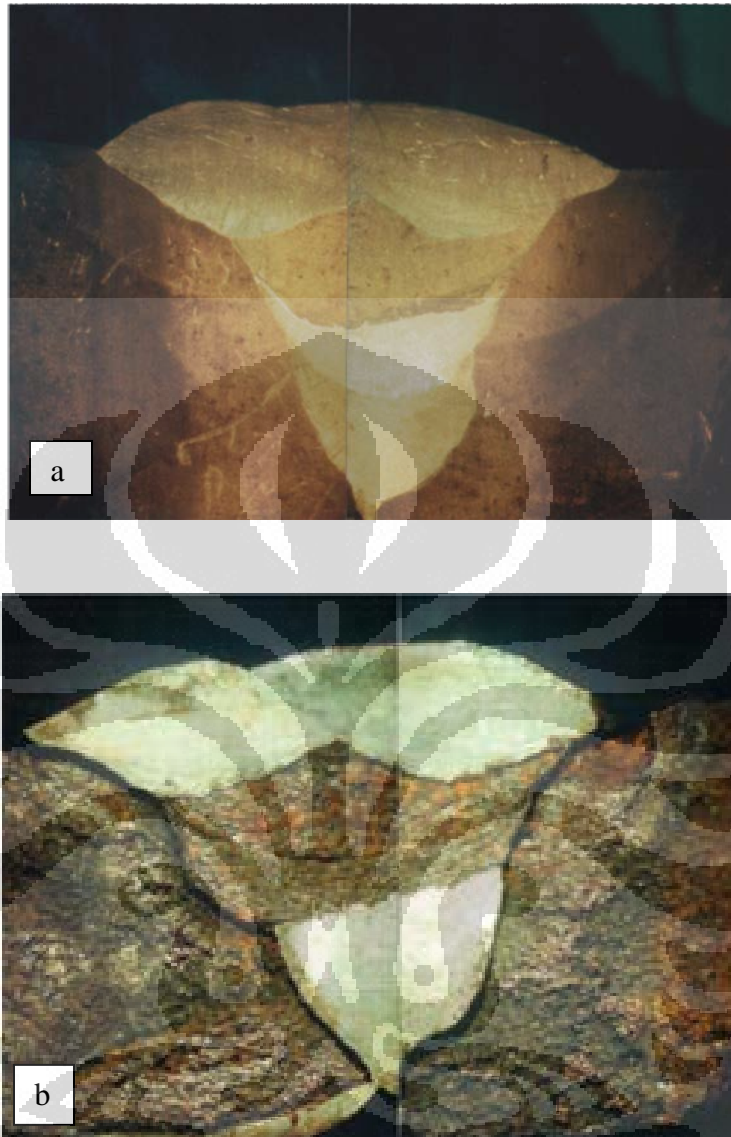
Gambar 4.33 a) Foto Makro Sebelum Uji Celup Dilakukan, b) Foto Makro Setelah Uji Celup Dilakukan

Gambar 4.33 menunjukkan foto hasil uji celupsampel 1 yang menunjukkan bahwa telah terjadi proses korosi pada hampir seluruh potongan las. Hanya pada bagian *weld cap* secara makro tidak ditemukan adanya produk korosi. Korosi yang dominan terjadi adalah proses korosi galvanik yang terjadi diantara bagian-bagian dari lasan. Dari hasil ini diketahui bahwa lapisan HAZ termakan paling banyak yang ditandai dengan adanya cekungan dalam pada daerah ini. Proses tumbuhnya butir pada daerah dekat dengan lasan menyebabkan daerah HAZ menjadi rentan terhadap korosi daripada daerah yang lebih jauh dari daerah lasan. Dalam hal ini daerah HAZ merupakan daerah paling anodik diantara seluruh permukaan lasan. Jika dibuat secara berurutan dari yang paling katodik adalah sebagai berikut : *Weld Cap* (MG NOX 35), *Weld Root* (7018), daerah *interface* antara *Weld Cap* dan *Weld Root*, HAZ. Daerah *Interface* menjadi cukup rentan terhadap korosi disebabkan adanya korosi mikro galvanik diantara komponen-komponen penyusunnya.

4.3.1.2 Hasil Uji Celup Lasan Sampel 2



Gambar 4.34 Foto hasil uji celup sampel 2 (*weld root* MG NOX 35 dan *weld cap* ER 7018)

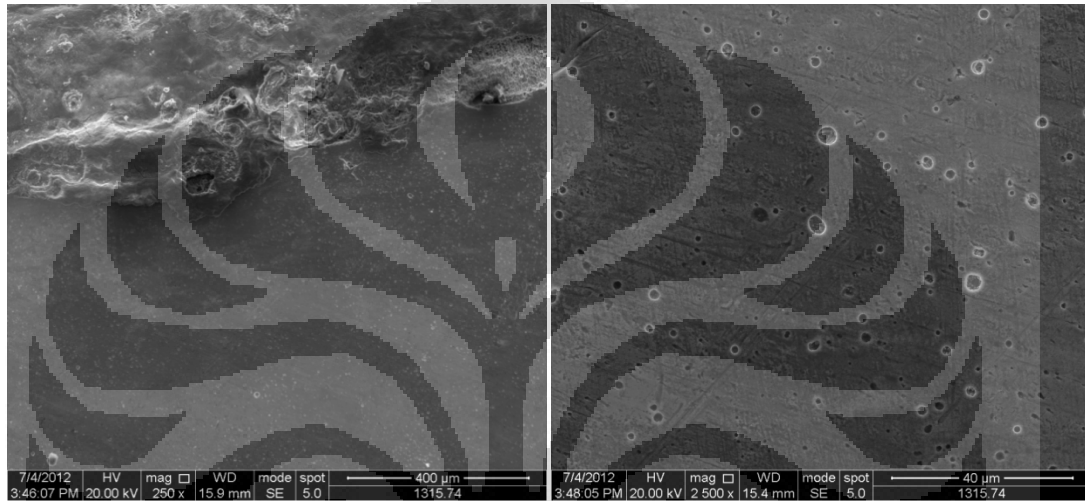


Gambar 4.35 a)Foto Makro Sebelum Uji Celup Dilakukan, b) Foto Makro Setelah Uji Celup Dilakukan Dengan Perbesaran 7X

Gambar 4.35 menunjukkan adanya korosi galvanik yang parah pada daerah HAZ dari yang ditandai dengan adanya cekungan yang dalam antara *weld metal* dengan *base metal*.

Proses korosi galvanik juga terjadi pada antar lapisan lasan dimana 7018 cenderung menjadi anoda dari MG DUR 35. Jika dibandingkan foto makro sebelum

dan sesudah tes celup dapat diamati bahwa terjadi korosi yang parah pada daerah HAZ. Kemudian disusul dengan daerah *interface* antara lasan dengan elektroda MG NOX 35 dan 7018. Daerah *interface* ini memiliki komposisi kimia campuran antara kedua elektroda. Jika dibuat secara berurutan dari yang paling katodik adalah sebagai berikut : *Weld Cap* (MG NOX 35), *Weld Root* (7018), daerah *interface* antara *WeldCap* dan *Weld Root*, HAZ.



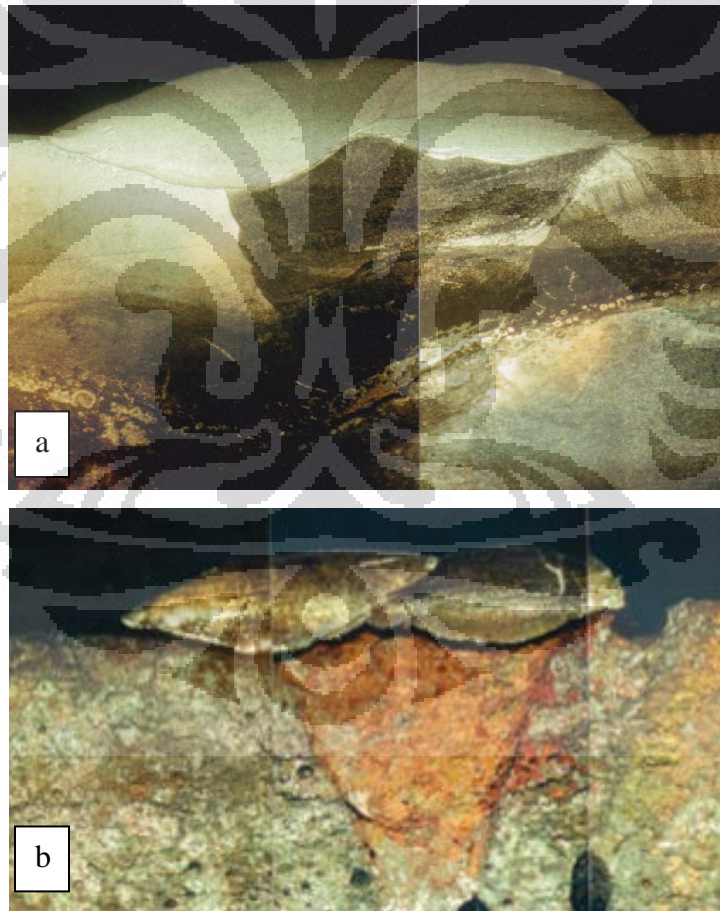
Gambar 4.36 Foto SEM Pada MG NOX 35 Menunjukkan Adanya Mikropitting

MG NOX 35 merupakan elektroda yang mengandung unsur krom 20,1 % merupakan material yang memiliki ketahanan yang cukup baik terhadap korosi. Namun demikian dalam kondisi setelah uji celup ditemukan adanya *micropitting* pada permukaan MG NOX 35 ini. Ukuran *pitting* berkisar antara 1 hingga 5 mikron.

