



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**PENGARUH VARIASI *HOLDING TEMPERATURE* DAN  
*HOLDING TIME* PADA *POST WELD HEAT TREATMENT*  
TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN DISTRIBUSI  
KEKERASAN HASIL PENGELASAN MATERIAL BISCLAD 600  
DENGAN METODE SMAW DI PT. HOLCIM INDONESIA**

**AMY REZA ANDREA  
NRP 0251144000062**

**Dosen Pembimbing Lukman  
Noerrochim, Ph.D Wikan  
Jatimurti, S.T., M.Sc**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018**





**TUGAS AKHIR - TL 141584**

**PENGARUH VARIASI *HOLDING TEMPERATURE* DAN *HOLDING TIME* PADA *POST WELD HEAT TREATMENT* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN DISTRIBUSI KEKERASAN HASIL PENGELASAN MATERIAL BISCLAD 600 DENGAN METODE SMAW DI PT. HOLCIM INDONESIA**

**AMY REZA ANDREA  
NRP 0251144000062**

**Dosen Pembimbing Lukman  
Noerrochim, Ph.D Wikan  
Jatimurti, S.T., M.Sc**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018**





**Final Project**

**EFFECT OF VARIATION OF HOLDING TEMPERATURE AND HOLDING TIME ON POST WELD HEAT TREATMENT DUE TO MICROSTRUCTURE AND HARDNESS DISTRIBUTION ON THE WELDING RESULT OF BISCLAD 600 USING SMAW IN PT. HOLCIM INDONESIA**

**AMY REZA ANDREA  
SRN 02511440000062**

**Advisor Lectures :  
Lukman Noerrochim, Ph.D  
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc**

**MATERIALS ENGINEERING DEPARTEMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2018**



## LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI *HOLDING TEMPERATURE* DAN *HOLDING TIME* PADA *POST WELD HEAT TREATMENT* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN DISTRIBUSI KEKERASAN HASIL PENGELASAN MATERIAL BISCLAD 600 DENGAN METODE *SMAW* DI PT. HOLCIM INDONESIA**

### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Amy Reza Andrea**  
NRP. 0251144000062

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Lukman Noerachim, S.T., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing I)
2. Wikan Fatimurti, S.T., M.Sc. (Pembimbing II)

**SURABAYA**  
**Januari 2018**



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**PENGARUH VARIASI *HOLDING TEMPERATURE* DAN *HOLDING TIME* PADA *POST WELD HEAT TREATMENT* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN DISTRIBUSI KEKERASAN HASIL PENGELASAN MATERIAL BISCLAD 600 DENGAN METODE SMAW DI PT. HOLCIM INDONESIA**

**Nama** : Amy Reza Andrea  
**NRP** : 0251144000003  
**Departemen** : Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS  
**Dosen Pembimbing:** Lukman Noerrochim, Ph.D  
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc

**Abstrak**

Pengelasan terhadap material Bisclad 600 telah dilakukan dengan menggunakan metode pengelasan *SMAW*. Spesimen pengelasan dibuat dengan ukuran 100 mm x 100 mm x 10 mm sebanyak 6 spesimen. Proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan parameter arus 100 A, tegangan 12 volt, dan kecepatan 100 mm/s. pengelasan dilakukan dengan dua jenis *filler metal* yaitu E7018-H4R untuk bagian *base metal* dan elektroda Ni-C1 untuk bagian *hardfacing*. Setelah itu, spesimen diberi perlakuan panas pada temperatur 650°C dan 750°C dengan waktu tahan sebesar 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. Material kemudian diuji dengan *liquid penetrant test*, metalografi, dan kekerasan. Hasil pengujian menunjukkan adanya fasa  $\gamma$  *Nickel* pada daerah *weld metal*. Pada daerah HAZ dan *base metal* struktur mikro yang diamati adalah perlit dan karbida hasil transformasi *isothermal* dengan jenis sama. Perbedaan kekerasan yang jauh antara *weld metal* dan HAZ & *base metal* dikarenakan jenis penguatan yang berbeda.

**Kata kunci** : AWS, *Base metal*, HAZ, karbida, *Weld metal*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **EFFECT OF VARIATION OF HOLDING TEMPERATURE AND HOLDING TIME ON POST WELD HEAT TREATMENT DUE TO MICROSTRUCTURE AND HARDNESS DISTRIBUTION ON THE WELDING RESULT OF BISCLAD 600 USING SMAW IN PT. HOLCIM INDONESIA**

**Name** : Amy Reza Andrea  
**SRN** : 0251144000062  
**Departement** : Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS  
**Advisor Lectures** : Lukman Noerrochim, Ph.D  
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc

## **Abstract**

*Welding of Bisclad 600 has been done using SMAW method. Welding specimens were fitted with size of 100 mm x 100 mm x 10 mm for 6 specimens. The welding process were conducted using 100 A current parameters, 12 voltages, and a speed of 100 mm / s. This with two types of filler metal E7018-H4R for metal base and Ni-C1 electrode for hardfacing. After that, the specimens were subjected to heat treatment at temperatures 650° C and 750° C with a holding time 1 hour, 2 hours, and 3 hours. Then, specimens tested with liquid penetrant test, metallography, and hardness. The test results obtained the presence of  $\gamma$  Nickel phase in the weld metal, pearlite and carbide in HAZ region and base metal. The difference of hardness between weld metal and HAZ & base metal is caused by different strengthening mechanism.*

**Keywords** : AWS, base metal , HAZ, carbide, base metal

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur atas berkat Allah SWT yang telah memberikan kasihNya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun Laporan Tugas Akhir yang berjudul : **Pengaruh Variasi  *Holding Temperature*  dan  *Holding Time*  Pada  *Post Weld Heat Treatment*  Terhadap Struktur Mikro dan Distribusi Kekerasan Hasil Pengelasan Bisclad 600 dengan Metode SMAW di PT. Holcim Indonesia**

Pada kesempatan kali ini penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penyusun Abah Amy dan Mama Ira atas semua doa, dukungan moril dan materiil yang selalu dicurahkan.
2. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
3. Bapak Lukman Noerrochim, S.T., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing pertama Tugas Akhir yang telah berdedikasi membimbing saya dan menjaga kinerja agar selalu baik.
4. Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing kedua Tugas Akhir yang telah memberikan bekal berupa saran dan rekomendasi untuk beberapa permasalahan khusus dalam pengerjaan Tugas Akhir.
5. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
6. Seluruh angkatan MT16 yang selalu sudi memberi dukungan moril bahkan di saat-saat paling sulit.
7. Teman- teman PSDM-SC yang senantiasa memberi semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
8. Praktikan praktikum Metalurgi I yaitu Iyando, Agoy, Afrizal, Gefin, Fajar, Gatra, dan Ipul yang telah membantu banyak dalam melakukan *review* terkait materi metalurgi.
9. Pegawai PT. Garuda Jaya Plasindo yang telah bersedia membantu dalam proses pengelasan.

Penyusun menyadari adanya banyak kekurangan dalam penyusunan. Kritik dan saran yang bersifat membangun dalam rangka menyempurnakan tulisan ini sangat penulis harapkan. Besar harapan penulis agar penelitian ini bermanfaat kedepannya.

Surabaya, Januari 2018

Amy Reza Andrea

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iv
Abstrak.....	v
Abstract.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 <i>Rotary Feeder</i> .....	5
2.2 Material Bisclad .....	6
2.3 Pengaruh Unsur Paduan .....	10
2.4 Pengelasan.....	11
2.5 <i>Preheat</i> .....	12
2.6 <i>Arc Welding</i> .....	13
2.7 Pengelasan <i>SMAW</i> .....	14
2.8 <i>Filler Metal</i> .....	15
2.9 <i>Post Weld Heat Treatment</i> .....	17
2.10 Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i> .....	19
2.11 Penelitian Sebelumnya .....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	27
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	27
3.2 Rancangan Penelitian .....	29
3.3 Metode Penelitian.....	30
3.4 Bahan Penelitian.....	31
3.5 Peralatan penelitian .....	34
3.6 Tahapan Penelitian .....	40

BAB IV _ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....	51
4.1 Analisa Data.....	51
4.2 Pembahasan.....	72
BAB V _KESIMPULAN DAN SARAN .....	79
5.1 Kesimpulan.....	79
5.2 Saran .....	79
LAMPIRAN.....	xxiii
BIODATA PENULIS .....	xlix

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Rotary Valve</i> (Loesche, 2012).....	6
Gambar 2. 2 Diagram Fasa Fe-12Cr(Avner, 1997) .....	9
Gambar 2. 3 Material Bisclad(Bisalloy, 2007) .....	9
Gambar 2. 4 Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Diagram Fasa(Totten, 2006) .....	11
Gambar 2. 5 Korelasi antara energi dan ketebalan .....	14
Gambar 2. 6 Proses Pengelasan <i>SMAW</i> (Khan, 2007).....	15
Gambar 2. 7 Diagram Fasa Ni-Fe(Gacchiamini, 2006) .....	16
Gambar 2. 8 Diagram Fasa Ni-Ti(Mokgadi, 2014) .....	17
Gambar 2. 9 Indentor Pengujian <i>Vickers</i> (ASTM,1999).....	19
Gambar 2. 10 Struktur Mikro Material as-cast .....	22
Gambar 2. 11 Struktur Mikro Material dengan perlakuan H.T.A23	
Gambar 2. 12 Struktur Mikro Material dengan .....	23
Gambar 2. 13 Struktur Mikro Material dengan perlakuan H.T.C24	
Gambar 2. 14 Struktur Mikro Material dengan .....	24
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	28
Gambar 3. 2 Dimensi Spesimen dari Vendor .....	32
Gambar 3. 3 Dimensi ketebalan antara <i>base metal</i> dan <i>cladding metal</i> .....	32
Gambar 3. 4 Mesin Las <i>SMAW</i> .....	35
Gambar 3. 5 Tabung Gas Oksigen dan Asetilena .....	35
Gambar 3. 6 <i>Wire Cut Machine</i> .....	36
Gambar 3. 7 <i>Thermogun</i> .....	36
Gambar 3. 8 <i>Furnace</i> .....	37
Gambar 3. 9 <i>Liquid Penetrant Test</i> .....	37
Gambar 3. 10 Mikroskop Optik.....	38
Gambar 3. 11 Mesin Uji Kekerasan <i>Vickers</i> .....	38
Gambar 3. 12 Kertas Amplas .....	39
Gambar 3. 13 <i>Metal Polish</i> merk Autosol .....	39

Gambar 3. 14 Mesin <i>Metal Polish</i> .....	40
Gambar 3. 15 Operasional Kerja <i>Ventilator</i> pada <i>Rotary Valve</i> .....	42
Gambar 3. 16 <i>Standard Drawing Rotary Valve</i> .....	43
Gambar 3. 17 Ukuran Spesimen Pengelasan .....	44
Gambar 3. 18 Desain Spesimen Pengelasan .....	44
Gambar 3. 19 Desain Pengelasan 3 Dimensi .....	45
Gambar 3. 20 Spesimen untuk <i>Heat Treatment</i> .....	48
Gambar 4. 1 Hasil Pengamatan Makrovisual .....	52
Gambar 4. 2 Hasil Pengujian Penetran .....	53
Gambar 4. 3 Morfologi Permukaan <i>Bisclad 600</i> .....	54
Gambar 4. 4 <i>Weld metal</i> perbesaran 200x .....	55
Gambar 4. 5 HAZ 200x .....	55
Gambar 4. 6 <i>Base metal</i> perbesaran 200x .....	56
Gambar 4. 7 <i>Weld metal</i> 200x .....	57
Gambar 4. 8 HAZ 200x .....	57
Gambar 4. 9 <i>Base metal</i> 200x .....	58
Gambar 4. 10 <i>Weld metal</i> 200x .....	59
Gambar 4. 11 HAZ 200x .....	59
Gambar 4. 12 <i>Base metal</i> 200x .....	60
Gambar 4. 13 <i>Weld metal</i> 200x .....	61
Gambar 4. 14 HAZ 200x .....	61
Gambar 4. 15 <i>Base metal</i> 200x .....	62
Gambar 4. 16 <i>Weld metal</i> 200x .....	63
Gambar 4. 17 HAZ 200x .....	63
Gambar 4. 18 <i>Base metal</i> 200x .....	64
Gambar 4. 19 <i>Weld metal</i> 200x .....	65
Gambar 4. 20 HAZ 200x .....	65
Gambar 4. 21 <i>Base metal</i> 200x .....	66
Gambar 4. 22 Grafik Nilai Kekerasan pada Daerah <i>Weld metal</i> .....	68
Gambar 4. 23 Grafik Rata-Rata Nilai Kekerasan pada Daerah <i>heat affected zone</i> .....	69

Gambar 4. 24 Grafik Rata-Rata Nilai Kekerasan pada <i>Base metal</i> .....	70
Gambar 4. 25 Grafik Distribusi Kekerasan pada 650°C .....	71
Gambar 4. 26 Grafik Distribusi Kekerasan pada perlakuan panas 750°C .....	72

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Material <i>Cladding</i> Bisclad 600 .....	7
Tabel 2. 2 Komposisi Material AISI 1020 (ASTM, 2013) .....	7
Tabel 2. 3 Sifat Mekanik Baja AISI 1020 (ASTM, 2013) .....	7
Tabel 2. 4 Nilai Kekerasan <i>High Chromium</i> .....	8
Tabel 2. 5 Rekomendasi <i>Post Weld Heat Treatment</i> .....	18
Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian .....	29
Tabel 3. 2 Rancangan Penelitian .....	30
Tabel 3. 3 Komposisi Baja AISI 1020 atau ekuivalen (ASTM, 1996) .....	31
Tabel 3. 4 <i>Sifat Mekanik baja karbon rendah AISI 1020 atau ekuivalen (ASTM, 1999)</i> .....	31
Tabel 3.5 Komposisi High Chromium Cast Iron .....	31
Tabel 3. 6 Dimensi Keseluruhan dari plat bisclad 600 .....	32
Tabel 3. 7 Komposisi Filler Metal E7018-H4R (AWS, 2001).....	33
Tabel 3. 8 <i>Mechanical Properties Filler Metal E7018-H4R (AWS, 2001)</i> .....	33
Tabel 3. 9 Komposisi Filler ENi-CI (AWS, 2001) .....	34
Tabel 3. 10 Data <i>Vendor</i> Mesin <i>Rotary Valve</i> .....	41
Tabel 3. 11 Data <i>Vendor</i> untuk Penyusun Material <i>Rotary Valve</i> .....	42
Tabel 3. 12 Parameter Pengelasan untuk elektroda .....	46
Tabel 3. 13 Parameter Pengelasan untuk elektroda .....	46
Tabel 3. 14 Parameter Heat Treatment Setelah Pengelasan Bisclad 600 .....	47



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri yang bergerak di bidang *concrete* seakan menjadi primadona di tengah maraknya pembangunan oleh pemerintah pusat dan daerah maupun oleh pihak swasta. Kementerian perindustrian mencatat, jumlah investasi yang dikeluarkan oleh pihak investor dalam industri pembuatan semen dari tahun 2013-2017 adalah sebesar 6,68 miliar dollar US atau setara dengan Rp. 65,05 triliun rupiah (Kemenperin, 2017). Jumlah arus investasi yang besar diharapkan mampu menghasilkan *output* produksi semen yang lebih besar pula dari sebelumnya. Menjadikan kegiatan produksi menjadi lebih *sustainable* menjadi prioritas bagi industri semen di Indonesia, salah satunya melalui pemilihan material untuk *equipment* yang sesuai.

PT. Holcim Lafarge Indonesia merupakan salah satu perusahaan semen besar yang turut menggelontorkan biaya besar untuk melakukan kegiatan produksi di Indonesia. Ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan output produksinya di Indonesia. Salah satu permasalahan utama yang dihadapi oleh PT. Holcim adalah pemilihan material untuk *equipment* yang sesuai, misalnya pada proses penghancuran *raw material* awal yang berukuran besar untuk kemudian dihancurkan menjadi ukuran akhir yang kecil yaitu berupa bubuk. Proses pengurangan ukuran material tersebut menempatkan *equipment* pada lingkungan dengan tingkat abrasi yang tinggi. Pemilihan material dengan kekerasan permukaan yang sangat tinggi merupakan solusi yang dipilih perusahaan. Namun, pemilihan material dengan tingkat kekerasan yang tinggi menyebabkan proses fabrikasi selanjutnya menjadi lebih sulit, misalnya pada proses *machining* dan pengelasan. Hal ini disebabkan proses pengerasan permukaan menyebabkan timbulnya beberapa senyawa yang memerlukan penanganan ekstra dalam menghadapinya, misalnya karbida, yang menyebabkan baja sangat sulit untuk dilakukan pengelasan. Pada saat pendinginan, akan ada tegangan sisa yang kemudian



membuat hasil pengelasan menjadi cacat. Selain itu, kondisi material ketika dikenai beban dalam kapasitas besar maka juga harus memperhatikan kekuatan las. Kekuatan las yang buruk akan menyebabkan material mengalami kegagalan pada area las.

Penelitian ini berfokus pada proses perlakuan panas setelah pengelasan dengan melakukan analisa terhadap struktur mikro dan distribusi kekerasan sebagai hasil dari pemberian variasi *holding temperature* pada 650°C dan 750°C dan waktu tahan selama 1 jam, 2 jam, dan 3 jam.

### 1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam pengelasan material Bisclad 600 ini diantara yaitu :

1. Bagaimana pengaruh variasi *holding temperature* dan *holding time* pada proses *post weld heat treatment* terhadap struktur mikro pada hasil pengelasan plat Bisclad 600 dengan menggunakan metode *SMAW*?
2. Bagaimana pengaruh variasi *holding temperature* dan *holding time* pada *post weld heat treatment* terhadap distribusi kekerasan pada hasil pengelasan plat Bisclad 600 dengan menggunakan metode *SMAW*?

### 1.3 Batasan Masalah

Peneliti menetapkan beberapa batasan masalah agar penelitian ini bersifat lebih terarah dan mencapai tujuan yang diharapkan. Adapun batasan masalah yang diberikan yaitu :

1. Pengaruh lingkungan diabaikan
2. Hasil las dianggap seragam untuk tiap spesimen
3. Hasil pengelasan untuk bagian *base metal* tidak diamati



---

#### **I.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Menganalisa pengaruh variasi *holding temperature* dan *holding time* pada proses *Stress Relieving Heat Treatment* terhadap struktur mikro pada hasil pengelasan plat Bisclad 600 dengan menggunakan metode *SMAW*.
2. Menganalisa pengaruh variasi *holding temperature* dan *holding time* pada proses *Stress Relieving Heat Treatment* terhadap distribusi kekerasan pada hasil pengelasan plat Bisclad 600 dengan menggunakan metode *SMAW*.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi :

1. Industri/ Perusahaan

Hasil penelitian ini dapat menjadi salah satu solusi acuan dalam menentukan proses untuk pengelasan material Bisclad 600.

2. Mahasiswa dan peneliti lain

Sebagai dasar pengembangan ilmu dan tolok ukur penelitian selanjutnya dan dapat digunakan sebagai sumber bahan pembelajaran dan pengajaran.

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

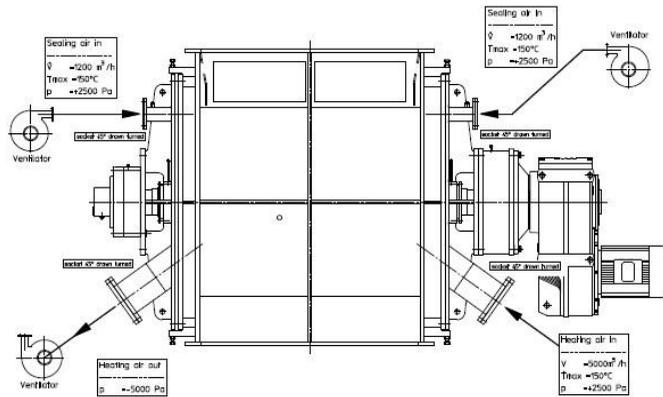


---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Rotary Feeder*

Fungsi utama dari Rotary Air-lock Valve adalah mengatur aliran material dari satu ruang ke lain sambil mempertahankan kondisi vakum tanpa udara yang baik. Bahan atau produk yang ditangani biasanya terdiri dari serbuk kering, debu atau butiran yang mengalir. Dalam operasi, motor dan rantai penggerak memutar poros rotor dan kemudian diteruskan ke shaft untuk memutar piringan yang berputar. Saat pisau memutar, volume material yang konstan melewati *rotary feeder* masuk ke ruang antara baling-baling yang berdekatan (disebut *rotor pocket*) dan dibawa masuk ke kantong outlet material. Rotary Air-lock Valves digunakan di bagian bawah *Bins, Cyclones, Dust Collectors* atau *Feed Hoppers* untuk melepaskan material pada kecepatan aliran terkendali. Rotary Air Clock Valve digunakan untuk membedakan bahan apakah bersifat positif atau negatif. Sebuah *Rotary Feeder / Airlock Valve* terdiri dari sebuah rotor yang diberikan kecepatan tertentu dalam RPM dalam jarak dekat dan bagian *body* akan mempertahankan aliran material yang seragam dan menyediakan segel. Kunci Udara *Rotary* memberikan layanan yang andal pada tekanan tinggi, temperatur tinggi dan layanan berat lainnya kondisi. Katup dapat digunakan di berbagai industri seperti makanan, plastik, kimia, aspal, pertambangan, *baking*, semen dan cat. (Nagulmeera, 2013).



Gambar 2. 1 Rotary Valve(Loesche, 2012)

## 2.2 Material Bisclad

Bisclad merupakan jenis *low carbon steel* dengan permukaan atasnya dilapisi paduan karbida dengan menggunakan paduan karbida tinggi. Adanya karbida krom pada permukaan membuat jenis baja ini cocok digunakan pada kondisi dengan tingkat abrasi yang tinggi pada permukaannya. Bisclad yang diproduksi oleh Bisma Alloy and Steel terdiri dari 2 *grade* yaitu *grade 600* dan *grade 700*. *Grade 600* digunakan untuk kondisi abrasi luncur sedangkan untuk *grade 700* digunakan untuk kondisi abrasi tinggi dan memiliki ketahanan impak yang baik. Adapun secara umum, material bisclad ini digunakan untuk aplikasi pelat tahan aus pada *Drag Line*, *Shovel*, *Hopper*, *Chute*, pelat peluncur, deflector, pipa sluri, dan pipa debu.

Dalam proses fabrikasi, bisclad dapat dikenai proses pengerolan, ditekuk, dan dilas menggunakan kawat elektroda dengan kadar hidrogen yang rendah seperti kawat las dengan tipe



E7018 dan dapat pula dipotong dengan menggunakan busur plasma. Pemotongan dengan menggunakan busur plasma dilakukan pada bagian *low carbon steel*. Jika pemotongan dilakukan dari bagian yang terdapat lapisan material hasil *cladding*, maka bagian *low carbon steel* akan terkontaminasi dengan kromium karbida. Hal ini kemudian dapat menyebabkan plat baja menjadi rapuh. (Bisalloy, 2007).

**Tabel 2. 1 Komposisi Material *Cladding* Bisclad 600**

<i>Chemical (%wt)</i>	Bisclad 600
C	2,29
Si	0,231
Cr	12,79

**Tabel 2. 2 Komposisi Material AISI 1020 (ASTM, 2013)**

Material	Komposisi				
	C	Cr	Mn	Ni	Si
AISI 1020	0,008	11	0,9	0,67	0,66

**Tabel 2. 3 Sifat Mekanik Baja AISI 1020 (ASTM, 2013)**

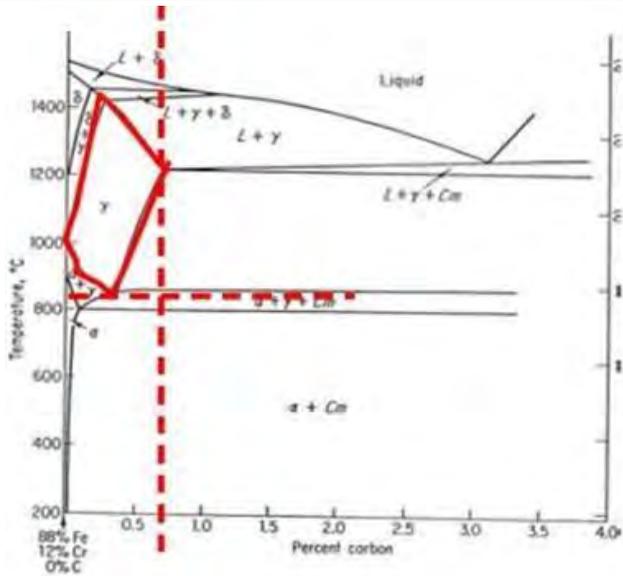
Material	<i>Yield Strength</i> (MPa)	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Ductility</i> (%el.)	<i>Modulus of Elasticity</i> (GPa)	<i>Impact Energy</i> (J)
AISI 1020	295	395	36.5	200	41 at 38°C



**Tabel 2. 4 Nilai Kekerasan *High Chromium White Cast Iron***

Material	Nilai Kekerasan
<i>High Chromium White Cast Iron</i>	650 HV min.

Pada bagian permukaan dari mild steel, terdapat lapisan sebagai hasil *cladding* yaitu High Chromium White Cast Iron. Besi cor kromium putih tinggi termasuk yang khas bahan tahan aus dan memiliki aplikasi industri besar. Besi cor kromium putih yang tinggi dicampur dengan 12 - 35% kromium untuk mencapai ketahanan aus yang superior dan ketahanan korosi. Bahannya menawarkan korosi yang baik resistensi dan ketahanan abrasi tinggi akibat tinggi konsentrasi kromium dalam matriks dan keberadaan karbida eutektik ( $M_7C_3$ ). Meski begitu, materinya juga dikenal sebagai bahan yang sulit dipotong karena alat pendekkehidupan dan ketidakstabilan proses pemesinan sebagai akibat dari kegagalan prematur alat pemotong. (Fernandez, 2008). Secara umum, mikrostruktur cast putih kromium tinggi. Besi terdiri dari hard eutectic carbides ( $M_7C_3$ ) dan primer karbida ( $M_3C$ ) dalam matriks ferrous martensit dengan beberapa mempertahankan austenit. Perbedaan di antara keempat materi tersebut adalah kekerasan matriks mereka, jumlah karbida kromium dan morfologi karbida eutektik. Ukuran butir karbida dan kekerasan keduanya bergantung pada konten C – Si bahan. (Jansen dkk, 1985).



Gambar 2. 2 Diagram Fasa Fe-12Cr(Avner, 1997)



Gambar 2. 3 Material Bisclad(Bisalloy, 2007)



---

### 2.3 Pengaruh Unsur Paduan

Unsur paduan sengaja ditambahkan dengan tujuan untuk mencapai suatu sifat tertentu, misalnya untuk menaikkan *hardenability*, memperbaiki kekuatan, memperbaiki sifat mekanik, menaikkan sifat tahan aus, sifat tahan korosi dan lain lain. Pada dasarnya semua unsur paduan, sedikit atau banyak dapat larut di dalam ferrit, dan austenit pada umumnya dapat melarutkan unsur paduan dalam kadar yang lebih tinggi. Sebagian dari unsur – unsur paduan di dalam baja cenderung membentuk karbida, ada yang kecenderungannya tinggi ada pula yang rendah, bahkan ada yang tidak pernah dijumpai sebagai karbida. Unsur paduan yang mempunyai kecenderungan kuat untuk larut dalam ferrit biasana tidak membentuk karbida. Sebaliknya yang mempunyai kecenderungan kuat untuk membentuk karbida kelarutannya di dalam ferrit lebih terbatas. Selain dapat membentuk suatu fase, unsur paduan juga dapat menstabilkan suatu fase ( walaupun ia tidak ikut membentuk fase tersebut). Kelompok unsur paduan berdasarkan fungsinya :

#### 1. Pembentuk / Penstabil Ferrit

Unsur paduan ini membuat ferrit menjadi lebih stabil sampai ke temperatur yang lebih tinggi. Biasanya ferrit akan bertransformasi menjadi austenit pada suatu temperatur tertentu, dengan adanya unsur paduan penstabil ferrit maka temperatur transformasi ini akan naik, bahkan bila jumlah unsur itu cukup banyak ferrit tetap stabil sampai mulai terjadinya pencairan. Hampir semua unsur paduan mempunyai sifat ini, kecuali nickel dan mangan. Yang terpenting pada kelompok ini adalah Cr, Si, Mo, W dan Al.

#### 2. Pembentuk / penstabil austenit

Unsur paduan ini membuat austenit menjadi lebih stabil pada temperatur yang lebih rendah. Biasanya austenit akan mulai bertransformasi bila didinginkan sampai ke temperatur tertentu, dengan adanya unsur paduan ini temperatur transformasi ini menjadi lebih rendah, bahkan dapat mencapai temperatur kamar. Unsur yang terpenting pada kelompok ini adalah Ni dan Mn.

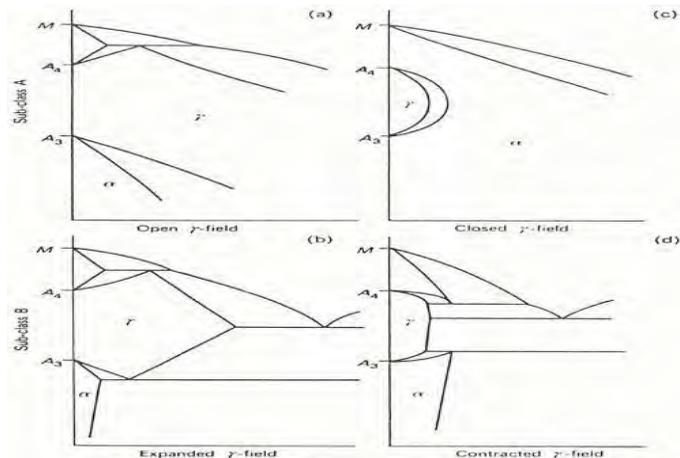


### 3. Pembentuk karbida

Unsur paduan ini dapat membentuk karbida. Yang terpenting dalam kelompok ini (dimulai dari yang mempunyai affinitas terhadap karbon rendah) yaitu Cr, W, Mo, V, Ti, Nb, Ta dan Zr. Karbida yang terbentuk dapat berupa karbida sederhana atau karbida kompleks. Adanya karbida akan menaikkan sifat tahan aus

### 4. Penstabil karbida

Unsur paduan ini membuat karbida menjadi lebih stabil, tidak mudah terurai dan larut ke dalam suatu fase. Unsur unsur dalam kelompok ini (diurut dari yang lemah ke kuat) : Co, Ni, W, Mo, Mn, Cr, V, Ti, Nb, dan Ta. Di sini tampak bahwa tidak selalu pembentuk karbida yang kuat adalah pembentuk karbida yang sangat lemah tetapi ia dapat berfungsi sebagai penstabil karbida yang cukup kuat, bahkan lebih kuat dari Mo. (Avner, 1987).