4.3.1.3 Hasil Uji Celup Lasan Sampel 3



Gambar 4.37 Foto Hasil Uji Celup sampel 3 (*weld root 7018* dan *weld cap MG NOX 35*)



Gambar 4.38 a) Foto Makro Sebelum Uji Celup Dilakukan, b) Foto Makro Setelah Uji Celup Dilakukan Dengan Perbesaran 7X

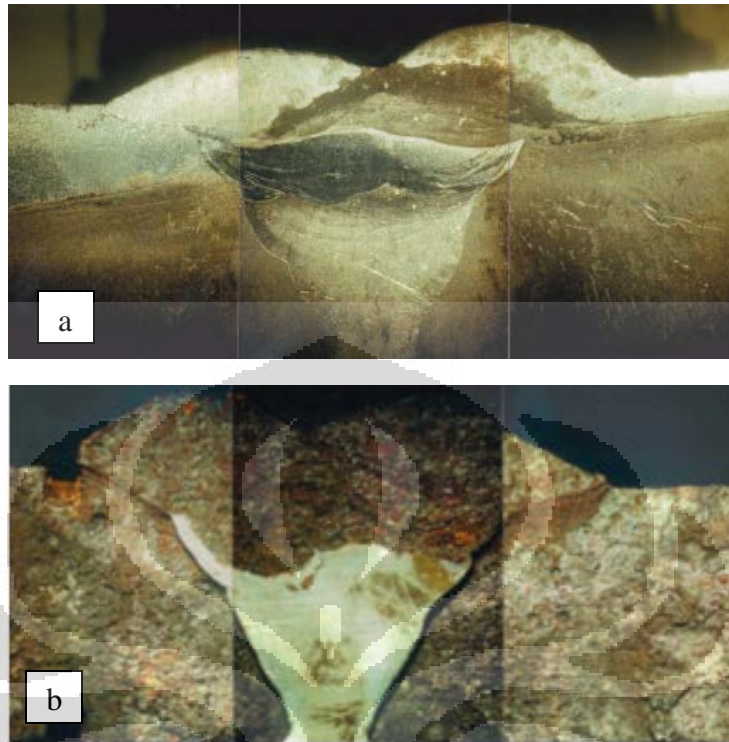
Secara umum terjadi tiga macam korosi galvanik HAZ dengan 7018, HAZ dengan MG NOX 35, dan antara 7018 dengan MG NOX 35. Pada korosi galvanik antara HAZ dengan 7018 dimana 7018 menjadi katoda sedangkan HAZ. Pada pasangan galvanik HAZ dengan MG DUR 35 HAZ menjadi anoda sedangkan MG DUR 35 menjadi katoda. Pada pasangan galvanik ini, karena perbedaan potensial lebih tinggi maka laju pemakanan karena korosi menjadi lebih tinggi. Proses korosi galvanik terakhir terjadi pada MG DUR 35 dan 7018 dimana MG DUR 35 menjadi katoda sedangkan 7018 menjadi anoda.

Jika dibandingkan antara hasil uji celup antara sampel 1 dan sampel 3 ditemukan perbedan signifikan di daerah *weld metal* 7018. Setelah mengalami proses *pre-heat treatment* 7018 cenderung lebih mudah terkena korosi. Jika dilihat dari hasil EDAX pada daerah ini, sampel 3 memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi daripada sampel 1. Dengan adanya hal ini maka 7018 yang dikenakan perlakuan *pre-heat treatment* cenderung lebih rentan terhadap korosi daripada yang tidak diberi perlakuan *pre-heat treatment*.

4.3.1.4 Hasil Uji Celup Lasan Sampel 4



Gambar 4.39 Foto Hasil Uji Celup sampel 4 (dengan *pre heat treatment weld root* MG NO 35 dan *weld cap* 7018)



Gambar 4.40 a) Foto Makro Sebelum Uji Celup Dilakukan, b) Foto Makro Setelah Uji Celup Dilakukan Dengan Perbesaran 7X

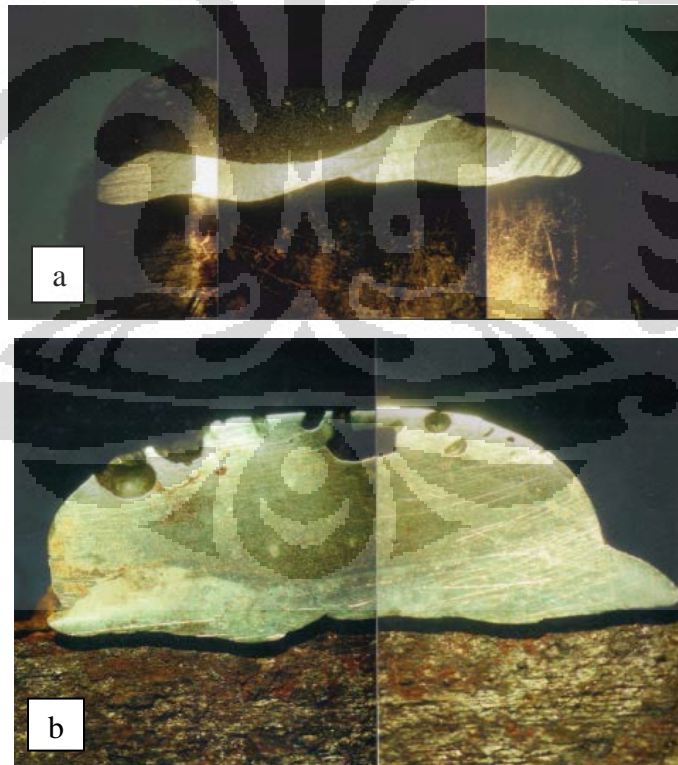
Pada hasil Uji Celup sampel 4 dapat dilihat bahwa terjadi korosi galvanik antara lapisan lasan. Pada hasil foto makro diamati bahwa MG NOX 35 menjadi katodik bagi anodiknya 7018 sehingga terlihat adanya rongga antar lapisan MG NOX 35 dan 7018. Dari foto diamati bahwa daerah HAZ mengalami proses korosi yang cukup parah namun jika dibandingkan dengan sampel-sampel sebelumnya korosi pada HAZ sampel 4 terlihat lebih baik. Jika diurutkan dari yang paling katodik ke paling anodik dari komponen-komponen penyusun lasan adalah sebagai berikut : MG NOX 35 (*weld root*), *Interface* antara MG NOX 35 dan 7018, 7018, HAZ.

4.3.2 Hasil Uji Celup *Hardfacing*

4.3.2.1 Hasil Uji Celup Sampel 3-1



Gambar 4.41 Foto Hasil Uji Celup Sampel *hardfacing* 3-1 (Satu lapis *buttering* Dengan Elektrode ER 309 L dan Satu Lapisan *hardfacing*)



Gambar 4.42 a) Foto Makro Sebelum Uji Celup Dilakukan, b) Foto Makro Setelah Uji Celup Dilakukan Dengan Perbesaran 7X

Gambar 4.42 menunjukkan hasil uji celup yang menunjukkan bahwa lapisan *buttering* dan *hardfacing* tidak mengalami korosi sedangkan hal sebaliknya terjadi pada daerah HAZ dimana terlihat cekungan di daerah logam induk yang mengalami laju pemakanan lebih tinggi. Diantara seluruh daerah, HAZ menjadi area yang paling anodik sehingga paling banyak mengalami korosi. Hal ini ditunjukkan dengan jelasnya daerah garis fusi batas antara lapisan *buttering* dengan daerah HAZ. Urutan daerah dari yang paling katodik adalah sebagai berikut: MG DUR 65 (*hardfacing*), ER 309 L (*buttering*), HAZ.

4.3.2.2 Hasil Uji Celup Sampel 3-3

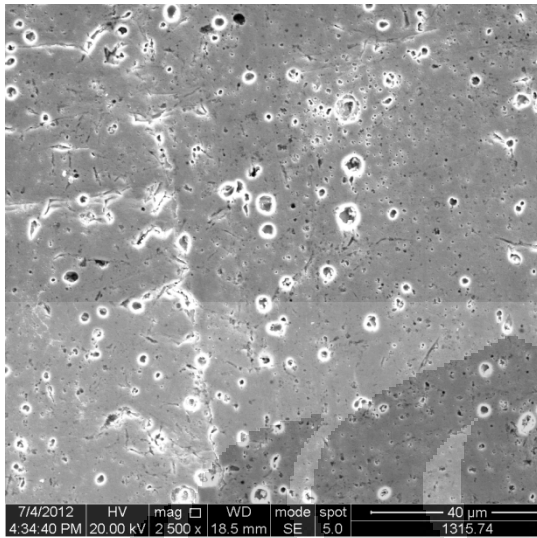


Gambar 4.43 Foto Hasil Uji Celup Sampel *hardfacing* 3-3 (3 lapis *buttering* dengan elektrode ER 309 L dan satu lapisan *hardfacing*)

a

b

Gambar 4.44 a) Foto Makro Sebelum Uji Celup Dilakukan, b) Foto Makro Setelah Uji Celup Dilakukan Dengan Perbesaran 7X



Gambar 4.45 SEM Pada Lapisan *Buttering* ER 309 L Menunjukkan Adanya *Mikropitting*

Hal yang sama juga terjadi pada sampel *hardfacing* 3-3 dimana daerah *hardfacing* dan *buttering* tidak mengalami korosi sedangkan daerah HAZ dan logam induk mengalami korosi yang parah. Sama seperti sampel *hardfacing* sebelumnya, HAZ menjadi wilayah yang paling anodik sehingga banyak mengalami korosi. Jika diurutkan dari daerah paling katodik ke paling anodik adalah sebagai berikut: MG DUR 65 (*hardfacing*), ER 309 L (*buttering*), HAZ.