**Gambar 2. 4 Pengaruh Unsur Paduan Terhadap Diagram Fasa(Totten, 2006)**

## 2.4 Pengelasan

Pengelasan adalah proses penggabungan permanen dua buah material (biasanya logam) melalui perpaduan yang dihasilkan dari



perpaduan yang sesuai antara temperatur, tekanan dan kondisi metalurgi. (Ibrahim Khan,2007). Kemudian, pengelasan adalah proses penyambungan material yang dilakukan dengan memanaskan material tersebut hingga temperatur las, dengan atau tanpa menggunakan tekanan (*pressure*), hanya dengan tekanan (*pressure*), atau dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi (*filler*). (AWS,2001).

## 2.5 *Preheat*

Salah satu pertimbangan terpenting pada pengelasan *cast iron* adalah penggunaan *preheat*. *Preheat* menjadikan kondisi logam lebih siap untuk menerima proses pengelasan. Temperatur minimum *preheat* bertujuan untuk menghindari adanya *crack* yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya; Karbon ekivalen, kondisi *base metal*, ketebalan *base metal*, dan risiko keberadaan hidrogen. (Sharma, Saluja, & Moeed, 2013). *Preheat* digunakan untuk mengontrol mikrostruktur pada area lasan. *Preheating* dapat memperlambat laju pendinginan. Laju pendinginan yang lambat juga dapat membantu meminimalkan *residual stresses*. (ASM vol 6,1993)

Preheat juga dilakukan untuk :

- Mencegah *crack* yang disebabkan oleh gradien temperatur dan *thermal stress*
- Mereduksi tegangan sisa pada *casting*
- Mereduksi distorsi
- Mereduksi kekerasan di HAZ
- Mereduksi gradien temperatur pada *dissimilar welding*
- Mereduksi kontaminasi *hydrocarbon*

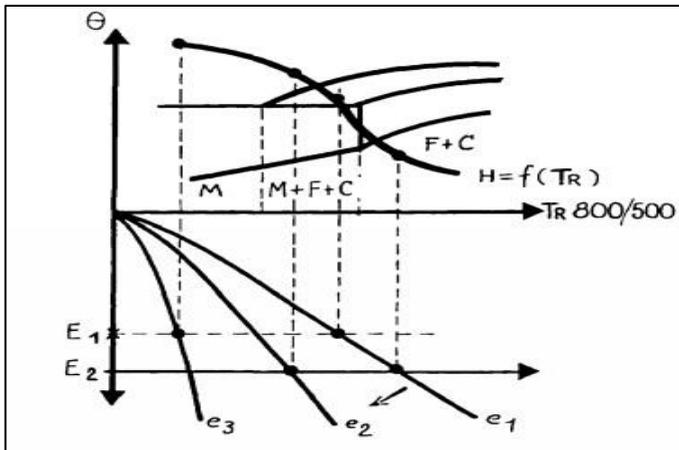
Temperatur *preheat base metal* harus dikendalikan dengan hati-hati. Beberapa metode pemanasan terbaik untuk melakukan ini adalah menggunakan peralatan berupa: pemanas tungku, koil induksi listrik, dan wol dengan bahan *glasswool*. Dengan metode ini indikator temperature terhubung ke bagian yang dipanaskan. Metode *preheat*



lainnya adalah lainnya adalah menggunakan *torch*. Metode ini memberikan efek pemanasan yang lebih terlokalisasi daripada metode yang telah disebutkan sebelumnya. Namun, saat menggunakan metode ini, sangat perlu bagi pengelas untuk memperhatikan keadaan agar jangan sampai *overheating*. *Overheating* dapat menyebabkan pembentukan deposit sebagai akibat dari pembakaran pada permukaan yang tidak sempurna. Kapur berwarna dan pelet sering digunakan untuk mengukur temperatur *preheat* karena dapat meleleh pada temperatur tertentu yang telah ditentukan sebelumnya. Cara lain untuk mengukur temperatur adalah dengan menggunakan thermometer tembak. Ini dapat memberikan pembacaan meter, bacaan digital atau merekam pembacaan tergantung pada jenis indikator temperatur. (Hobart, 2012)

## 2.6 Arc Welding

Jenis pengelasan dengan menggunakan busur listrik seperti MIG dan MAG menggunakan sejumlah rentang energi dari  $5-30 \times 10^3$  J dengan waktu pendinginan dari  $800^\circ\text{C}$  ke  $500^\circ\text{C}$  membutuhkan waktu 30-40 detik tergantung pada ketebalan material dan temperatur awal pengelasan. Waktu pendinginan amat erat kaitannya dengan energi, ketebalan material, dan temperatur awal pengelasan sebagaimana dijelaskan pada gambar dibawah. (Granjon, 1991).



**Gambar 2. 5 Korelasi antara energi dan ketebalan dan transformasi pada weld bead**

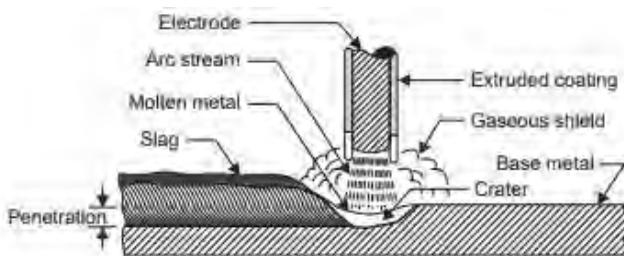
## 2.7 Pengelasan SMAW

Pengelasan *SMAW* merupakan metode pengelasan yang paling sering digunakan. Pengelasan dengan metode ini menggunakan sebuah elektroda yang terdiri dari kawat logam pada bagian intinya dan dilapisi dengan *flux* yang terdiri dari karbonat, oksida, dan fluorida. Cara pembuatannya adalah dengan proses ekstrusi. Beberapa sifat dari pengelasan *SMAW* diantaranya :

1. Flux digunakan untuk menstabilkan busur las, gas digunakan untuk melindungi proses pengelasan dari udara terbuka, proses pengelasan ini menghasilkan *slag* sebagai akibat perlindungan *flux* terhadap pengotor selama pengelasan.
2. Beberapa keunggulannya adalah elektroda yang dapat digunakan lebih bervariasi, proses pengelasan yang sederhana dan murah. Proses pengelasan ini dapat digunakan pada rentang sumber daya sebesar 10 kW atau kurang.



3. Pengelasan dapat dilakukan pada rentang ketebalan 3 hingga 19 mm. untuk ketebalan kurang dari 3 mm, membutuhkan kemampuan *welder* yang sangat baik.
4. Dapat digunakan untuk pengaplikasian *hard facing* pada logam.  
*SMAW* dapat digunakan pada rentang kuat arus 50- 300 Amper dengan laju pengelasan sebesar 1- 8 kg/ jam. (Khan, 2007)



**Gambar 2. 6 Proses Pengelasan SMAW(Khan, 2007)**

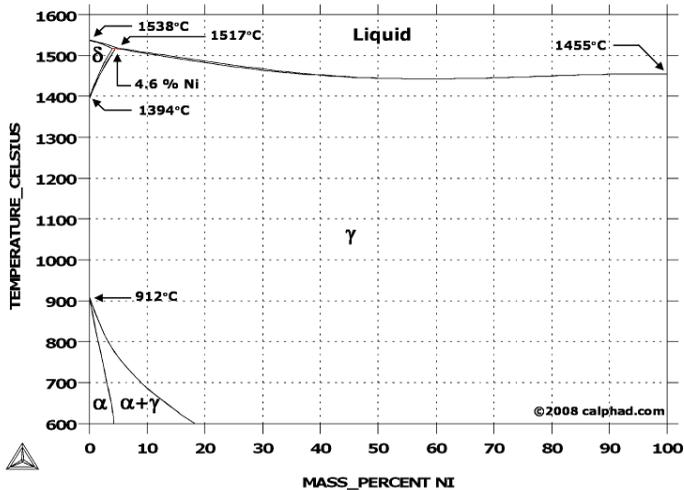
Adapun karakteristik lainnya dari pengelasan *SMAW* adalah pada satu jalan pengelasan, energi tingkat tinggi mempengaruhi *volume* dari *weld metal* dan membentuk beberapa daerah berbeda dengan tingkat keseragaman yang berbeda. (Granjon, 1991).

## **2.8 Filler Metal**

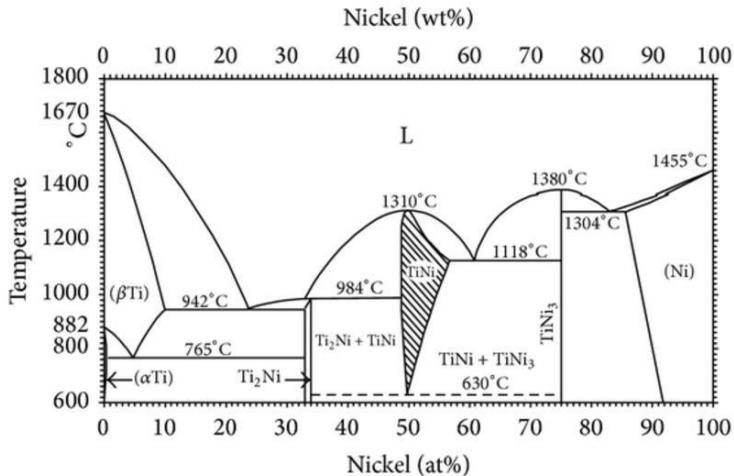
*Filler metal* adalah logam murni atau paduan yang jika dipanaskan hingga titik leburnya maka akan mengalir ke celah dari dua sisi material yang hendak dilas membentuk pola seperti hasil *brazing*, *welding* maupun *soldering*. (Cary, 2007). *Filler metal* biasanya digunakan untuk kegiatan penyambungan untuk pengelasan. Bentuk dari *filler metal* dapat berupa *rod*, *wire* maupun *electrodes*.(AWS,1990). *Filler metal* yang digunakan



pada penelitian kali ini adalah berupa nikel. Penggunaan nikel ditujukan untuk mencegah retakan atau distorsi sebagai akibat adanya pendinginan yang cepat ataupun adanya sifat kegetasan pada material. (Higgins, 1993). Paduan yang terdapat pada *filler metal* dengan logam ini diantaranya adalah Nikel sebesar 92% dan logam lainnya dengan penyusun minor diantaranya Ti sebesar 2% dan Fe sebesar 0,35 %.



Gambar 2. 7 Diagram Fasa Ni-Fe(Gacchiamini, 2006)



**Gambar 2. 8 Diagram Fasa Ni-Ti(Mokgadi, 2014)**

## 2.9 Post Weld Heat Treatment

*Post Weld Heat Treatment (PWHT)* dapat didefinisikan sebagai proses perlakuan panas yang dilakukan setelah pengelasan, umumnya digunakan untuk meningkatkan sifat dari hasil lasan.(Funderburk, 1998). Fungsi dari *Post Weld Heat Treatment* adalah untuk memperhalus martensit di bagian *weld metal* dan HAZ, yang bertujuan untuk mengurangi kekerasan dan meningkatkan ketangguhan, serta mengurangi *residual stress* yang terjadi selama proses pengelasan. Proses PWHT dapat dilakukan dengan berdasarkan pada paduan spesifik dan *filler* yang digunakan. Selain itu juga dimensi, *joint design*, dan parameter pengelasan juga berpengaruh.(Sharma, Saluja, & Moeed, 2013).

*Post weld heat treatment* umumnya menggunakan temperatur di bawah temperatur kritis (sebelum bertransformasi menjadi austenit). Temperatur yang digunakan bergantung dari jenis material yang digunakan. Dengan temperatur di bawah



temperatur kritis tersebut menghasilkan struktur yang lebih halus sehingga dapat mengurangi kemungkinan terjadinya *brittle failure*. (Al-Olabi, 1994).

Jika PWHT dilakukan pada temperatur yang sesuai dan waktu tahan las baik, maka hasilnya akan baik. Namun, jika temperatur PWHT terlalu rendah, logam las akan menghasilkan ketangguhan yang kurang memadai karena efek *tempering* yang tidak mencukupi. Di sisi lain, jika temperatur PWHT juga tinggi, kekuatan tarik di sekitar dan tinggi Temperatur menjadi tidak mencukupi karena efek *tempering* yang berlebihan. (Taniguchi & Yamasaki, 2013)

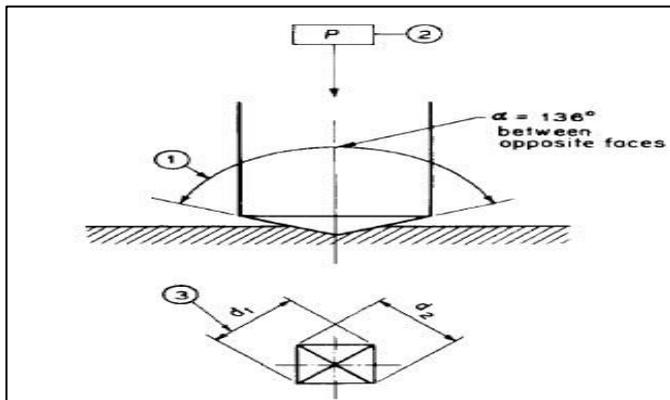
**Tabel 2. 5 Rekomendasi *Post Weld Heat Treatment***  
**(ASM Vol.6, 1993)**

<i>Heat Treatment</i>	<i>Temperature</i>		<i>Holding Time per workpiece thickness</i>	<i>Cooling rate</i>
	°C	°F		
<i>Stress Relief</i>	595-650	1100-1200	1 H/ 1 N	Pendinginan furnace hingga 350°C(600°F) pada 55°C/H(100°F/H). pendinginan udara hingga temperatur ruangan
<i>Ferritize Anneal</i>	705-760	1300-1400	1 H/ 1 N	
Full Anneal	790-900	1450-1650	1 H/ 1 N	
Graphitizing Anneal	900-955	1650-1750	1-3 H + 1 H/ 1 N	
Normalizing Anneal	870-955	1600-1750	1-3 H + 1 H/ 1 N	



## 2.10 Pengujian Kekerasan *Vickers*

Pengujian kekerasan *Vickers* dilakukan dengan menggunakan indenter berupa piramida segi empat berbahan intan lalu kemudian diukur hasil kekerasan material dengan mengukur diagonal yang terbentuk pada permukaan material. Beban yang digunakan ada pada rentang 1-120 kgf. (ASTM,1999). Piramida intan yang digunakan menggunakan sudut apex sebesar  $136^\circ$ . Sudut apex merupakan sudut yang dibentuk oleh muka dari indenter.(Callister, 2007). Alat yang digunakan adalah mesin pengujian dan juga indenter. Mesin pengujian yang digunakan harus mampu memberikan beban pada permukaan material secara bertahap. Selain kedua alat diatas, terdapat pula mikroskop yang digunakan untuk melakukan observasi hasil indentasi dan kemudian mengukur kekerasan. Mikroskop yang digunakan harus bisa menangkap gambar hingga ketelitian 0,0005 mm. (ASTM,1999).



**Gambar 2. 9 Indenter Pengujian *Vickers*(ASTM,1999)**

Pengujian menggunakan *Vickers* memiliki keunggulan diantaranya adalah dapat digunakan untuk menguji segala jenis spesimen dalam berbagai tingkat kekerasan namun harus lebih memperhatikan pada ketebalan dari spesimen, posisi dari material



ketika diindentasi, preparasi permukaan material yang baik juga harus menjadi perhatian.(ASTM, 1999).

### 2.11 Penelitian Sebelumnya

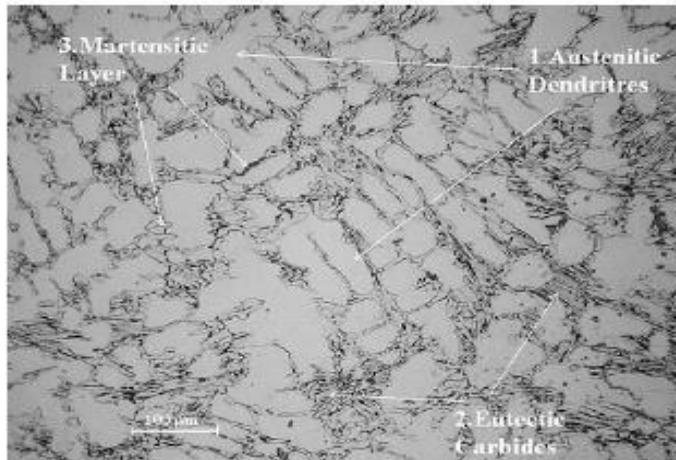
- ✓ S. Riyaz Ahmed dkk pada tahun 2015, meneliti pengaruh waktu tahan pada proses PWHT terhadap *High Strength Low Alloy Steel*(HSLA) Cr-Mo dengan kadar paduan 2,25 persen Cr dan 1 % Mo. Waktu tahan yang divariasikan adalah sebesar 0,5 jam, 2 jam, 10 jam, dan 50 jam. Hasil yang didapat berupa pemberian waktu tahan selama 2 jam memberikan hasil terbaik pada *yield strength* dan UTS disbanding lainnya. Namun, pada waktu tahan 10 jam, terjadi kenaikan pada keuletan dan kekuatan impact. Penulis berpendapat bahwa, ada kemungkinan untuk menemukan kekuatan *yield* dan kekuatan maksimum lebih baik pada rentang waktu tahan 2 jam hingga 10 jam. Dari segi kekuatan impact yang didapatkan baik pada temperatur tinggi maupun pada temperatur *sub-zero*, pemberian waktu tahan sebesar 10 jam pada spesimen merupakan yang terbaik. Peneliti juga berasumsi, bahwa ada titik pada rentang 10 jam hingga 50 jam yang akan memberikan hasil kekuatan impact yang lebih baik.
- ✓ Penelitian yang dilakukan oleh Meilati Pasca Muna terkait variasi penentuan filler metal dan pemberian PWHT pada proses *repair* untuk bagian *hard facing* terhadap struktur mikro dan sifat mekanik besi tuang kelabu FC250 dengan metode TIG memberikan hasil berupa pemberian waktu tahan pada 650° C selama 1,5 jam memberikan hasil berupa adanya perubahan struktur mikro pada daerah HAZ, dimana martensit mengalami proses tempering. Peningkatan kekerasan juga terjadi dengan penentuan variasi filler berupa NiFe-1, 308L, Ni.
- ✓ Penelitian yang dilakukan oleh Qory Maghfiroh terkait variasi temperatur *tempering* dan waktu tahan pada *tempering* terhadap sifat kekerasan dan ketahanan aus



---

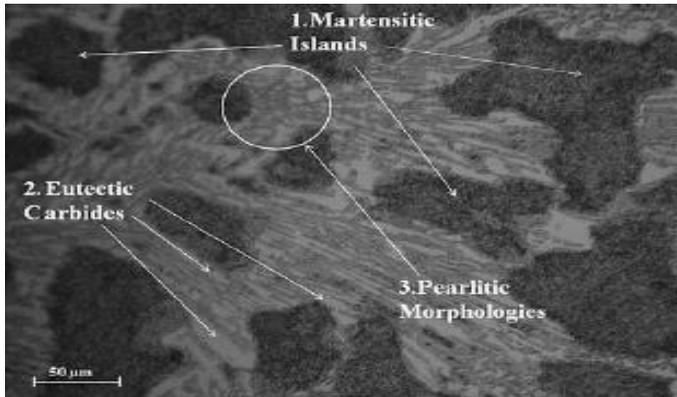
material ASTM A532 *class* III-A. Yang menjadi fokus adalah solusi untuk menentukan perlakuan panas berupa kombinasi *hardening* dan *tempering* yang tepat untuk menghasilkan material dengan kekerasan yang lebih memadai. Material terlebih dahulu diberikan perlakuan *hardening* dengan menaikkan temperatur besi tuang ke 930°C dan kemudian didinginkan dengan cepat menggunakan media pendingin oli. Temperatur *tempering* yang diberikan adalah 200°C, 250°C, dan 300°C dengan tiga waktu tahan berbeda yaitu 40 menit, 80 menit, dan 120 menit. Pada hasil kemudian menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur *tempering* akan menghasilkan penurunan kekerasan dan ketahanan aus dari material. Namun, pada temperatur *tempering* sebesar 250°C didapat kenaikan kekerasan pada waktu penahanan yang lebih lama yaitu di 80 menit dan 120 menit yang kemudian dikonfirmasi adanya *secondary hardness* sebagai akibat munculnya presipitat karbida sekunder melalui hasil pengujian XRD. Sebagai kesimpulan, material dengan perlakuan *tempering* pada 250°C dengan waktu tahan selama 120 menit merupakan solusi dari kegagalan material dari *chute inlet*. Kesimpulan tambahan lainnya yang didapat adalah kesalahan pemilihan material untuk *chute inlet* menjadi alasan utama kegagalan.

A.E. Karantzalis dkk, 2013, pada penelitian yang dilakukan olehnya mengenai modifikasi struktur mikro pada material *high chromium white cast iron* dengan komposisi 2,32 % C dan 18,23 % Cr pada beberapa teknik perlakuan panas.



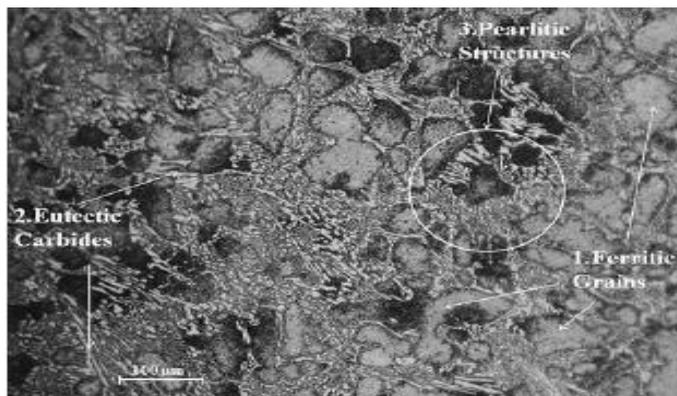
**Gambar 2. 10 Struktur Mikro Material as-cast**

Perlakuan panas yang digunakan adalah *sub-critical heat treatment* dan *destabilization heat treatment* dengan beberapa kombinasi dari temperatur pemanasan, waktu penahanan, dan laju pendinginan. Ada 4 jenis variasi perlakuan panas yang digunakan yaitu H.T.A pada 970°C dengan waktu tahan selama 2.5 jam dan didinginkan pada udara terbuka.



**Gambar 2. 11 Struktur Mikro Material dengan perlakuan H.T.A**

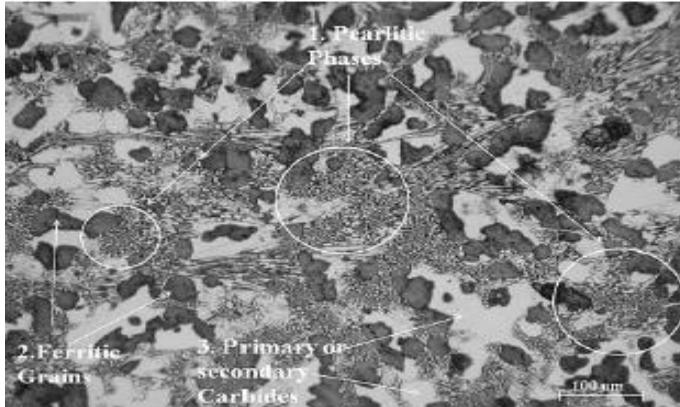
H.T.B dengan pemanasan pada  $970^{\circ}\text{C}$  dengan waktu tahan selama 2.5 jam lalu kemudian material didinginkan pada media pendingin udara, setelah itu material dipanaskan kembali pada temperatur  $600^{\circ}\text{C}$  dengan waktu tahan 13 jam lalu didinginkan kembali dengan media pendingin udara.



**Gambar 2. 12 Struktur Mikro Material dengan perlakuan H.T.B**

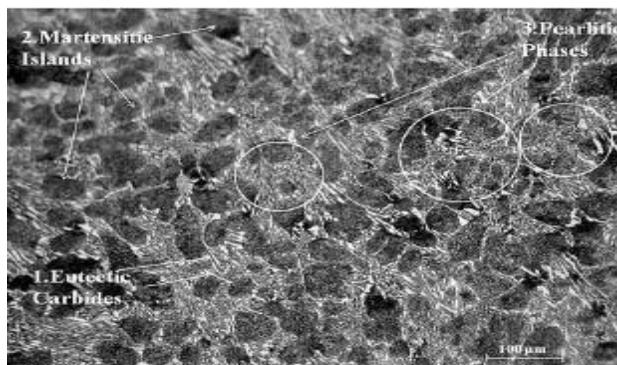


H.T.C dengan pemanasan pada  $600^{\circ}\text{C}$  dengan waktu tahan selama 13 jam lalu kemudian material didinginkan pada media pendingin udara.



**Gambar 2. 13 Struktur Mikro Material dengan perlakuan H.T.C**

Pada H.T.D, material awalnya dipanaskan pada temperatur  $600^{\circ}\text{C}$  dengan waktu tahan selama 13 jam lalu didinginkan pada media pendingin udara, setelah itu, material kemudian dipanaskan kembali pada temperatur  $970^{\circ}\text{C}$  dengan waktu penahanan selama 2.5 jam.



**Gambar 2. 14 Struktur Mikro Material dengan perlakuan H.T.D**



Material *as-cast* memiliki struktur mikro berupa dendrit austenite, karbida eutektik yaitu  $M_7C_3$ , dan martensit yang dikelilingi oleh karbida. Sebagai pembanding, hasil perlakuan panas menunjukkan struktur mikro berupa martensit, perlit, dan karbida berupa  $M_7C_3$  dan karbida kuboid dengan struktur senyawa  $M_{23}C_6$ . Kekerasan yang dicapai lebih tinggi dari material *as-cast* yaitu sekitar 66 HRC. Pada H.T.B, struktur yang dihasilkan yaitu berupa perlit, karbida primer dengan bentuk *spheroidized*, dan karbida kuboid,  $M_{23}C_6$  dengan ukuran medium, serta munculnya partikel karbida halus. Kekerasan yang dicapai lebih tinggi daripada material *as-cast* yaitu sebesar 55 HRC. Pada H.T.C, dihasilkan struktur mikro berupa perlit, ferit, dan karbida primer dengan struktur *spheroidized*. Kekerasan menurun dibanding *as-cast* yaitu hanya sebesar 43 HRC. Pada H.T.D, struktur mikro yang dihasilkan adalah martensit, austenit sisa, karbida primer, dan karbida sekunder dengan bentuk *spherical*. Kekerasan pada material mengalami peningkatan kekerasan hingga 62 HRC.

Penelitian yang dilakukan oleh Heino dkk terkait Role of Microstructure in *High Chromium White Cast Iron* dengan komposisi %wt Cr sebesar 28 % dan %wt C sebesar 2,9 %. Pengujian ketahanan abrasi dilakukan dengan metode *pin-o-pin disc*. Penelitian ini berkesimpulan bahwa rasio dari austenite-martensit pada struktur mikro akan mempengaruhi struktur permukaan pengecoran. Jumlah martensit yang terlalu banyak akan menimbulkan permukaan material yang penuh dengan retakan. Selanjutnya, struktur karbida yang kolumnar, panjang, dan tipis serta memiliki arah tegak lurus terhadap gaya abrasi permukaan menentukan ketahanan abrasi yang baik pada bagian permukaan material.



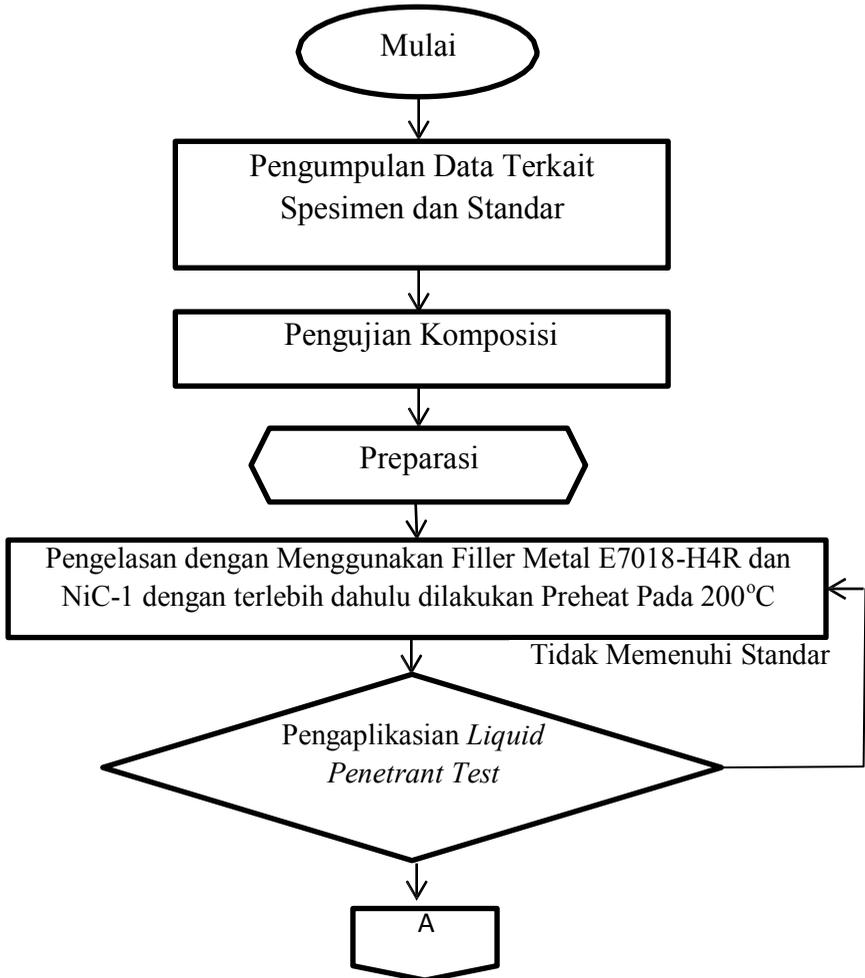
(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