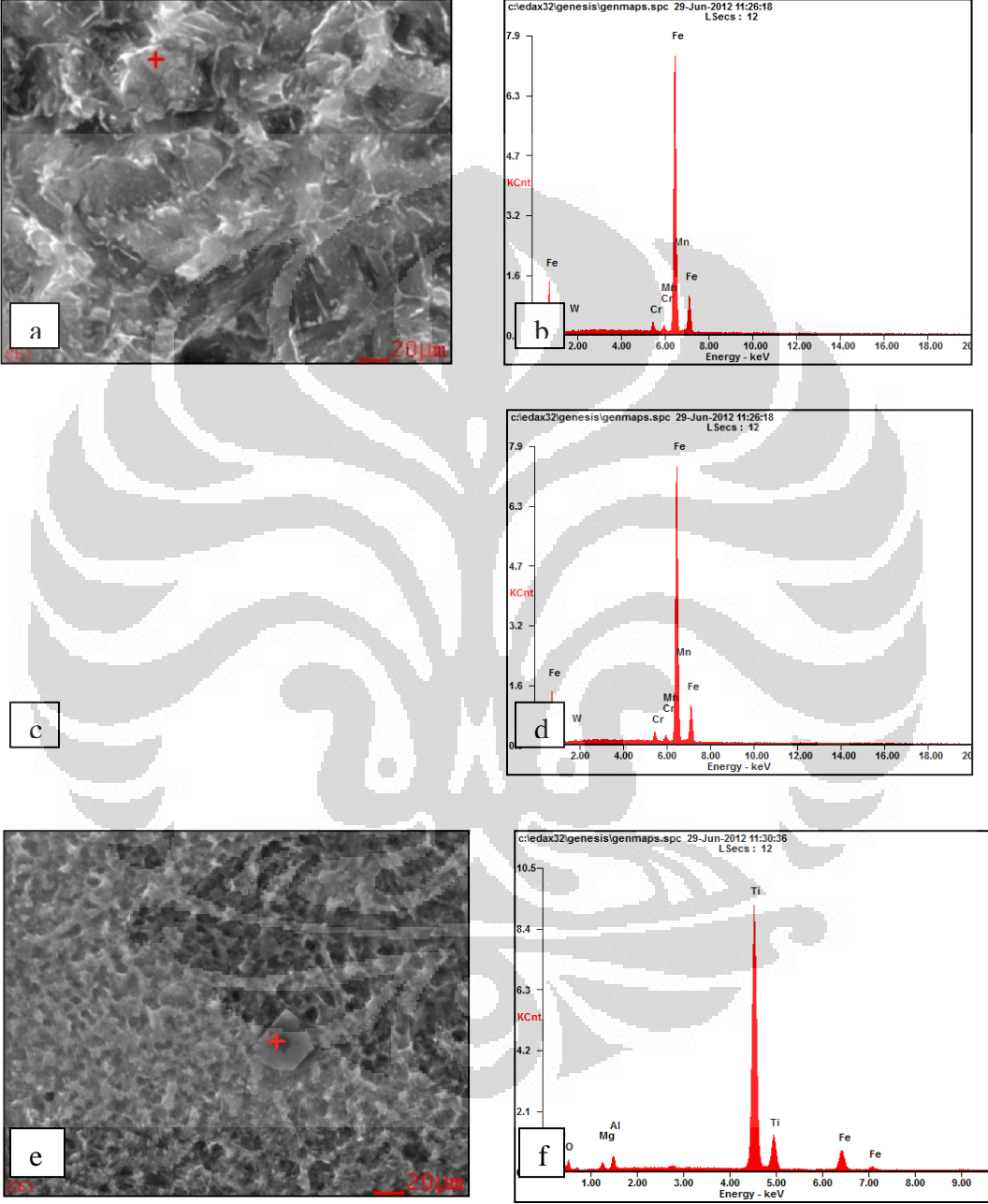
Untuk mengetahui kemungkinan terjadinya mikro *pitting* pada *weld metal* ER 309 L maka diambil foto SEM sesuai gambar 4.45 pada bagian *interface* antara lapisan *hardfacing* dan lapisan *buttering* 309. Dari gambar 4.45 ini ternyata ditemukan banyak mikro *pitting* yang memiliki ukuran antara 0,5 sampai 2 mikron.

4.4 Hasil SEM dan EDAX

Pengamatan melalui SEM dan EDAX difokuskan di daerah HAZ dan *interface* antara lapisan baik antara lapisan lasan dan lapisan *buttering*. Berikut adalah hasil dan pembahasannya

4.4.1 Sampel 1

4.4.1.1 HAZ Antara Logam Induk Dengan Weld Root (7018)



Gambar 4.46 HAZ antara logam induk dengan *weld root* (7018) a,b,c,d) Matriks pada HAZ, e) *Hard Presipitat* karbida Ti, f) Spektrum pada *Hard Presipitat* di HAZ

Gambar 4.46 menunjukkan adanya *hard presipitat* Titanium yang berasal dari logam induk (CREUSABO 4800). Karbida titanium ini bermigrasi dari logam induk ke daerah HAZ dan membentuk karbida Titanium yang keras. Berdasarkan hasil pengukuran kekerasan diketahui bahwa keberadaan Titanium meningkatkan kekerasan pada daerah HAZ hingga mencapai 516 VH bahkan lebih tinggi daripada kekerasan rata-rata *base metal*.

4.4.1.2 HAZ Antara Logam Induk Dengan *Weld Cap* (MG NOX 35)



a

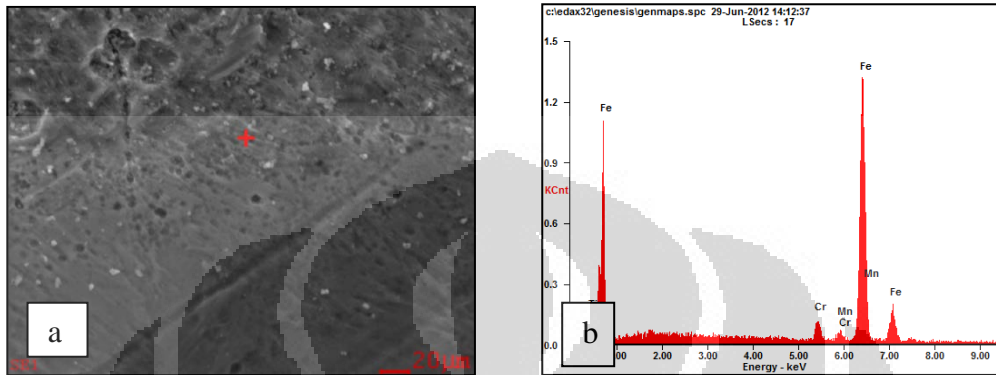
b

Gambar 4.47 HAZ Antara Logam Induk Dengan *Weld Cap* (MG NOX 35) Dimana Ditemukan Karbida Krom

Pada HAZ antara *base metal* dengan *weld cap* (MG NOX 35) ditemukan adanya kandungan karbida krom yang tersebar merata di dalam matriks. Jika dilihat dari kuantitasnya krom yang ditemukan pada matriks merupakan hasil migrasi dari elektroda MG NOX 35 yang memiliki kandungan krom lebih tinggi daripada base metal. Adanya presipitat krom ini menyebabkan tingginya kekerasan pada bagian HAZ, namun demikian jika dibandingkan dengan HAZ *weld root*, maka nilai kekerasan pada HAZ pada bagian *weld root* lebih tinggi daripada daerah *weld cap*.

4.4.2 Sampel 2

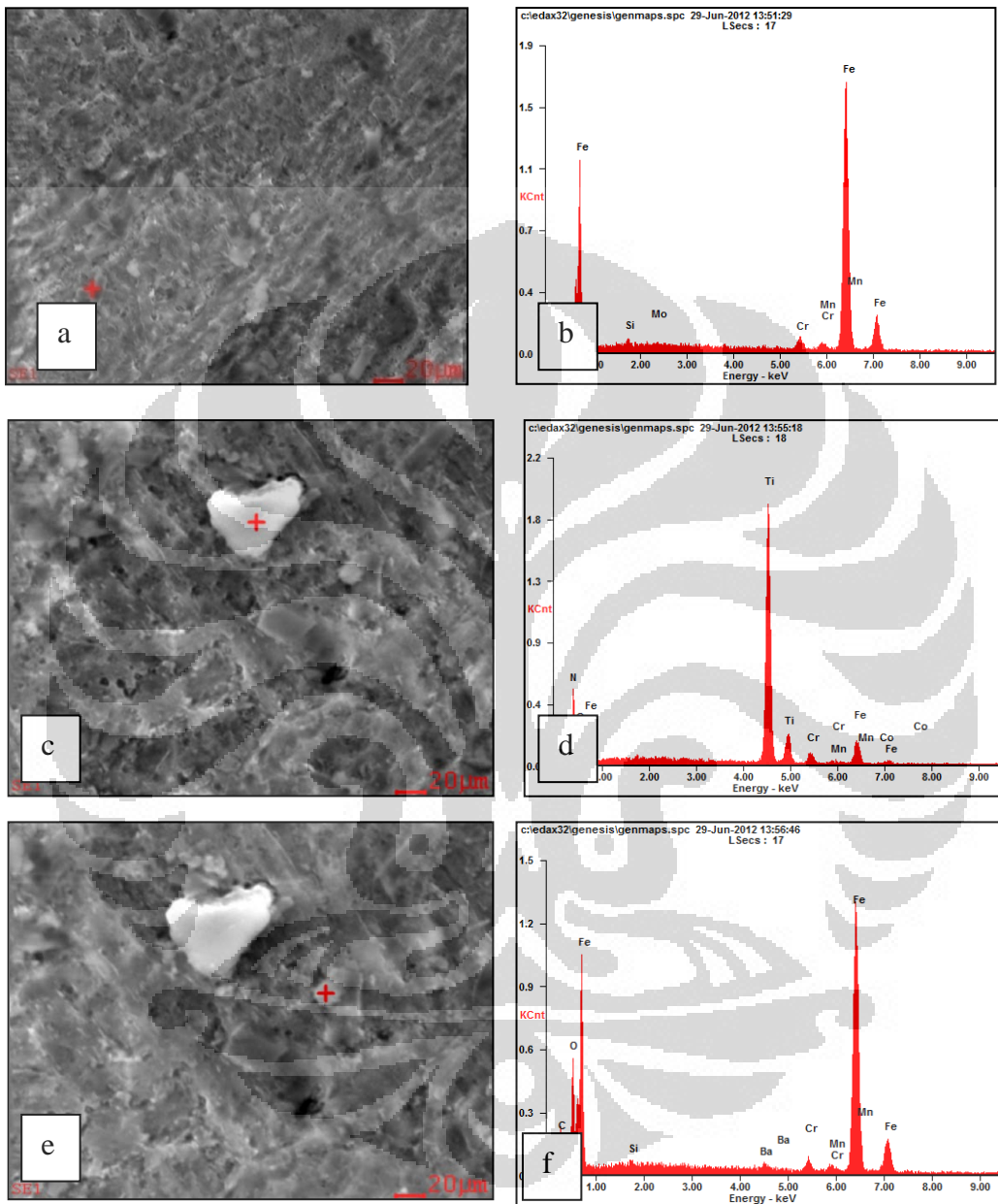
4.4.2.1 HAZ Antara Logam Induk Dengan Weld Root (MG NOX 35) Tanpa Perlakuan Pre-heat treatment



Gambar 4.48 HAZ Antara Logam induk dengan *weld root* (MG NOX 35) tanpa adanya perlakuan *pre-heat treatment*

Pada HAZ antara logam induk dan *weld root* ditemukan adanya karbida titanium dan karbida krom. Adanya karbida Titanium khas dari logam induk sedangkan karbida krom berasal MG NOX 35 yang kaya akan unsur krom. Selain itu juga ditemukan adanya karbida nikel dan mangan yang berasal dari *weld root*. Jika dilihat dari profil uji kekerasan sampel 2 pada bagian HAZ *weld root* didapatkan kekerasan menurun drastis pada bagian *weld metal*. Hal ini disebabkan adanya migrasi krom dari *weld metal* ke HAZ. Hal ini ditandai dengan meningkatnya kekerasan di daerah HAZ.