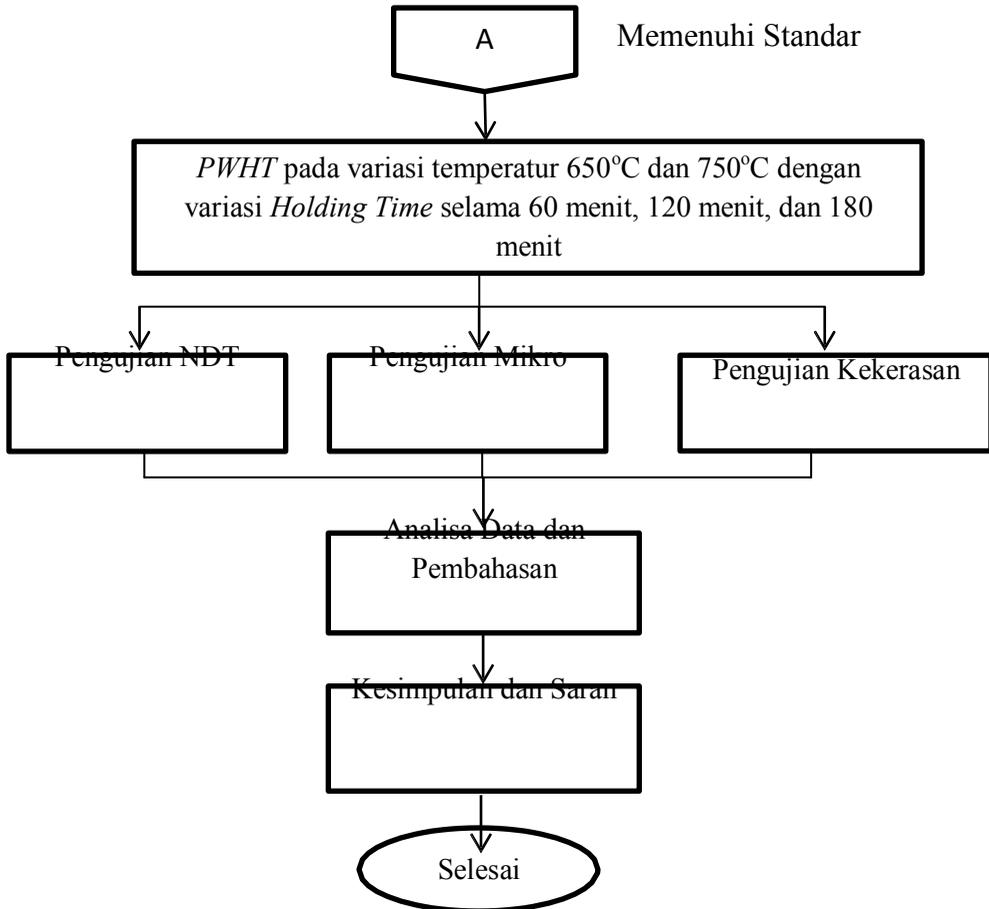


---

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian





**Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian**



### 3.2 Rancangan Penelitian

Adapun jadwal dari penelitian pada hasil pengelasan Bisclad 600 yaitu :

**Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian**

No	Kegiatan	Agustus				September				Oktober				Nopember				Desember			
		Minggu				Minggu				Minggu				Minggu				Minggu			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Kunjungan ke Holcim																				
2	Koleksi Data Awal untuk Seminar Proposal																				
3	Pembuatan Proposal Awal																				
4	Seminar Proposal																				
5	Pengambilan Data Secara Keseluruhan ke Perusahaan																				
6	Identifikasi Awal terhadap Material Uji																				
7	Preparasi Spesimen																				
8	Pengujian Spesimen																				
9	Analisis Data																				
10	Pembuatan Laporan Akhir																				
11	Presentasi Ke Perusahaan																				
12	Aplikasi saran pada Laporan dan Kondisi Aktual																				
13	Sidang Tugas Akhir																				



**Tabel 3. 2 Rancangan Penelitian**

Spesimen	Filler	Pengujian Komposisi	Pengelasan	NDT	PWHT		Pengujian	
					Holding Temperature (in celcius)	Holding Time	Uji Kekerasan	Struktur Mikro
Sp 1	Filler Ni-Cl(Cladding Metal) + Filler E7018(Base Metal)	v	v	v	650	1 jam	v	v
Sp 2		x	v	v	650	2 jam	v	v
Sp 3		x	v	v	650	3 jam	v	v
Sp 4		x	v	v	750	1 jam	v	v
Sp 5		x	v	v	750	2 jam	v	v
Sp 6		x	v	v	750	3 jam	v	v

### 3.3 Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode studi lapangan dengan mengambil data dari kondisi aktual di lapangan. Kemudian studi literatur dengan melakukan pencarian informasi melalui buku, jurnal, dan sumber lain yang menunjang informasi yang ada. Selain itu juga digunakan metode pengujian yang diantaranya adalah pengujian *Non Destructive Test*, pengujian struktur mikro, dan pengujian kekerasan.



### 3.4 Bahan Penelitian

#### 3.4.1 *Base metal*

Material yang digunakan sebagai *base metal* adalah mild steel dengan komposisi sebagai berikut.

**Tabel 3. 3 Komposisi Baja AISI 1020 atau ekuivalen (ASTM, 1996)**

Material	Komposisi				
	C	Cr	Mn	Ni	Si
AISI 1020	0,192	0,0167	0,296	0,0047	0,150

**Tabel 3. 4 Sifat Mekanik baja karbon rendah AISI 1020 atau ekuivalen(ASTM,1999)**

Material	Sifat Mekanik( pada temperatur kamar)				
	YS (Mpa)	UTS (Mpa)	% elongasi	Hardness (HV)	Energi Impak (J)
AISI 1020	294,7	394,72	36,5	376	125

#### 3. 4.2 *Cladding Metal*

Material yang digunakan untuk melapisi lapisan atas material tersebut adalah *High Chromium White Cast Iron*. Adapun, jenis material berdasarkan komposisi dan standar dikategorikan kedalam jenis baja ASTM A532 kelas II grade A dengan komposisi sebagai berikut

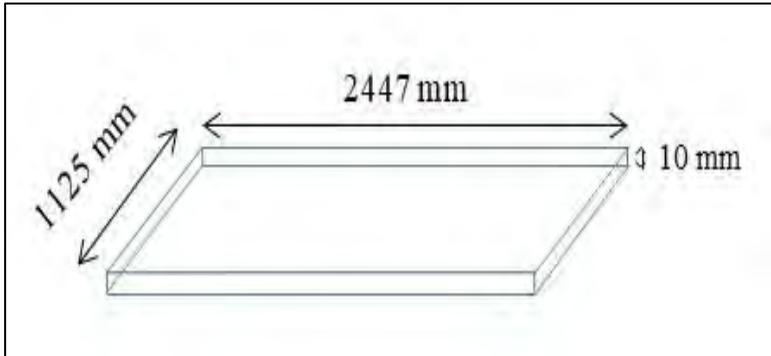
**Tabel 3. 5 Komposisi *High Chromium White Cast Iron***

No	Material	Komposisi(dalam %wt)		
		C	Ni	Cr
1	<i>High Chromium White Cast Iron</i>	2,29	0,072	12,72



**Tabel 3. 6 Dimensi Keseluruhan dari plat bisclad 600**

Material	Dimensi(dalam mm)		
	Panjang	Lebar	Tebal
Bisclad 600	2447	1125	10 mm(4 clad, 6 base)



**Gambar 3. 2 Dimensi Spesimen dari Vendor**



**Gambar 3. 3 Dimensi ketebalan antara *base metal* dan *cladding metal***



### 3.4.3 Filler Metal

Filler yang digunakan pada penelitian kali ini adalah :

- *AISI 1020 Filler* :

Untuk material *base metal* berupa *low carbon steel*, filler yang digunakan adalah elektroda E7018-H4R dengan komposisi kimia mengacu pada AWS 5.1 sebagai berikut :

**Tabel 3. 7Komposisi Filler Metal E7018-H4R (AWS, 2001)**

No	Filler Metal	Komposisi(dalam %wt)				
		C	Cr	Ni	Mn	Si
1	AWS E7018-H4R	0,15	0,2	0,30	1,6	0,75

**Tabel 3. 8 Mechanical Properties Filler Metal E7018-H4R(AWS, 2001)**

No	Elektroda	Mechanical Properties	
		Kekuatan Tarik(Mpa)	Keuletan(%)
1	E7018-H4R	490	22

- *High Chromium White Cast Iron Filler*:

Untuk menyambungkan sisi atas yang berupa material *clad* menggunakan elektroda ENi-C1. Adapun komposisi kimia yang disyaratkan sesuai dengan AWS A5.15 adalah :



**Tabel 3. 9 Komposisi Filler ENi-CI (AWS, 2001)**

No	Filler Metal	Komposisi(dalam %wt)								
		C	Mn	Si	S	Fe	Ni	Ti	Al	Lainnya
1	ENi-CI	0.02	0,2	0,4	0,02	0,35	92	2	0,5	-

**Tabel 3. 10 Sifat Mekanik Filler ENi-CI (AWS, 2001)**

Material	Sifat Mekanik( pada temperatur kamar)		
	UTS (Mpa)	% elongasi	Hardness (HV)
ENi-CI	490	33	150-170

### 3.4.4 Kalkulasi Pendukung

- Perhitungan Heat Input  
Heat Input(J/mm)

$$\text{Heat Input} = \frac{\text{Voltage} \times \text{Current}}{\text{Travel Speed}}$$

Dengan menggunakan voltase sebesar 12 volt, kuat arus sebesar 100 A, dan laju pengelasan sebesar 100 mm/ min. didapatkan nilai heat input sebesar 720 J/mm.

### 3.5 Peralatan penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya

- Pada proses pengelasan
  - Mesin Las SMAW  
Mesin Las yang digunakan untuk melakukan pengelasan pada spesimen



**Gambar 3. 4 Mesin Las SMAW**

2. *Oxyacetylene Gas Burner*

Digunakan untuk memberikan *pre-heating* pada material.



**Gambar 3. 5 Tabung Gas Oksigen dan Asetilena**



3. *Wire cut machine*

Digunakan untuk melakukan pemotongan pada spesimen pengelasan



**Gambar 3. 6 Wire Cut Machine**

4. *Thermogun*

Digunakan untuk mengukur temperatur saat *pre-heat*



**Gambar 3. 7 Thermogun**



- Pada proses PWHT
  1. Furnace



**Gambar 3. 8 Furnace**

- Pada proses pengujian
  1. *Liquid Dye Penetrant*  
Digunakan untuk melihat cacat permukaan yang bersifat *open to surface*.



**Gambar 3. 9 Liquid Penetrant Test**



2. Mikroskop Optik

Mikroskop optik digunakan untuk mengamati struktur mikro logam dengan rentang perbesaran 100-500 kali.



**Gambar 3. 10 Mikroskop Optik**

3. Mesin uji kekerasan *Vickers*

Mesin uji kekerasan digunakan untuk melakukan indentasi pada permukaan logam untuk mendapatkan nilai kekerasan.



**Gambar 3. 11 Mesin Uji Kekerasan *Vickers***



4. Kertas Amplas *grade* 500, 1000, dan 1500, kain bludru, dan *metal polish*  
Kertas amplas digunakan untuk menghaluskan permukaan material dan menghilangkan beberapa *scratch* yang muncul pada permukaan lalu kemudian menyearahkan *scratch*



**Gambar 3. 12 Kertas Amplas**



**Gambar 3. 13 Metal Polish merk Autosol**



---

5. Mesin Metal Polish

Digunakan untuk memberi finishing pada hasil *grinding* dengan memberikan padatan *metal polish* diatasnya.



**Gambar 3. 14 Mesin *Metal Polish***

### **3.6 Tahapan Penelitian**

Dalam melakukan penelitian ini, tahapan yang dilalui oleh peneliti adalah :

1. Pengambilan Data ke Perusahaan

Pada tahap ini, pengambilan data yang dilakukan adalah data terkait material sebagai bahan pengelasan dan data perangkat perusahaan yang menggunakan material tersebut.



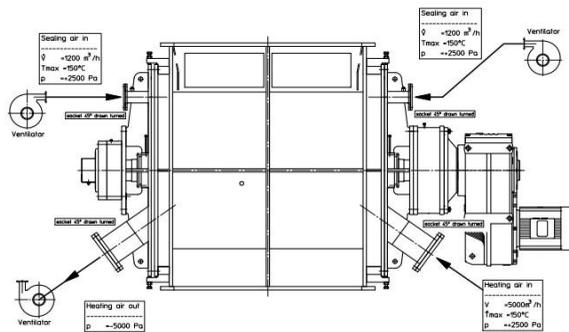
**Tabel 3. 11 Data Vendor Mesin Rotary Valve**

No	Data	Keterangan
1	Tipe Alat	ADG 1600 x 1600 - 21 - 6.8 VB - design left
2	Temperatur Lingkungan	20°C-40 °C
3	<i>Bulk Density</i>	1,2- 1,4 t/ m <sup>3</sup>
4	<i>Grain Size</i>	0-60 mm, maksimal 100 mm
4	Temperatur Kerja	Maksimal 100° C
5	Kelembapan Material	4,69 %(campuran)
6	Abrasivitas	Sangat abrasif
7	Lokasi Pemasangan	Diatas <i>mill</i>
8	Kapasitas rotor	2370 dm <sup>3</sup>
7	<i>Peripheral velocity</i>	0,57 m/s
8	Waktu operasi per hari	24 jam
9	Kapasitas Kerja	300 ton/ jam(maksimal 530 ton/ jam)

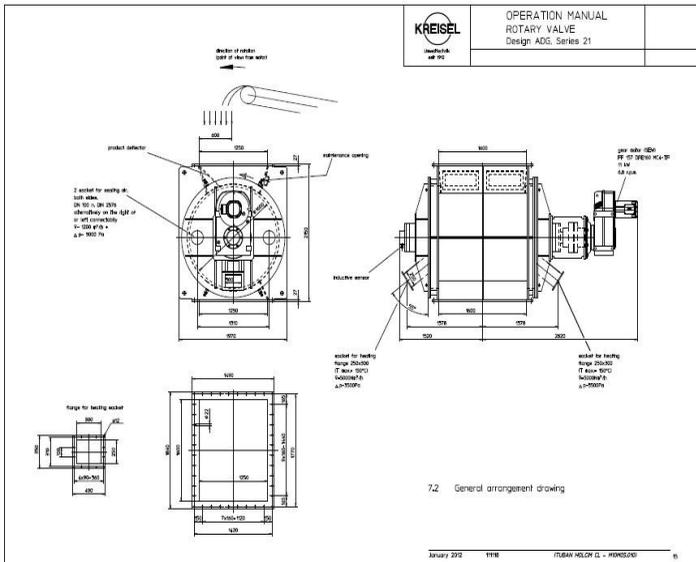


**Tabel 3. 12 Data Vendor untuk Penyusun Material Rotary Valve**

No	Bagian Rotary Valve	Material
1	<i>Housing</i>	Baja St 37-2
2	<i>Wearing Plate(Inside Wall)</i>	Baja 42 CrMo3
3	<i>Cellular Wheel</i>	Hardox 500/ Baja C45
4	<i>Wearing Bars</i>	Baja 90MnCrV8