4.4.2.2 HAZ Antara Logam Induk Dengan Weld Cap (7018) Tanpa Perlakuan Pre-heat Treatment

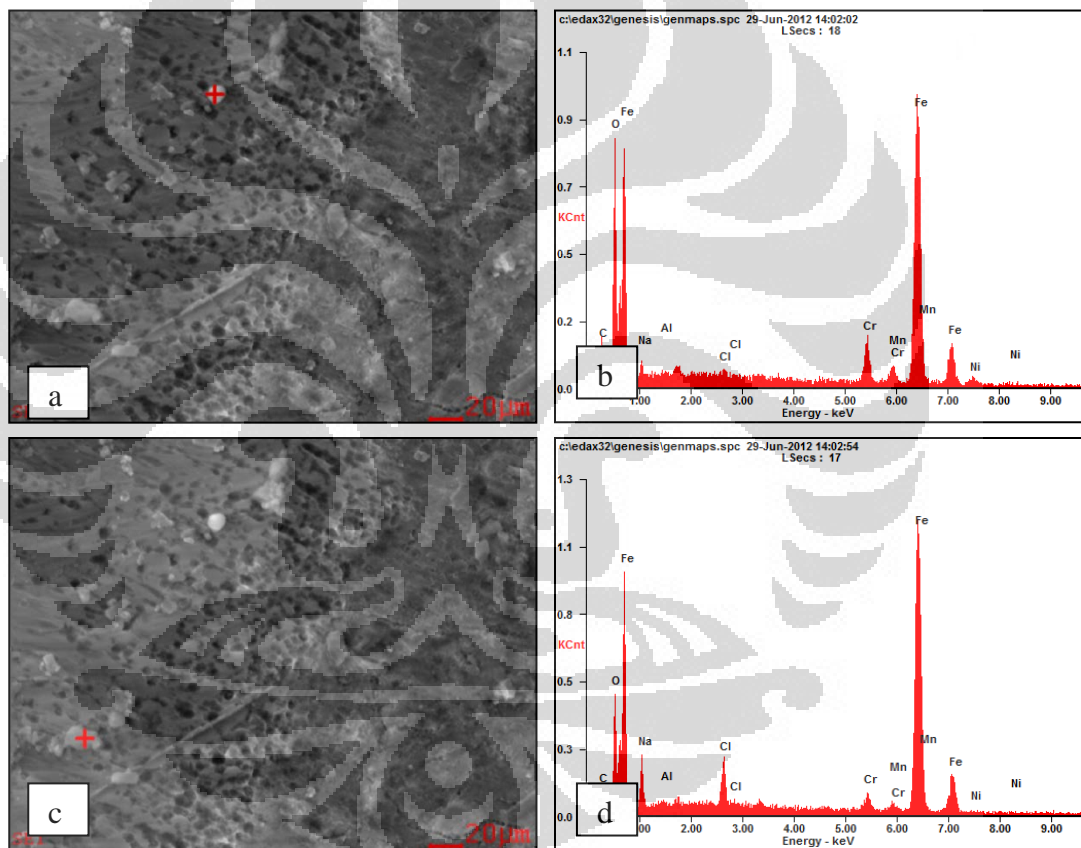


Gambar 4.49 HAZ antara logam induk dengan *weld cap* (7018) tanpa adanya perlakuan *pre heat treatment*

Gambar 4.49 menunjukkan hasil SEM didapatkan bahwa pada matriks HAZ ditemukan adanya kadar karbida krom, mangan dan molibdenum yang kadarnya tidak setinggi *weld metal*. Jika dilihat dari profil uji kekerasan, kekerasan di daerah

HAZ cenderung lebih stabil daripada hasil sampel 1. Hal ini disebabkan adanya proses *pre heat treatment* yang diberikan oleh lapisan sebelumnya yaitu lapisan *weld root* MG NOX 35. Pada daerah ini juga ditemukan adanya *hard presipitat Titanium* yang merupakan presipitat khas dari *base metal*. Pada bagian ini juga ditemukan adanya unsur inklusi seperti Barium.

4.4.2.3 *Interface Antara Weld Root Dengan Weld Cap Baik Pada Sampel 1 Maupun Sampel 2. Pengambilan SEM Diwakili Oleh Sampel 2*



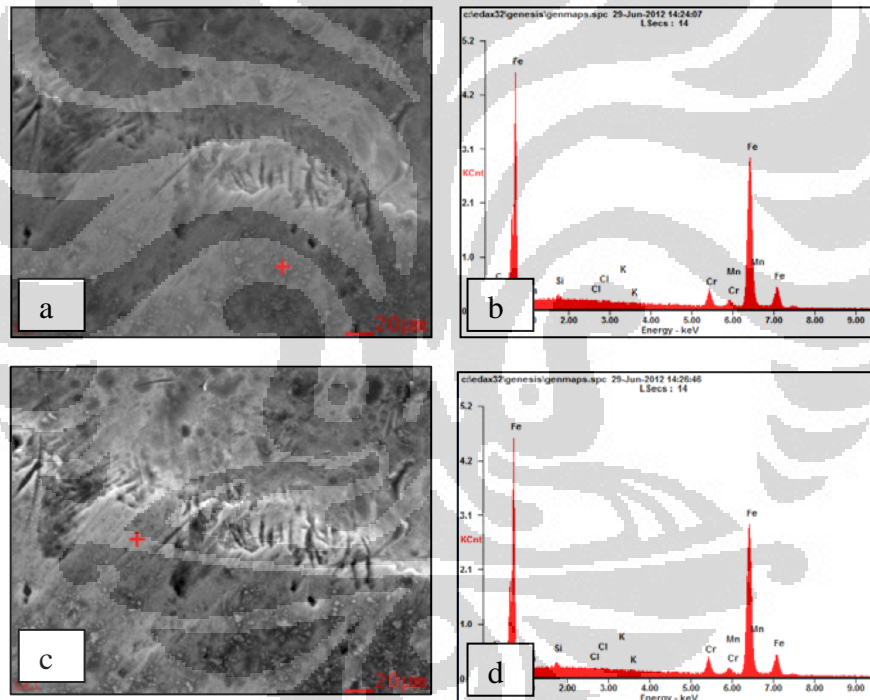
Gambar 4.50 *Interface antara weld root dengan weld cap pada sampel 2*

Dapat dilihat dari gambar 4.50 diatas bahwa morfologi daerah perbatasan antara *weld root* dan *weld cap* terlihat jelas. Bagian dengan titik-titik hitam merupakan *weld cap* pada sampel 2 yaitu elektroda 7018 sedangkan di sebelah kanan merupakan *weld root* MG NOX 35 yang menunjukkan adanya struktur austenit.

Pada *weld cap* ditemukan adanya unsur titanium. Jika dilihat dari komposisi kimia kedua elektroda. Unsur titanium ini tidak ada, maka ada kemungkinan inklusi Ti ini berasal dari *base metal*. Dengan adanya Titanium pada *interface* antar *weld metal* diharapkan dapat meningkatkan kekerasan terutama pada daerah *interface*. Pada daerah *interface* ini juga ditemukan adanya karbida mangan dan krom dalam jumlah yang tidak terlalu tinggi. Kandungan mangan dan krom merupakan khas dari MG NOX 35 yang bermigrasi ke daerah *interface* ini.

4.4.3 Sampel 3

4.4.3.1 HAZ Antara Logam Induk Dengan Weld Root (7018) Dengan Adanya Pre heat Treatment.

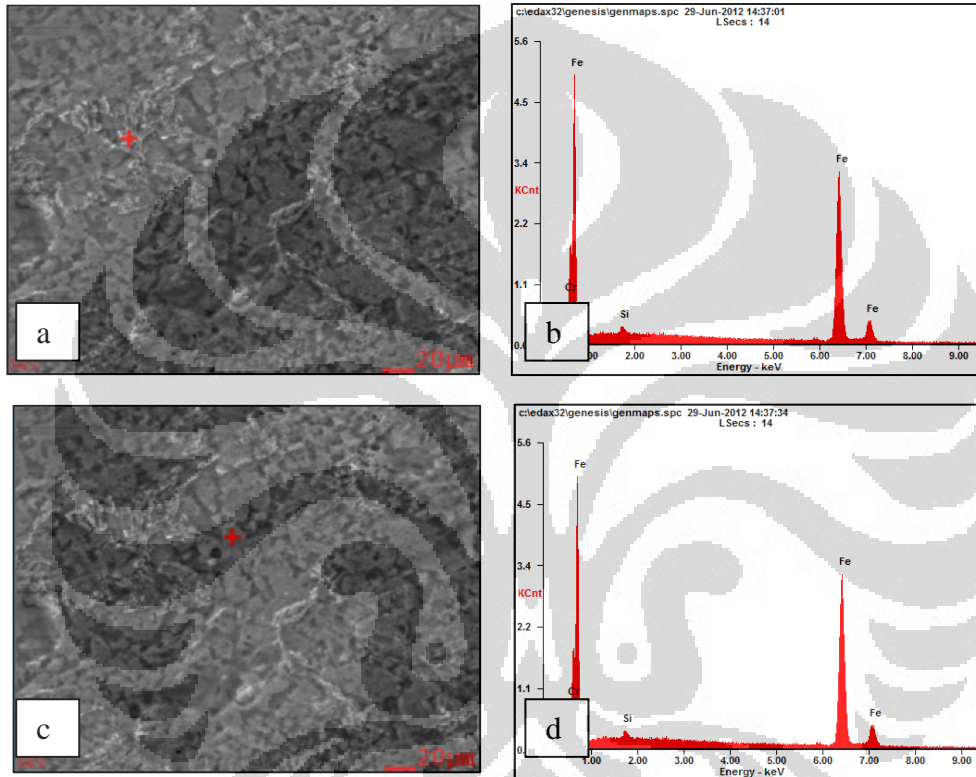


Gambar 4.51 HAZ antara logam induk dengan *weld root* (7018) dengan perlakuan *pre-heat treatment*

Dari hasil EDAX (gambar 4.51) pada HAZ logam induk dengan *weld root* 7018 sampel 3 tidak ditemukannya adanya *hard presipitat* Titanium. Karbida krom ditemukan dalam jumlah kecil pada daerah HAZ ini. Dan jika dilihat dari grafik

kekerasan, ditunjukkan bahwa kekerasan pada daerah HAZ meningkat kemudian menurun secara drastis.