**Gambar 3. 15 Operasional Kerja Ventilator pada Rotary Valve**

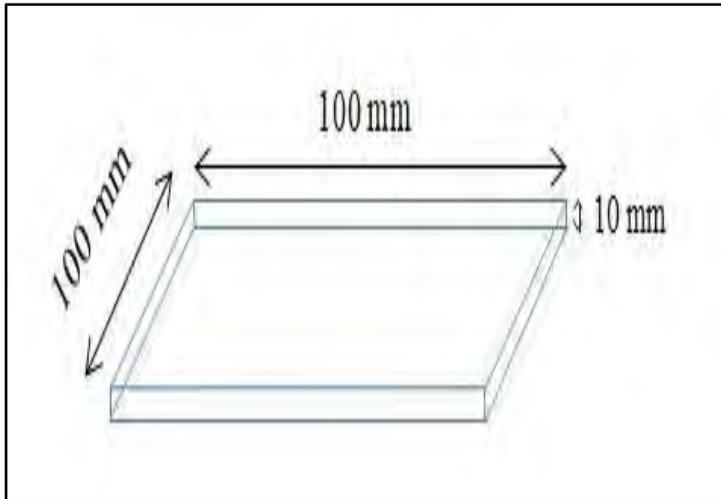


**Gambar 3. 16 Standard Drawing Rotary Valve**

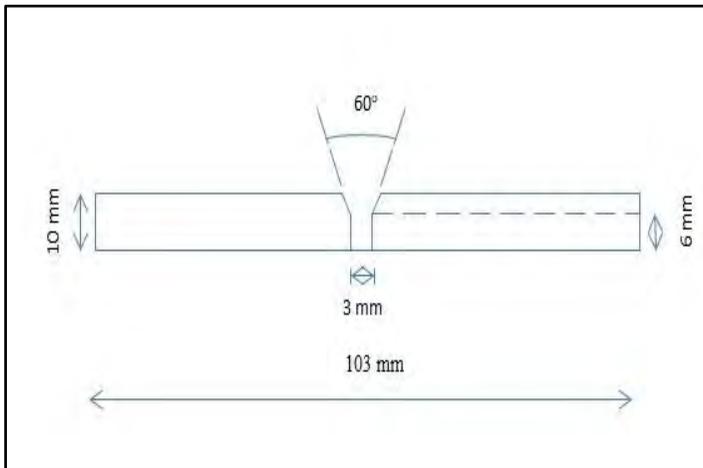
## 2. Persiapan

Pada tahapan ini, hal yang dilakukan adalah :

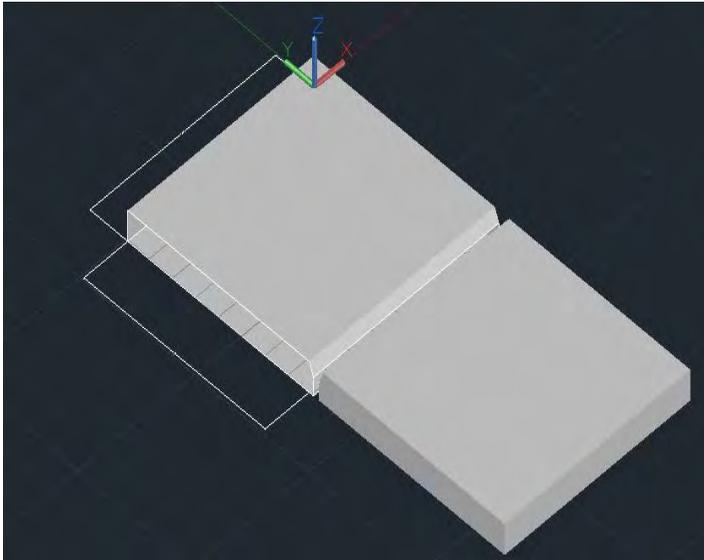
- Pencarian literatur untuk menunjang teori pada penelitian melalui buku, jurnal, dan penunjang lainnya.
- Preparasi Spesimen sesuai dengan ukuran sesuai dengan kebutuhan



**Gambar 3. 17 Ukuran Spesimen Pengelasan**



**Gambar 3. 18 Desain Spesimen Pengelasan**



**Gambar 3. 19 Desain Pengelasan 3 Dimensi**

- ✓ Penentuan parameter las untuk eksperimen pengelasan dan PWHT  
Penentuan parameter pengelasan bertujuan untuk memberikan gambaran yang jelas untuk *welder* agar hasil yang didapat sesuai yang diharapkan.



---

**Tabel 3. 13 Parameter Pengelasan untuk elektroda  
E7018-H4R(AWS 5.1, 2012)**

No.	Parameter	Detail
1	Arus	100 A
2	Polaritas	DC +
3	Diameter Elektroda	3,2 mm
4	Posisi Pengelasan	<i>Vertical down</i>
5	Kecepatan Pengelasan	100 mm/menit

**Tabel 3. 14 Parameter Pengelasan untuk elektroda  
ENi-CI(AWS 5.15, 1998)**

No.	Parameter	Detail
1	Arus	100 A
2	Polaritas	DC +
3	Diameter Elektroda	3,2 mm
4	Posisi Pengelasan	<i>Vertical down</i>
5	Kecepatan Pengelasan	100 mm/menit



**Tabel 3. 15 Parameter Heat Treatment Setelah Pengelasan  
Bisclad 600**

No	Jenis	<i>Holding Temperature</i> (°C)	<i>Holding Time</i>	<i>Cooling Rate</i>
1	<i>Stress Relieving</i>	650 dan 750	1 jam 2 jam 3 jam	Pendinginan dilakukan dengan mematikan <i>furnace</i> dan material didiamkan didalam <i>furnace</i> selama 14 jam.

Untuk proses *heat treatment*, spesimen hasil pengelasan dipotong dengan lebar 3 mm dari pinggir hasil las pada kiri dan kanan. Adapun desain dari spesimen adalah sebagai berikut.



**Gambar 3. 20** Spesimen untuk *Heat Treatment*

**Keterangan :**

- 1: 650°C- 1 Jam; 2: 650°C- 2 Jam; 3: 650°C- 3 Jam; 4: 750°C- 1 Jam; 5: 750°C- 2 Jam 6: 750°C- 3 Jam**



### 3. Pengelasan dan PWHT

Kegiatan yang dilakukan pada tahap pengelasan dan pemberian perlakuan *stress relieving heat treatment* ini diantaranya

1. Pengaturan mesin las *SMAW* sesuai parameter pada tabel 3.10 dan 3.11
2. Melakukan preheat dengan menggunakan *Oxyacetylene Gas Burner* hingga mencapai temperatur 200°C
3. Pengelasan pada spesimen dengan melakukan pengelasan pada *base metal* dengan ketebalan lasan 3 mm terlebih dahulu lalu untuk *cladding material* dengan ketebalan 3 mm.
4. Melakukan PWHT pada temperatur 650°C dan 750°C dengan variasi *holding time* 60 menit, 120 menit, dan 180 menit.

### 4. Pengujian Spesimen

Pengujian spesimen yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya :

#### a. Pengujian *Non-Destructive Test*(*NDT*)

Pengecekan hasil pengelasan dengan menggunakan uji penetran bertujuan untuk menemukan cacat berupa *undercut*, *porosity*, dan *crack* pada permukaan hasil pengelasan.

#### b. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan mesin uji kekerasan *Vickers* dengan indenter berupa limas segi empat dengan beban 100 kgf. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada material hasil lasan pada daerah *base metal*, *HAZ*, dan *Weld metal*.



---

c. Pengamatan Struktur Mikro

Tahapan yang dilakukan untuk pengujian struktur mikro hasil pengelasan menggunakan mikroskop cahaya dengan variasi perbesaran adalah:

1. Pemotongan spesimen (*crosscut*) secara melintang pada area lasan, menjadi bagian yang lebih kecil,
2. Menghaluskan permukaan menggunakan kertas amplas *grade* 500cc, 1000cc, dan 1500cc
3. Proses *polishing* menggunakan *polisher machine* dengan media kain bludru dan larutan alumina
4. Proses mikro etsa dengan larutan Nital (5 ml  $\text{HNO}_3$  + 100ml Alkohol)
5. Pengamatan melalui mikroskop optik dengan perbesaran 100x, 200x dan 500x



## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Data

#### 4.1.1 Pengujian Komposisi

Pengujian Komposisi dilakukan di PT. Logamindo Sari Mulia dengan hasil sebagai berikut :

**Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Spectro untuk material *High Chromium White Cast Iron***

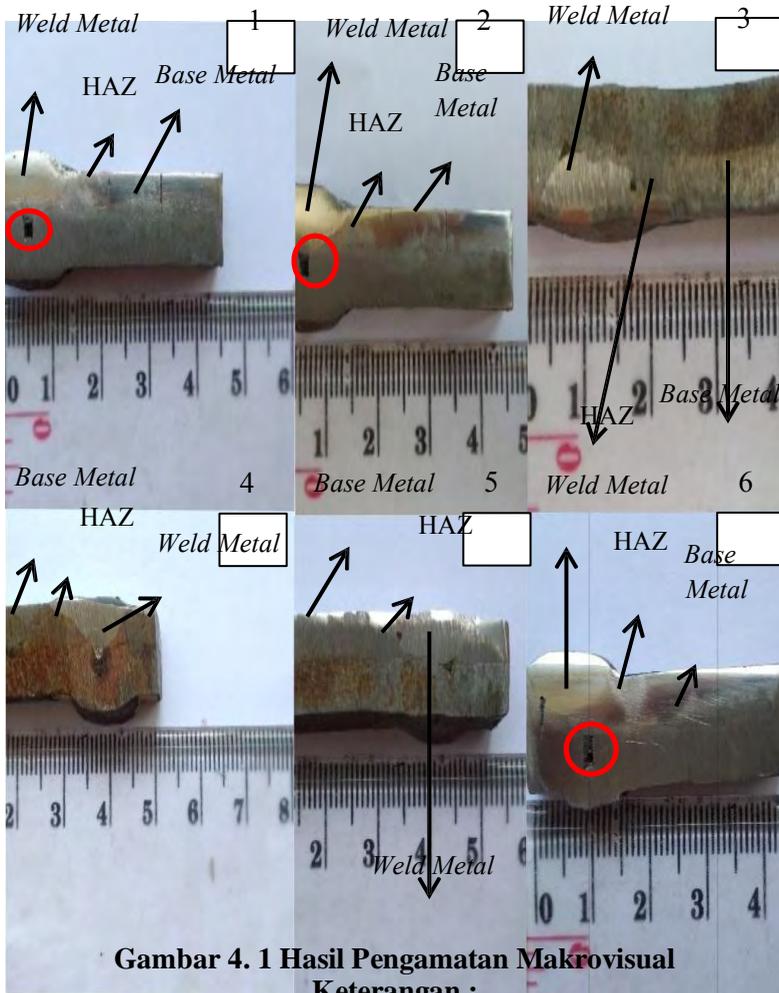
No	Jenis Logam	Komposisi(dalam %wt)					
		C	Cr	Mo	V	Ti	Si
1	<i>High Chromium White Cast Iron</i>	2,29	12,72	0,02	0,0722	0,031	0,231

**Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Spectro untuk material AISI 1020**

No	Jenis Logam	Komposisi(dalam %wt)					
		C	Si	Mn	P	S	Cr
1	AISI 1020	0,192	0,15	0,26	0,0226	0,0168	0,0157

#### 4.1.2 Pengujian Visual dan Pengujian Penetran

Pengamatan visual dan pengujian liquid penetrant test dimaksudkan untuk menemukan cacat pada material hasil pengelasan. Cacat pada material dapat berupa *porosity*, *undercut*, *crack*, maupun *non-fusion area*.

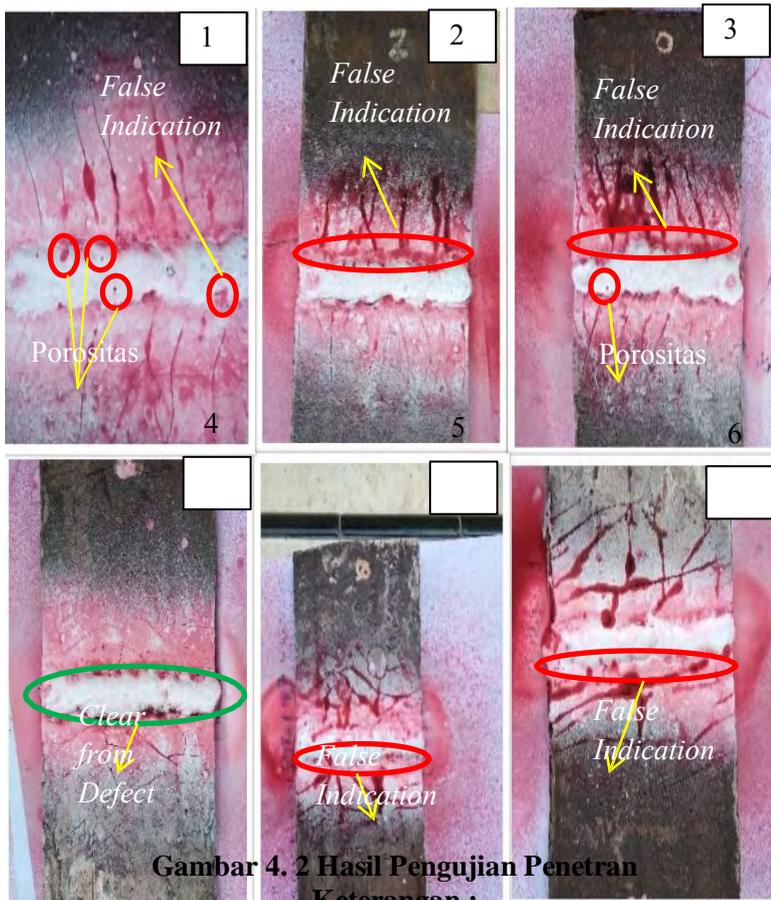


**Gambar 4. 1 Hasil Pengamatan Makrovisual**  
**Keterangan :**

- 1: 650°C- 1 Jam; 2: 650°C- 2 Jam; 3: 650°C- 3 Jam; 4: 750°C- 1 Jam; 5: 750°C- 2 Jam 6: 750°C- 3 Jam**



Pada hasil pengamatan secara visual terhadap penampang *cross section* dari spesimen, terlihat ada bentuk cacat berupa *lack of fusion*. Namun, cacat yang timbul tidak mempengaruhi hasil pengujian material secara struktur mikro dan kekerasan.



**Gambar 4. 2 Hasil Pengujian Penetran**

**Keterangan :**

- 1: 650°C- 1 Jam; 2: 650°C- 2 Jam; 3: 650°C- 3 Jam; 4: 750°C- 1 Jam; 5: 750°C- 2 Jam 6: 750°C- 3 Jam**



Kriteria penerimaan material untuk penelitian kali ini diambil dari hasil pengujian *penetran*. Secara hasil, pengujian ini menunjukkan ada cacat yang muncul berupa porositas dan ada beberapa *false indication* yang muncul. Acuan penerimaan pengujian penetran mengacu pada AWS D1.1



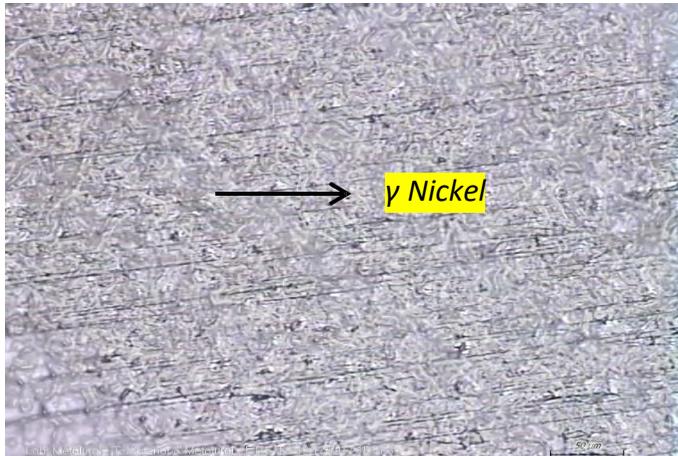
**Gambar 4. 3 Morfologi Permukaan Bisclad 600**

#### **4.1.3 Pengujian Mikroskopik**

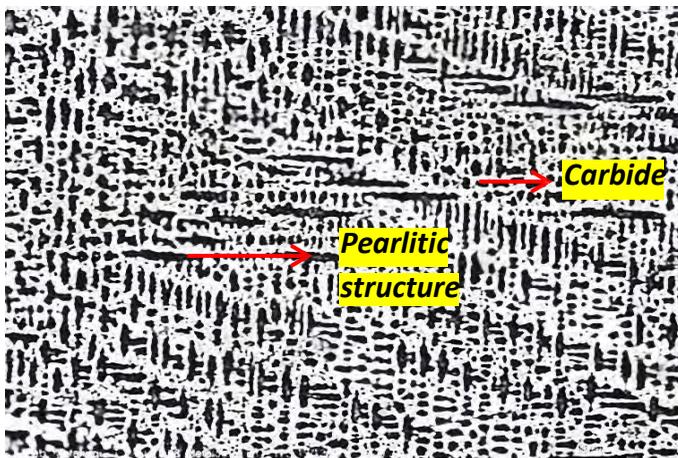
Pengujian mikroskopik dilakukan untuk mengamati fasa, campuran, maupun senyawa apa saja yang terbentuk dibawah pengamatan menggunakan mikroskop optik. Pengujian dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan etsa pada material menggunakan etsa nital dengan komposisi 5 ml  $\text{HNO}_3$  + 95 ml alkohol 70 %. lalu dilakukan pengamatan dengan mikroskop optik pada perbesaran 200 kali dan 500 kali. Berikut adalah hasil dari pengamatan struktur mikro.



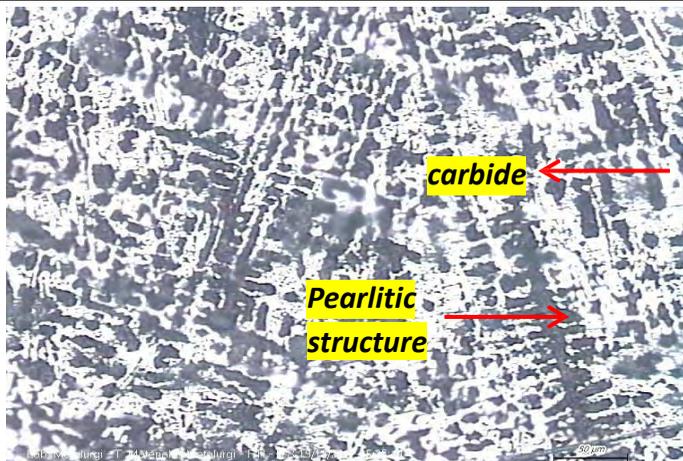
- Perlakuan Panas 650°C dengan *holding time* selama 1 jam



Gambar 4. 4 Weld metal perbesaran 200x



Gambar 4. 5 HAZ 200x

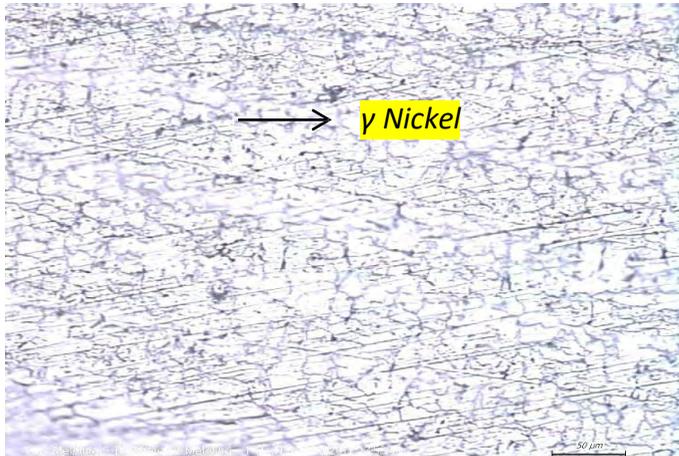


**Gambar 4. 6 Base metal perbesaran 200x**

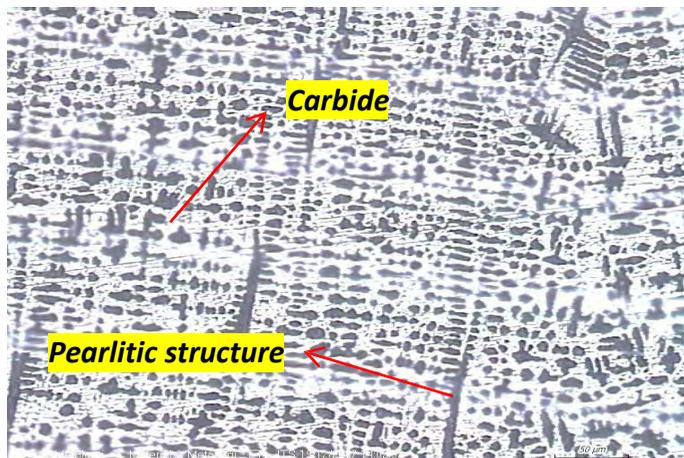
Pada perlakuan panas selama 1 jam, struktur mikro yang dijumpai dalam *weld metal* adalah *solid solution  $\gamma$ -Nickel*. Pada daerah *heat affected zone* ditemukan struktur mikro berupa perlit dan karbida. Pada daerah *base metal*, kembali ditemukan struktur perlit dan karbida.



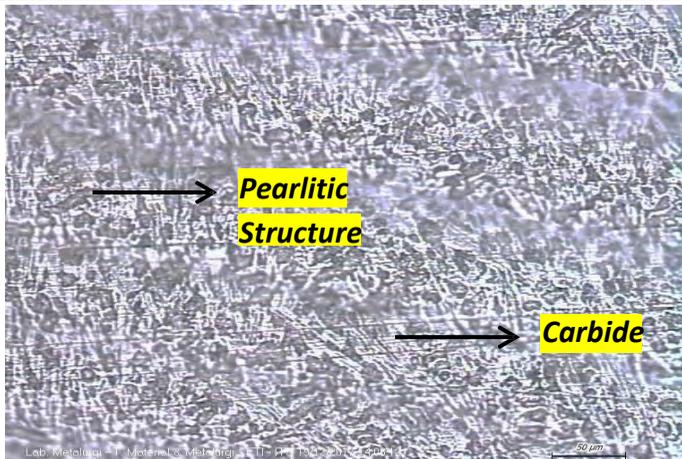
- Perlakuan Panas 650°C dengan *holding time* selama 2 jam



**Gambar 4. 7 Weld metal 200x**



**Gambar 4. 8 HAZ 200x**

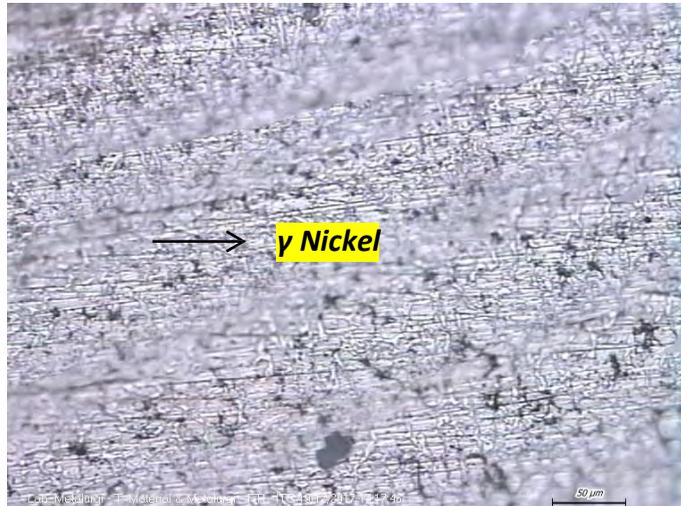


**Gambar 4. 9 Base metal 200x**

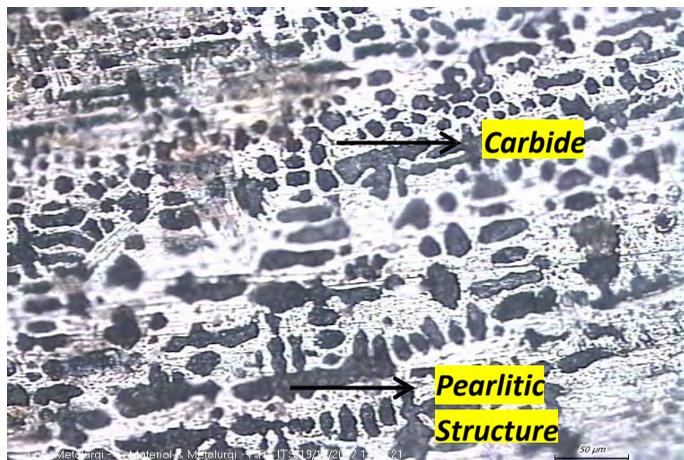
pada perlakuan panas diatas, struktur mikro yang terbentuk adalah larutan padat  $\gamma$ -Nickel pada daerah *weld metal*. Pada daerah HAZ, ditemui struktur mikro berupa perlit dan karbida. Begitu pula pada bagian *base metal* , ditemui pula perlit dan karbida.



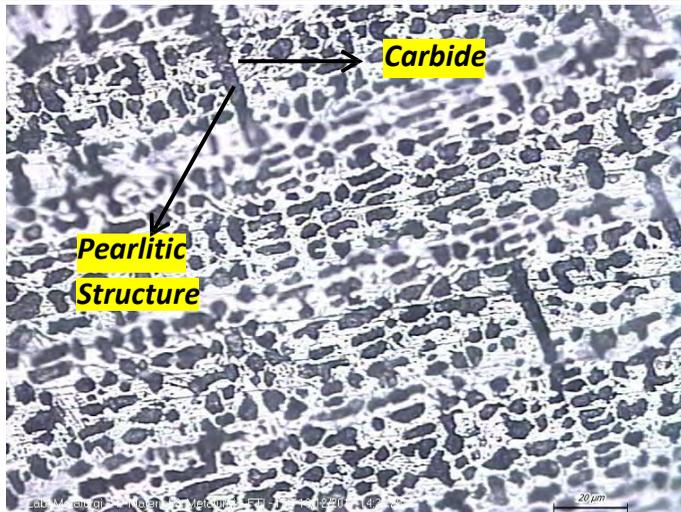
- Perlakuan Panas 650°C dengan *holding time* 3 jam



**Gambar 4. 10 Weld metal 200x**



**Gambar 4. 11 HAZ 200x**

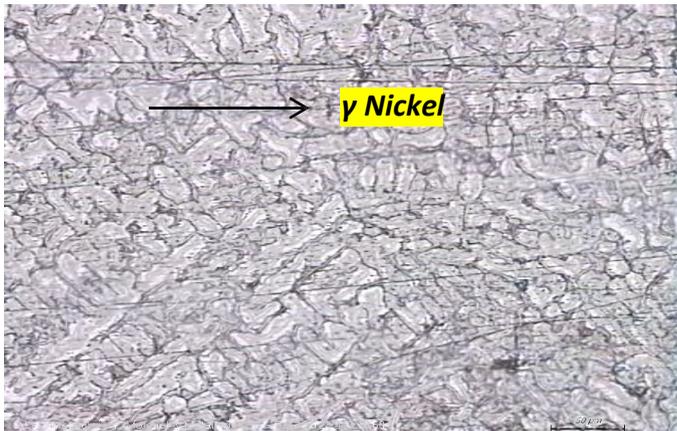


**Gambar 4. 12 Base metal 200x**

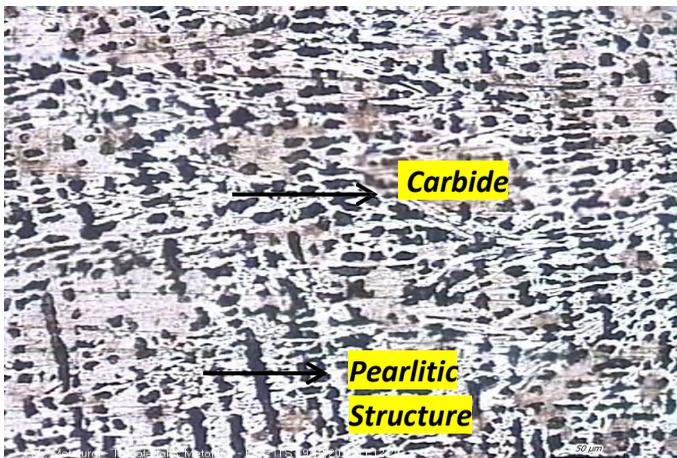
Pada perlakuan panas diatas, struktur mikro yang terbentuk adalah larutan padat  $\gamma$ -Nickel pada daerah *weld metal*. Pada daerah HAZ, ditemui struktur mikro berupa perlit dan karbida. Begitu pula pada bagian *base metal* , ditemui pula perlit dan karbida.



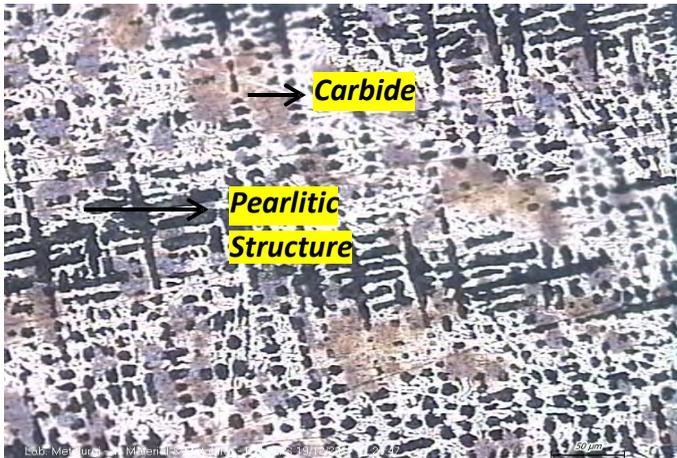
- Perlakuan Panas pada temperatur 750°C dengan *holding time* selama 1 jam



Gambar 4. 13 Weld metal 200x



Gambar 4. 14 HAZ 200x

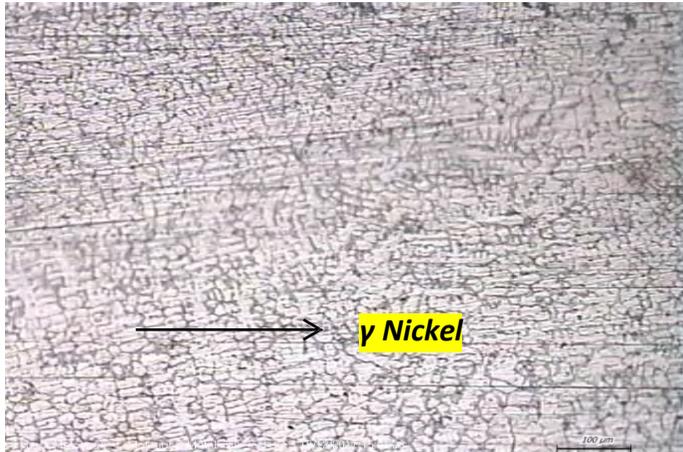


**Gambar 4. 15 Base metal 200x**

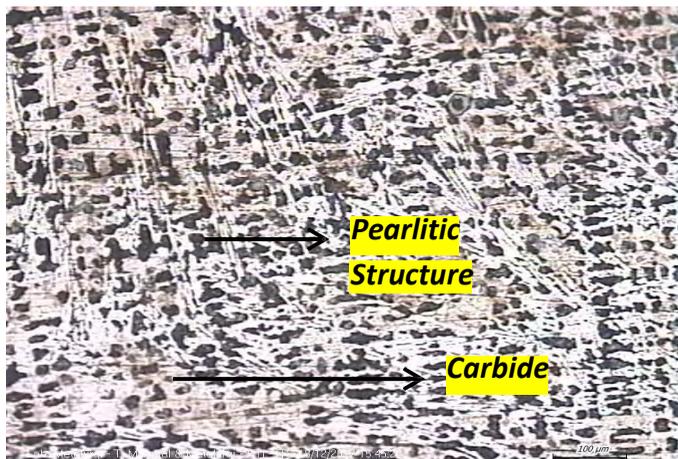
Pada perlakuan panas diatas, struktur mikro yang terlihat dibawah mikroskop optik untuk daerah *weld metal* adalah larutan padat  $\gamma$ -Nickel. Pada daerah HAZ, ditemui struktur berupa perlit dan karbida. Begitu pula pada daerah *base metal*, ditemui pula adanya struktur perlit dan karbida.