4.4.3.2 HAZ Antara Logam Induk Dengan Weld Cap (MG NOX 35) Dengan Adanya Pre-heat Treatment.



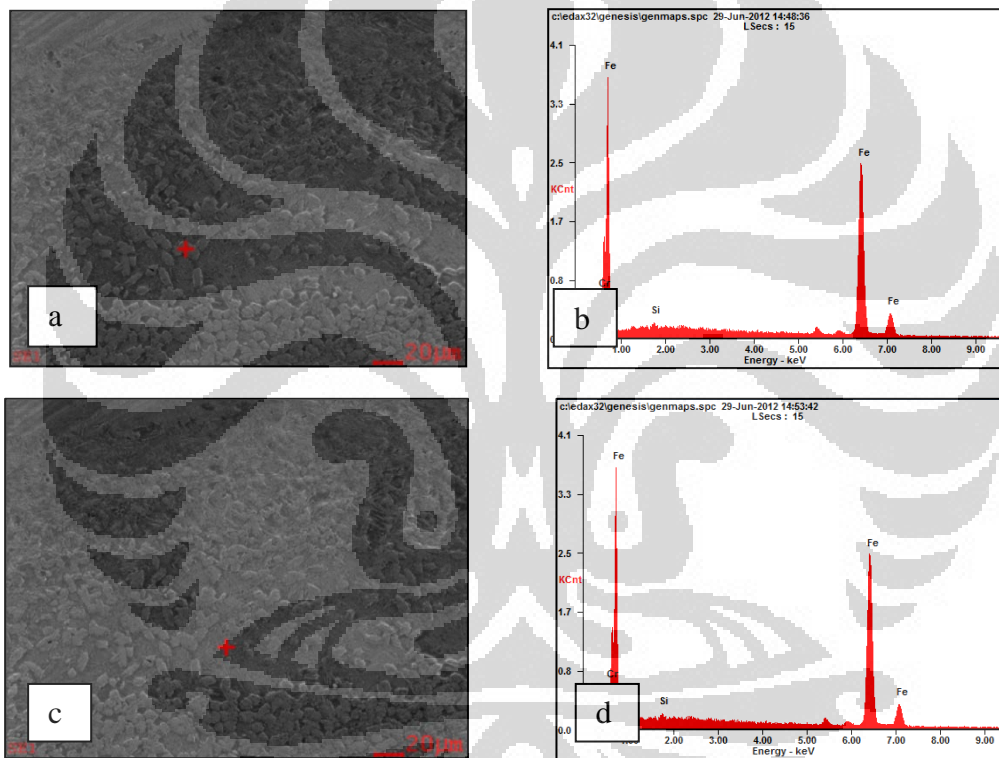
Gambar 4.52 HAZ Antara Logam Induk Dengan Weld Cap (MG NOX 35) Dengan Perlakuan Pre-heat Treatment

Dari gambar 4.52 diketahui bahwa pada daerah HAZ logam induk dengan weld cap MG NOX 35 ditemukan banyak unsur krom. Krom ini berasal dari weld metal MG NOX 35. Namun jika dilihat dari hasil uji kekerasan, pada daerah HAZ ini mengalami penurunan yang sangat drastis kemudian cenderung konstan mulai dari daerah HAZ hingga daerah weld metal. Jika dilihat dari hasil uji korosi ditemukan bahwa pada daerah HAZ terjadi korosi yang cukup parah. Morfologi secara umum

menunjukkan bahwa pada daerah HAZ terdapat beberapa *pitting* yang cukup besar sehingga dapat diamatai secara langsung tanpa menggunakan mikroskop. Hal ini menunjukkan adanya persebaran krom yang tidak merata sehingga terdapat bagian yang menjadi pasif dan ada bagian yang menjadi aktif.

4.4.4 Sampel 4

4.4.4.1 HAZ Antara Logam Induk Dengan *Weld Root* (MG NOX 35) Dengan Adanya *Pre heat Treatment*.

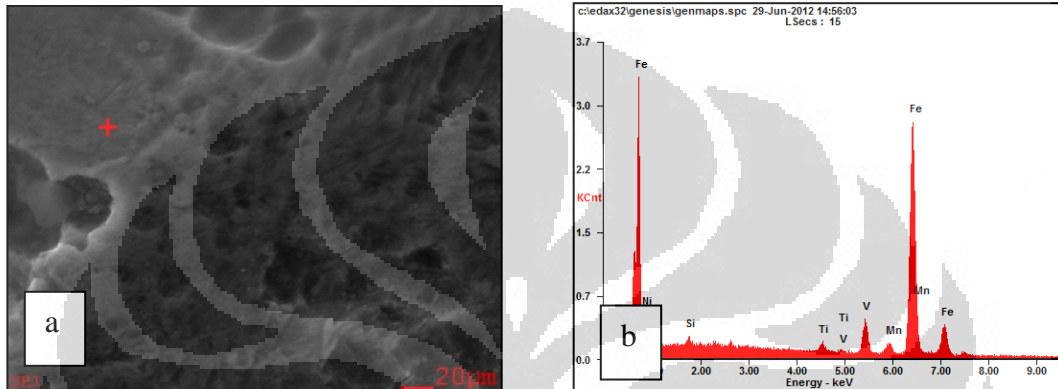


Gambar 4.53 HAZ Antara Logam Induk Dengan *Weld Root* (MG NOX 35) Dengan Perlakuan *Pre-heat Treatment*

Gambar 4.53 menunjukkan bahwa HAZ daerah logam indukdengan *weld root* MG NOX 35 memiliki kandungan krom yang tinggi yang berasal dari *weld metal* MG NOX 35. Jika dilihat dari gambar diatas persebaran krom cenderung merata dalam matriks HAZ. Dengan adanya hal ini maka jika hasilnya dibandingkan dengan hasil uji kekerasan maka pada HAZ ini ada kecenderungan terjadi kenaikan

kekerasan, namun kenaikan ini tidak terlalu drastis. Kekerasan menurun pada bagian *weld metal* sesuai dengan kekerasan awal dari *weld metal*.

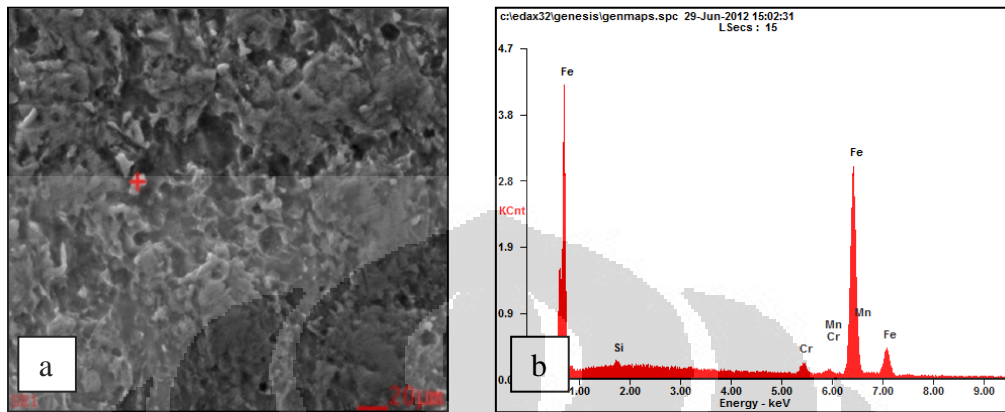
4.4.4.2 HAZ Antara Logam Induk Dengan Weld Cap (7018) Dengan Adanya Pre-heat Treatment



Gambar 4.54 HAZ Antara Logam Induk Dengan *Weld Cap* (7018) Dengan Perlakuan *Pre-heat Treatment*

Gambar 4.54 menunjukkan bahwa HAZ antara logam indukdengan *weld cap* 7018 terdapat *hard precipitate* berupa Titanium dan vanadium yang merupakan presipitat khas dari *base metal*. Selain itu terdapat juga karbida nikel yang cukup tinggi, melebihi kandungan nikel pada *weld metal*. Kandungan nikel ini berasal dari *weld metal* yang memiliki kandungan nikel mencapai 9,67 %. Jika dilihat dari grafik kekerasan, terdapat fluktuasi variasi kekerasan yang tidak terlalu tinggi sepanjang *weld cap*.

4.4.4.3 Interface Antara Lapisan MG NOX 35 dan 7018 Dengan Menggunakan Pre-heat Treatment 200°C

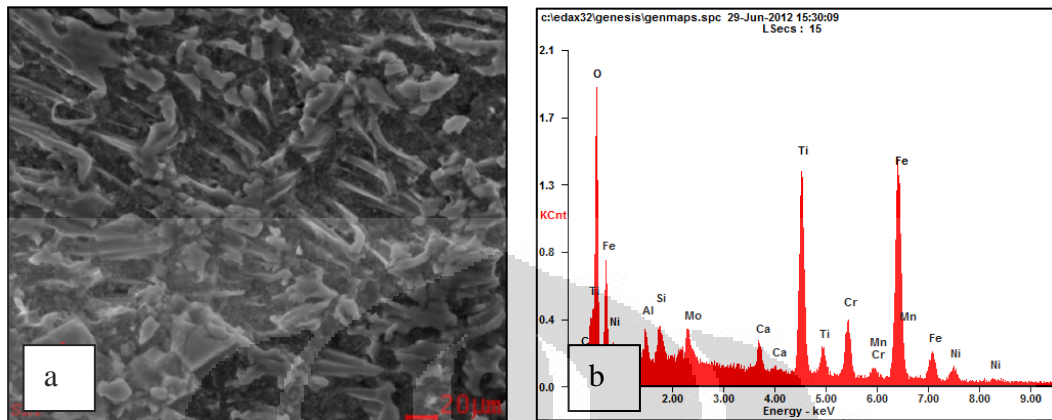


Gambar 4.55 Interface Antara Weld Cap Dengan Weld Root Dengan Perlakuan *Pre-heat Treatment*

Jika dibandingkan dari hasil SEM antara sampel yang diberikan perlakuan *pre-heat treatment* dan yang tidak, maka HAZ yang mendapat perlakuan *pre-heat treatment* terlihat lebih homogen sehingga batas antara *weld root* dengan *weld cap* tidak terlalu terlihat jelas (gambar 4.55). Hasil spektrum EDAX menunjukkan adanya intrusi Ti pada daerah *interface* ini. Satu satunya sumber yang mungkin untuk Ti adalah pada *weld base*. Selain adanya karbida titanium juga ditemukan adanya karbida Mn dan Cr yang banyak terdapat di MG NOX 35 juga terdapat di daerah HAZ.

4.4.5 Sampel 1

Sampel pertama menggunakan baja CRUSABRO 4800 dengan ketebalan 16 mm kemudian dilakukan proses *buttering* dengan elektroda AWS ER 309 L sebanyak satu lapis. Proses *hardfacing* dilakukan setelah proses *buttering* dengan menggunakan elektroda MG DUR 65.

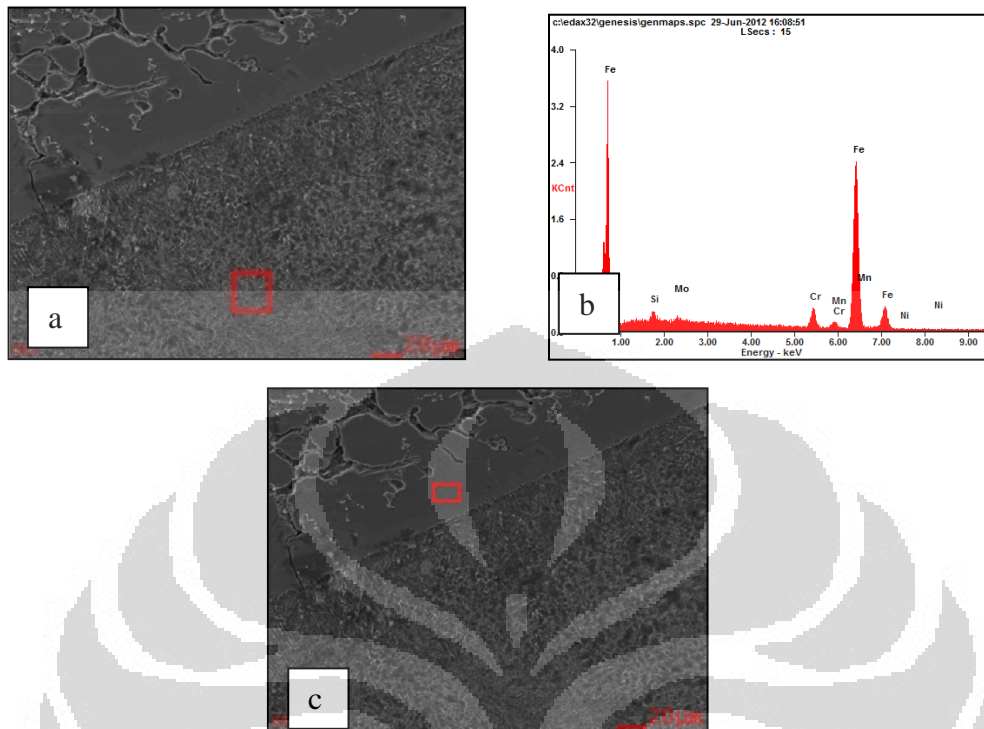


Gambar 4.56 HAZ Pada *Hardfacing* Sampel 1 (3-1)

Gambar 4.56 menunjukkan bahwa pada daerah HAZ yang memiliki mikrostruktur kolumnar ini memiliki kandungan tipikal *hard presipitat* Titanium sesuai dengan *base metal*. Selain itu juga diamati adanya karbida krom dan nikel pada HAZ. Adanya karbida krom dan nikel merupakan hasil migrasi komponen dari lapisan *buttering* yaitu ER 309 L. Jika dilihat dari hasil uji kekerasan, nilai kekerasan pada daerah HAZ cukup konstan.

4.4.6 Sampel 2 (3-3) (3 Lapis *Buttering* Lapisan 309 L dan Satu Lapis *Hardfacing* MG DUR 65)

Sampel 2 merupakan proses *hardfacing* dengan menggunakan tiga lapisan *buttering* dengan elektroda ER 309 L kemudian dilanjutkan dengan proses *hardfacing* dengan menggunakan elektroda MG DUR 65. Berikut adalah hasil pengamatan EDAX dari sampel tersebut.



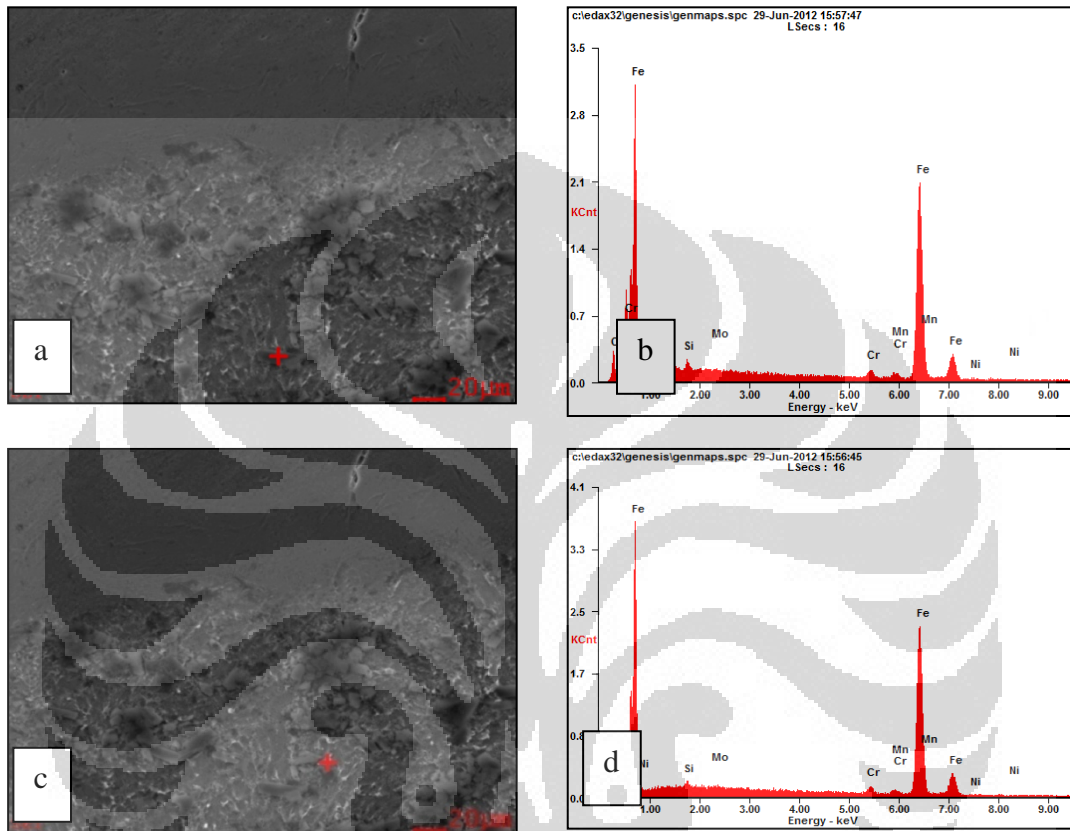
Gambar 4.57 *Hardfacing* Pada Sampel 2 (3-3) a&b) HAZ Dekat Dengan Logam Induk dan Spektrum Komposisi Kimia Pada Lapisan *Buttering*, c) HAZ Dekat Dengan Lapisan *Buttering*

Gambar 4.57 menunjukkan hasil SEM menunjukkan bahwa terdapat batas yang jelas antara lapisan *buttering* dengan *weld metal*. Pada HAZ dekat dengan logam induk terdapat kandungan *hard presipitat* Titanium, selain itu juga ditemukan adanya Krom dan Silikon. Adanya karbida krom menunjukkan terjadi difusi krom dari daerah *buttering* ER 309 L ke daerah HAZ. Jika dilihat dari grafik uji kekerasan, penurunan kekerasan terjadi tidak secara drastis.

4.4.7 Sampel 3 (D-2) (Dua Lapis *Buttering* MG DUR 3 dan Satu Lapis MG DUR 65)

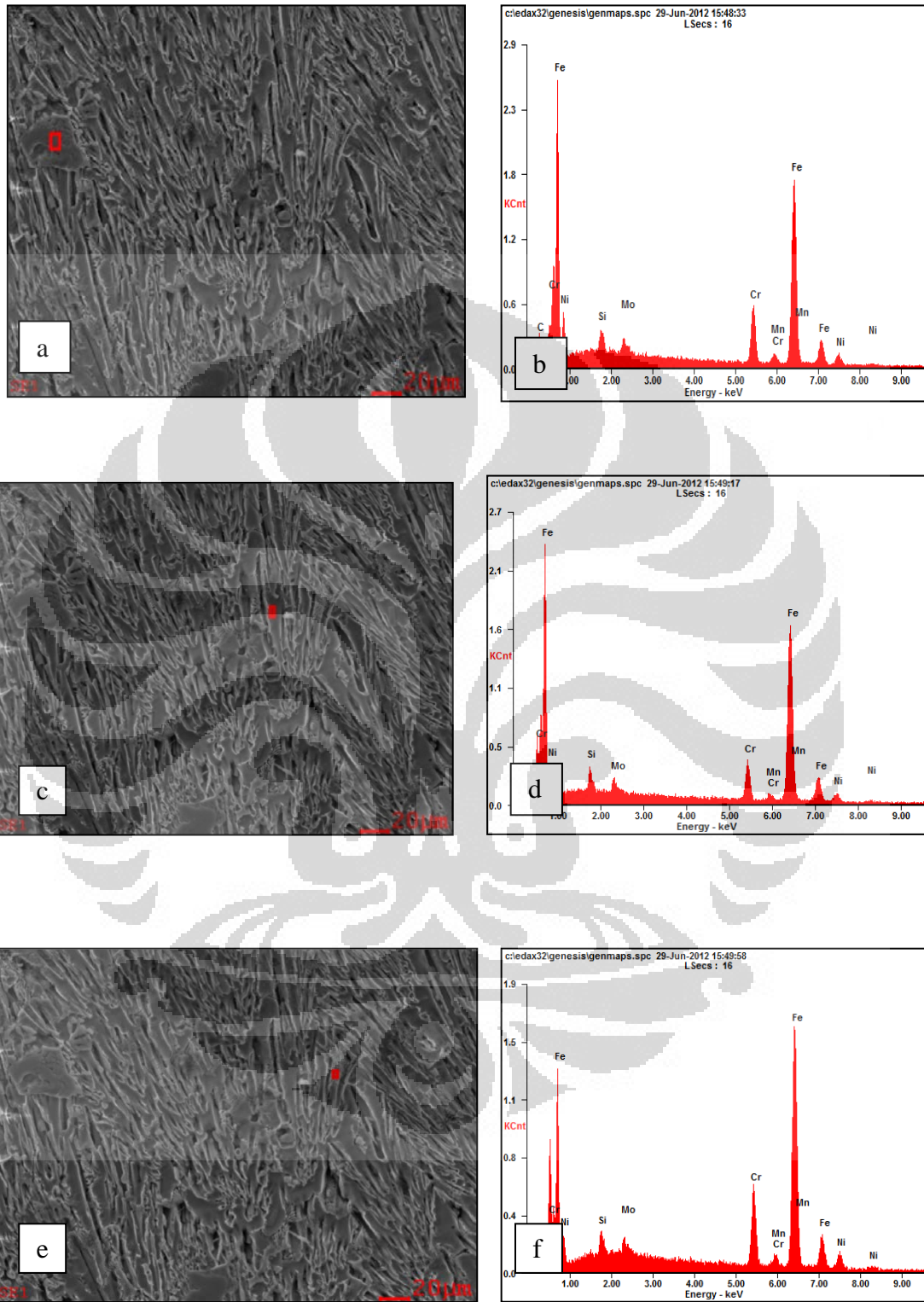
Sampel 3 merupakan proses *hardfacing* yang didahului proses *buttering*

dengan menggunakan elektroda MG DUR 3 sebanyak dua lapis kemudian dilanjutkan dengan proses *hardfacing* dengan elektroda MG DUR 65 sebanyak satu lapis. Berikut adalah hasil SEM dan EDAXnya.



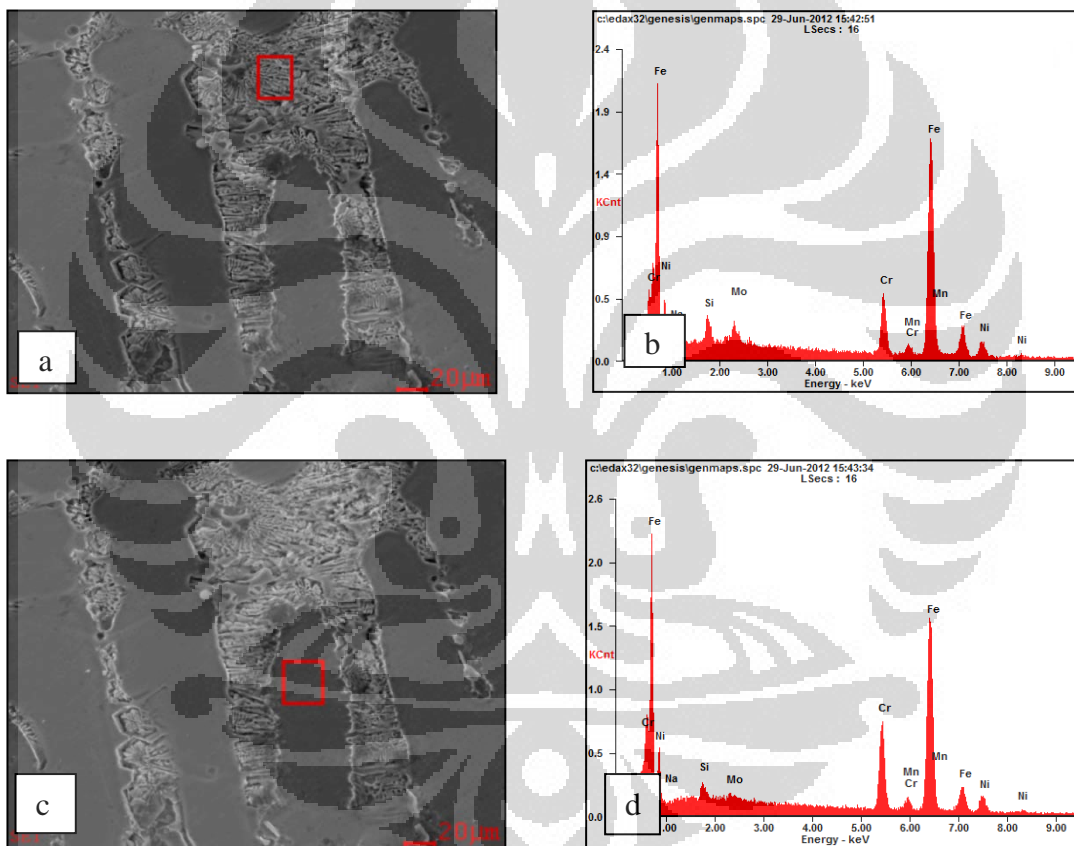
Gambar 4.58 Interface lapisan *buttering* dan Logam induk pada sampel 3 (D-2)

Gambar 4.58 menunjukkan hasil pengamatan SEM pada gambar diatas menunjukkan spektrum pada bagian HAZ dekat dengan logam induk dimana daerah ini merupakan daerah yang diperkaya dengan karbida krom, Niobium dan Tungsten. Adanya unsur-unsur ini merupakan hasil difusi dari lapisan *buttering* ke lapisan HAZ dekat dengan *base metal*.



Gambar 4.59 SEM pada lapisan *Hardfacing* sampel 3 (D-2)

Gambar 4.59 menunjukkan bahwa pada lapisan *hardfacing* ditemukan banyak karbida-karbida Tungsten dan Niobium yang berasal dari lapisan *buttering*. Selain itu terdapat penurunan jumlah krom pada lapisan *hardfacing* yang diakibatkan karena adanya migrasi krom dari lapisan MG DUR 65 ke Lapisan *Buttering* DUR 3. Jika dilihat dari hasil uji kekerasan, hal ini cukup menguntungkan karena adanya presipitat Tungsten dan Niobium meningkatkan kekerasan permukaan *hardfacing* secara keseluruhan.



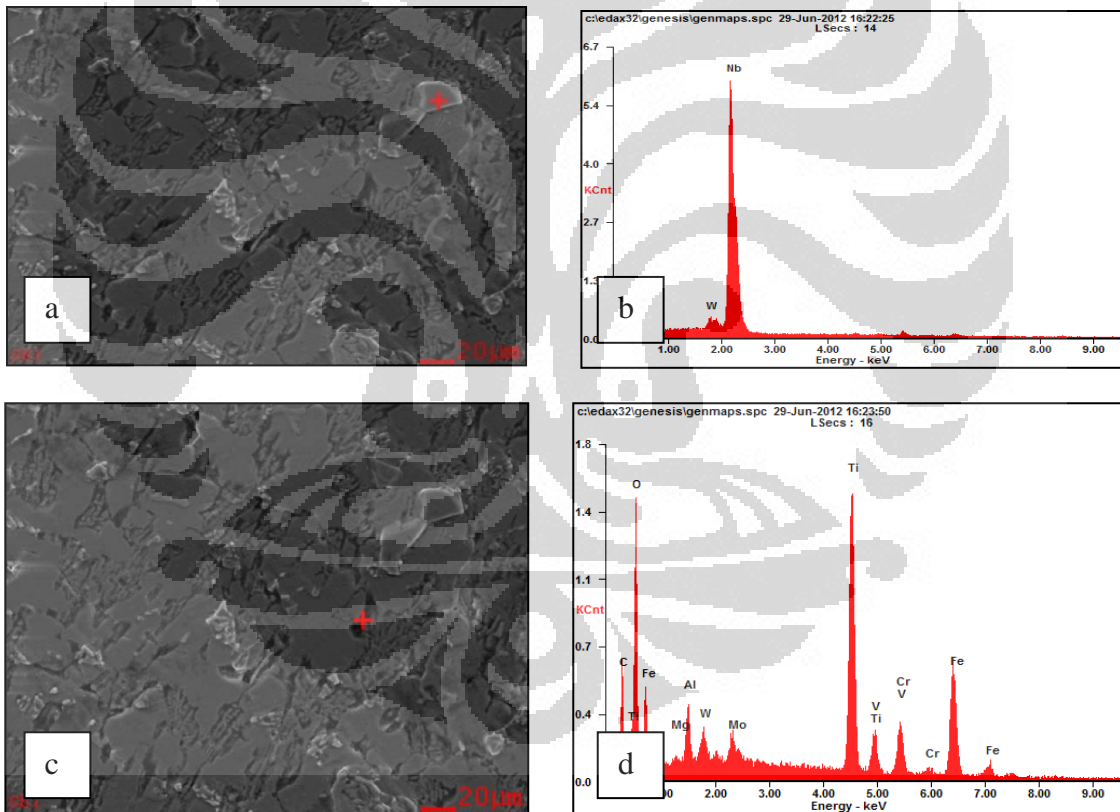
Gambar 4.60 *Interface* Antara *Hardfacing* Dan Lapisan *Buttering* Pada Sampel 3 (D-2) a dan b) Daerah Lapisan *Hardfacing*, c dan d) Daerah Lapisan *Buttering*

Gambar 4.60 menunjukkan hasil SEM dan EDAX menunjukkan bahwa pada daerah ini merupakan daerah asal mula terjadinya migrasi krom dari MG DUR 65 ke

lapisan *buttering*. Hal ini ditunjukkan dengan adanya kadar krom yang berkurang pada lapisan *hardfacing* yaitu 10,58 % ke 16,75 % pada lapisan *buttering*.

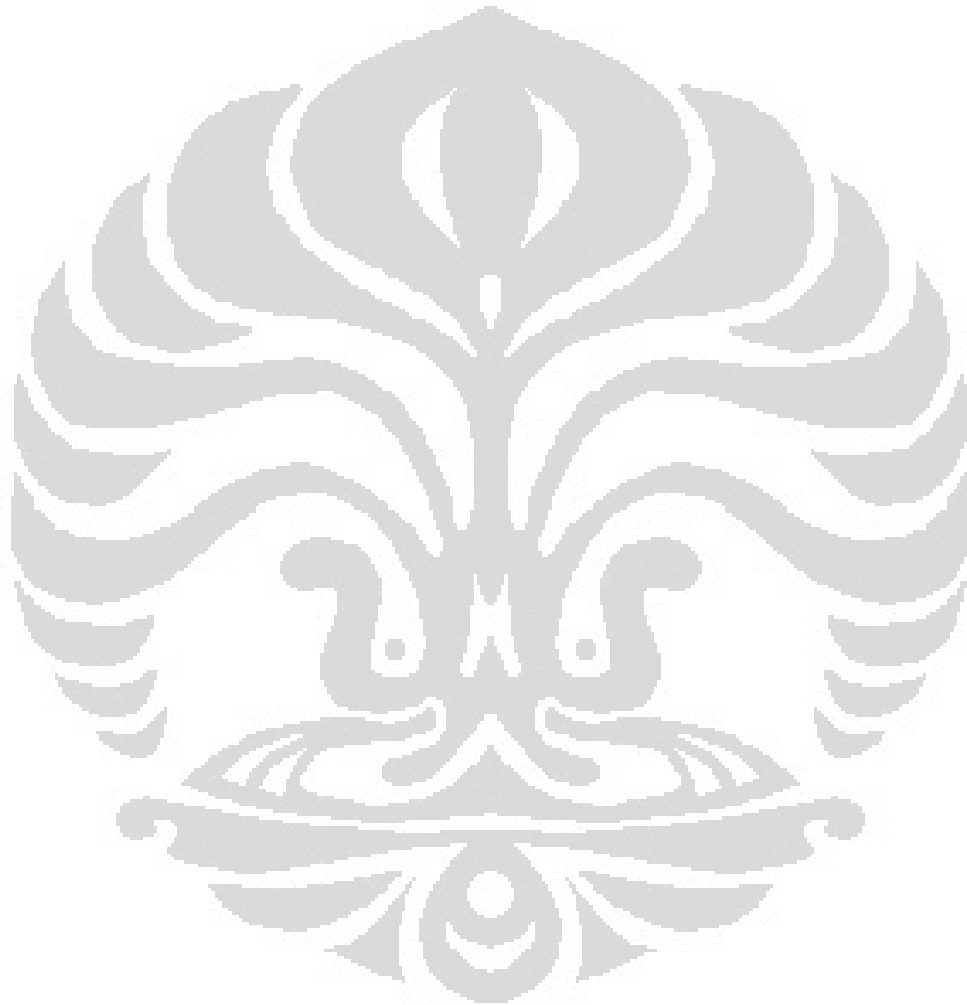
4.4.8 Sampel 4 (D-3) (Tiga Lapis *Buttering* MG DUR 3 dan Satu Lapis *Hardfacing* MG DUR 65)

Pada sampel 4 CREUSABRO® 4800 dilapisi lapisan dengan lapisan *buttering* sebanyak 3 lapisan dengan elektroda MG DUR 3 kemudian dilanjutkan dengan lapisan *hardfacing* sebanyak satu lapisan dengan menggunakan elektroda MG DUR 65. Berikut adalah hasil SEM dan EDAX dari HAZ nya



Gambar 4.61 HAZ pada sampel 4 (D-3) a dan b) Presipitasi karbida titanium, c dan d)

Dari hasil SEM dan EDAX di dapatkan hasil bahwa pada daerah HAZ sudah terdapat beberapa presipitat yang masuk ke dalam matriks membentuk karbida-karbida seperti adanya unsur krom yang berasal dari MG DUR 3.



BAB 5

KESIMPULAN

1. Berdasarkan data uji kekerasan yang didapatkan disimpulkan bahwa pada :
 - a. Sampel 1 (Lapisan *weld cap* MG NOX 35 lapisan *weld root* 7018) rata-rata kekerasan pada *weld cap* adalah 378 HV sedangkan rata-rata keekrasan pada *weld root* adalah 392 HV. Terjadi kenaikan nilai kekerasan rata-rata pada HAZ *weld cap* sebesar 9,4 % sedangkan pada *weld root* terjadi kenaikan nilai kekerasan rata-rata pada HAZ *weld root* sebesar 21,43%
 - b. Sampel 2 (lapisan *weld cap*7018 dan *weld root* MG NOX 35 tanpa proses *pre-heat treatment*) menunjukkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 422,9 HV pada *weld cap* dan 394 HV pada *weld root*. Jika dibandingkan nilai rata-rata logam indukdan HAZ secara umum terjadi penurunan kekerasan pada daerah HAZ yaitu sebesar 1,35 % pada HAZ *weld cap* dan 13% pada HAZ *weld root*, data ini diukur dari arah kanan lasan sedangkan jika diukur dari arah kiri lasan maka terjadi penuruna kekerasan sebesar 9,24% pada daerah *weld cap* dan 25,64% pada daerah *weld root*.
 - c. Sampel 3 (Lapisan *weld cap* MG NOX 35 lapisan *weld root* 7018 dengan perlakuan *pre-heat treatment*) rata-rata kekerasan adalah 412 pada *weld cap* dan 322pada *weld root*. Jika dibandingkan nilai rata-rata logam indukdengan rata-rata nilai kekerasan daerah HAZ maka terjadi penurunan kekerasan sebesar 4,68 % pada daerah *weld cap* dan 48 persen pada daerah *weld root*.
 - d. Sampel 4 2(lapisan *weld cap* 7018 dan *weld root* MG NOX 35 dengan proses *pre-heat treatment*) memiliki nilai rata-rata kekerasan 390,78 HV pada bagian *weld cap* dan kekerasan 360 pada bagian *weld root*. Jika dilihat dari nilai rata-rata kekerasan logam indukdan HAZ terjadi

peneurunan kekerasan yaitu 1,4 % pada *weld cap* dan 14 % pada *weldroot* nilai ini diambil dari bagian kanan lasan sedangkan jika dilihat dari bagian kiri lasan maka terjadi penurunan kekerasan mencapai 7,38% pada bagian *weld cap* dan 5,77% pada bagian *weld root*.

Dari hasil uji kekerasan lasan CREUSABRO ® 4800 disimpulkan bahwa sampel 2 memiliki nilai rata-rata kekerasan tertinggi pada bagian *weld cap*. namun jika dilihat nilai rata-rata penurunan kekerasan logam induk terhadap HAZ sampel 4 menunjukkan nilai penurunan lebih kecil yang mengindikasikan kekerasan lebih stabil di sepanjang lasan pada sampel 4 yaitu rata-rata 6,96% sedang kan sampel 2 lebih tinggi yaitu 8,73%

2. Banyaknya lapisan *buttering* mempengaruhi ada tidaknya mikro crack pada lapisan *buttering*. Lapisan *buttering* sebanyak 3 lapis memiliki ketahanan terhadap aus yang lebih baik daripada *hardfacing* yang diikuti satu atau dua lapis *buttering* hal ini ditunjukkan dengan adanya profil kekerasan yang lebih stabil disepanjang sumbu *weld metal*. Hasil *hardfacing* dengan *buttering* DUR 3 memiliki kekerasan dan ketahanan aus paling baik, hal ini dijelaskan karena adanya presipitat Tungsten dan Niobium pada permukaan *hardfacing* sedangkan pada lapisan *buttering* sendiri ditemukan adanya karbida krom. Dengan adanya hal ini maka profil kekerasan pada sampel 4 (D-3) menunjukkan penurunan yang tidak terlalu drastis. *Hardfacing* dengan *buttering* 3 lapis menunjukkan variasi penurunan kekerasan yang paling stabil.
3. Krom cenderung bergerak dari WM dengan kadar krom tinggi ke daerah HAZ, sehingga HAZ memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada daerah lain. WM yang kehilangan sejumlah krom kemudian berkurang kekerasannya. Selain Krom Mangan dan Nikel juga cenderung bergerak ke arah HAZ. Lapisan *welding* 7018 cenderung menarik Titanium pada logam induk untuk membentuk karbida Titanium pada daerah HAZ dan *Interface*. Dengan adanya hal ini maka kekerasan pada daerah tersebut cenderung lebih tinggi daripada daerah lainnya

4. Hasil uji korosi sampel menunjukkan adanya korosi galvanik diantara komponen-komponen penyusun lasan maupun *hardfacing*. HAZ dengan berbagai macam komponen penyusunnya secara umum merupakan daerah paling anodik padasetiap sampel. Hal ini ditandai dengan banyaknya bagian ini yang terkorosi. Bagian yang paling sedikit terkena korosi adalah *weld metal* yang memiliki kandungan Krom paling tinggi.
5. Pada WM yang mengandung banyak krom dalam hal ini MG NOX 35, setelah tes celup menunjukkan adanya mikro *pitting* pada permukaannya dengan diameter 1 hingga 5 mikron. Sedangkan hasil uji korosi sampel *hardfacing* 3-3 menunjukkan adanya korosi galvanik dengan lapisan *Hardfacing* (MG DUR 65) sebagai daerah paling katodik dan daerah HAZ merupakan daerah paling anodik. Pada permukaan *buttering lapisan* ER 309 L ditemukan adanya mikro *pitting* dengan ukuran 0,5 sampai dengan 2 mikron.
6. Kombinasi elektroda pada hasil lasan dan *hardfacing* menunjukkan hasil uji korosi yang unik. Secara umum MG NOX 35 berperan sebagai daerah paling katodik.

DAFTAR REFERENSI

1. ASM International (2006) corrosion of Weldment
2. Harfacing guide, lincoln booklet
3. Buchanan, Vernon E. (2009) Solidification and microstructural characterisation of iron–chromium based hardfaced coatings deposited by SMAW and electric arc spraying, *Surface & Coatings Technology* 203 (2009) 3638–3646
4. Yang, Sen., Chen, Na., Liu, Wenjin. (2003) Fabrication of nickel composite coatings reinforced with TiC particles by laser cladding, *Surface and Coatings Technology* 183 (2004) 254–260.
5. M. Kirchgaßner a, E. Badisch b,*, F. Franek, (2008) Behaviour of iron-based hardfacing alloys under abrasion and impact, *Wear* 265 (2008) 772–779
6. Balakrishnan, M., Balasubramanian, V., (2010) . Effect of buttering and hardfacing on ballistic performance of shielded metal arc welded armour steel joints,. *Materials and Design* 32 (2011) 469–479
7. Buchely, M.F.,. Gutierrez, J.C. (2005) The effect of microstructure on abrasive wear of hardfacing alloys, *Wear* 259 (2005) 52–61
8. A.K. Jha, B.K. Prasad, R. Dasgupta, and O.P. Modi, (1998), Influence of Material Characteristics on the Abrasive Wear Response of Some Hardfacing Alloys, *ASM Volume* 8(2) April 1999
9. *Engineering Materials Properties and Selection*, 5th edition, Budinski, Kenneth. Prentice Hall 1996.
10. *Corrosion Test and Standard*, 2nd edition, Baboian, Robert, ASTM International , 2005
11. M. Shome, Tata Steel, JamshedpurR&D and Scientific Services Division, (2006) Effect of heat-input on austenite grain size in the heat-affected zone of HSLA-100 steel.

12. Q. Xue a, D. Benson a, M.A. Meyers a, V.F. Nesterenko a, E.A. Olevsky b,
(2002) Constitutive response of welded HSLA 100 steel
13. CRUESABRO 4800 booklet