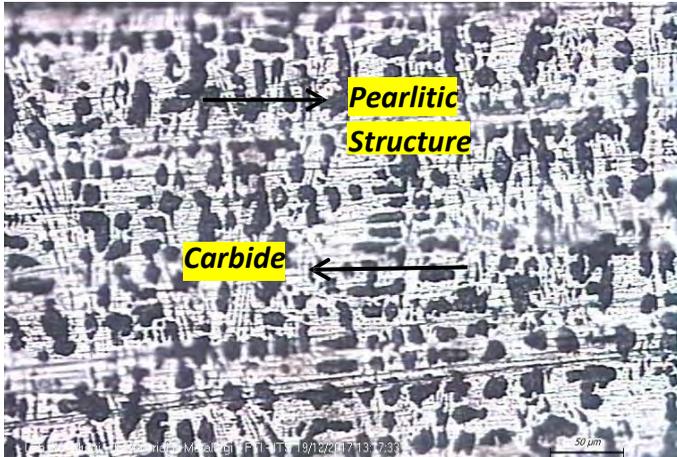
- Perlakuan panas pada  $750^{\circ}\text{C}$  dengan *holding time* selama 2 jam



Gambar 4. 16 Weld metal 200x



Gambar 4. 17 HAZ 200x

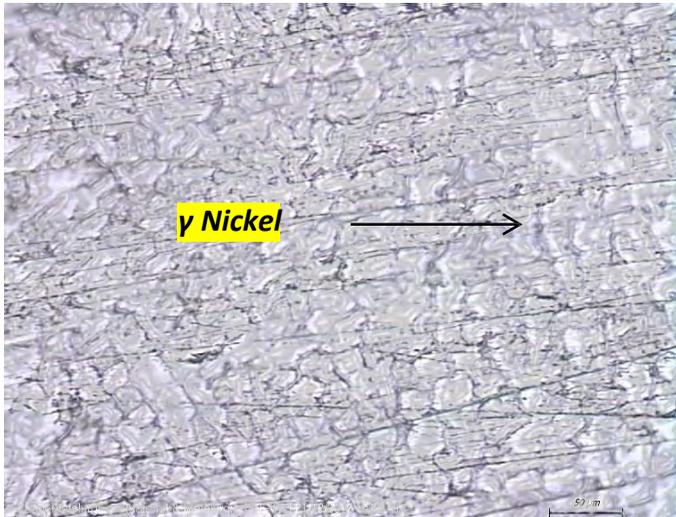


**Gambar 4. 18 Base metal 200x**

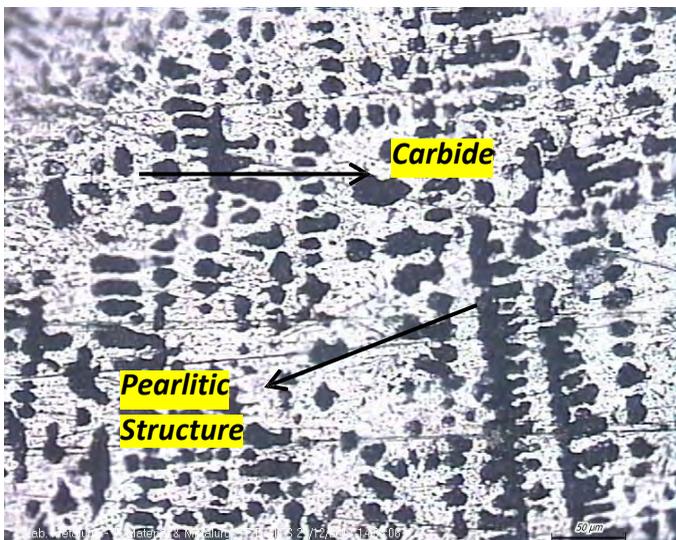
Pada perlakuan panas diatas, material *high chromium white cast iron* menghasilkan struktur berupa larutan padat  $\gamma$ -*Nickel* pada bagian *weld metal* . Pada daerah HAZ, ditemui adanya struktur perlit dan formasi karbida. Kemudian, ditemukan pula adanya struktur perlit dan karbida pada daerah *base metal* .



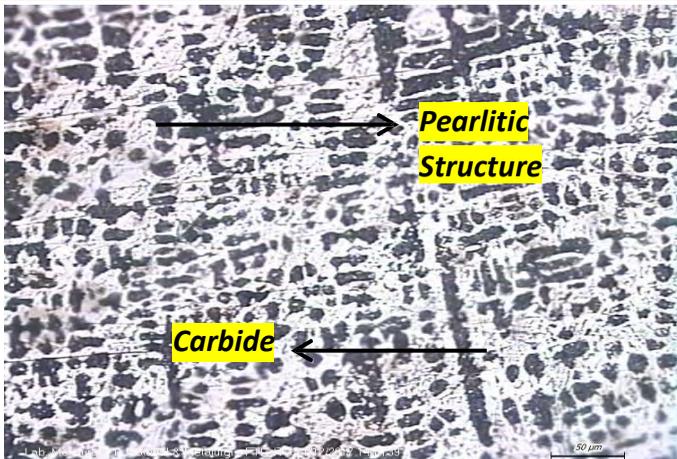
Perlakuan panas pada 750°C dengan *holding time* selama 3 jam.



Gambar 4. 19 Weld metal 200x



Gambar 4. 20 HAZ 200x



**Gambar 4. 21 Base metal 200x**

Pada perlakuan panas diatas, material *high chromium white cast iron* menghasilkan struktur berupa larutan padat  $\gamma$ -*Nickel* pada bagian *weld metal* . Pada daerah HAZ, ditemui adanya struktur perlit dan formasi karbida. Kemudian, ditemukan pula adanya struktur perlit dan i karbida pada daerah *base metal*.



#### 4.1.4 Pengujian Kekerasan

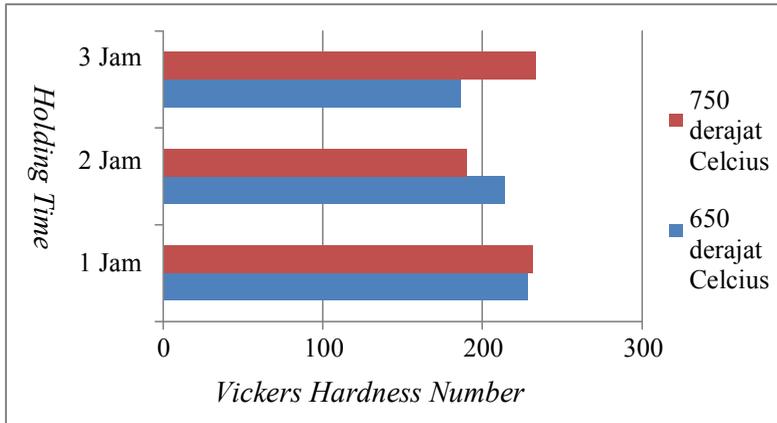
Pengujian kekerasan dilakukan dengan menguji 3 daerah pada hasil las yaitu *weld metal*, HAZ, dan *base metal* dengan rekapitulasi hasil sebagai berikut:

**Tabel 4. 3 Data Hasil Pengujian Kekerasan**

Perlakuan	No	<i>Weld metal</i>	HAZ	<i>Base metal</i>
650-1 Jam	1	242	547	589
	2	239	540	540
	3	236	533	555
	4	196	502	531
	Rata-Rata	228,25	530,5	553,75
650-2 Jam	1	215	573	587
	2	180	565	655
	3	232	565	559
	4	229	567	718
	Rata-Rata	214	567,5	629,75
650-3 Jam	1	183	463	517
	2	188	479	508
	3	190	484	478
	4	183	518	575
	Rata-Rata	186	486	519,5
750-1 Jam	1	239	487	606
	2	232	489	569
	3	205	502	518
	4	251	585	515
	Rata-Rata	231,75	515,75	552
750- 2 Jam	1	180	555	589
	2	201	536	540
	3	192	522	555
	4	188	569	531
	Rata-Rata	190,25	545,5	553,75
750- 3 Jam	1	229	470	430
	2	238	451	447

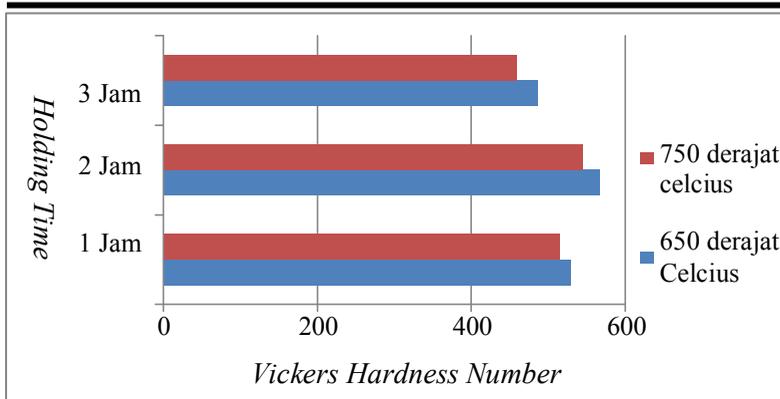


	3	228	447	431
	4	239	469	453
	Rata-Rata	233,5	459,25	440,25



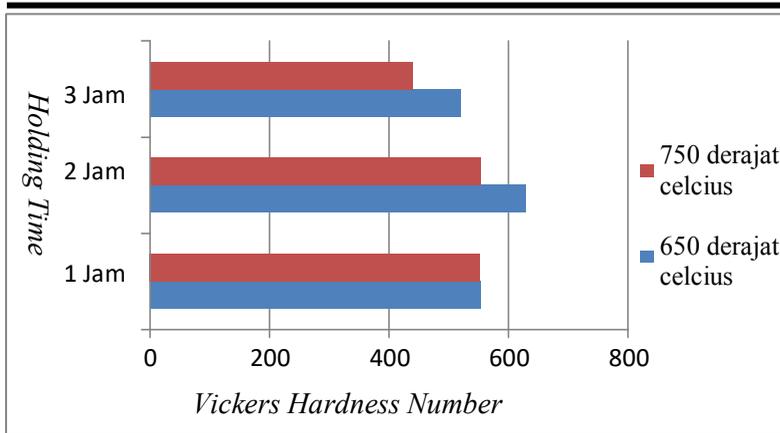
**Gambar 4. 22 Grafik Rata- Rata Nilai Kekerasan pada Daerah *Weld metal***

Pada gambar 4.22, nilai kekerasan *weld metal* mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya waktu tahan pada temperatur 650°C. Pada temperatur 750°C, terdapat penurunan kekerasan dari *weld metal* pada waktu tahan sebesar 2 jam.



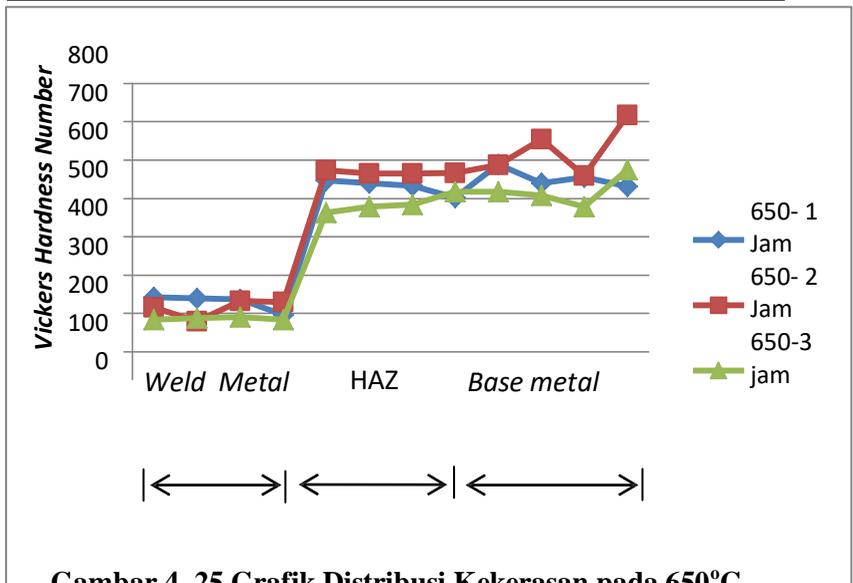
**Gambar 4. 23 Grafik Rata-Rata Nilai Kekerasan pada Daerah *Heat Affected Zone***

Pada gambar 4.23, grafik nilai kekerasan menunjukkan adanya peningkatan kekerasan pada daerah HAZ di waktu tahan sebesar 2 jam. Kekerasan menurun sangat jauh pada daerah *base metal* dengan waktu tahan pemanasan selama 3 jam.



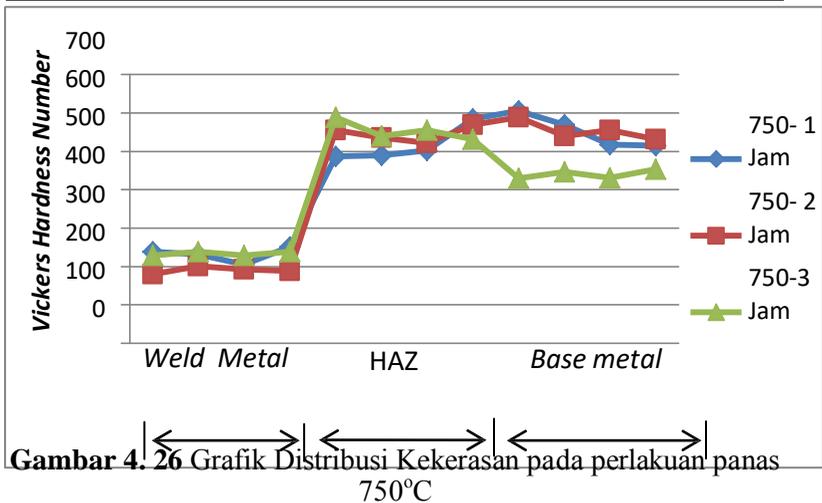
**Gambar 4. 24 Grafik Rata-Rata Nilai Kekerasan pada *Base metal***

Pada grafik 4.24, yaitu daerah *base metal* , juga menunjukkan hal demikian, dimana pada temperatur pemanasan 650°C dengan waktu tahan sebesar 2 jam, didapatkan adanya peningkatan kekerasan. Sedangkan pada temperatur 750°C, kekerasan pada daerah *base metal* meningkat pada waktu tahan 2 jam namun pada intensitas yang sangat kecil, dapat diasumsikan bahwa tidak ada kenaikan kekerasan yang berarti. Penurunan kekerasan terjadi secara signifikan pada temperatur pemanasan 750°C dengan waktu tahan 3 jam.



**Gambar 4. 25 Grafik Distribusi Kekerasan pada 650°C**

Secara distribusi kekerasan, material waktu tahan 3 jam, menunjukkan nilai kekerasan yang rendah dibanding lainnya namun berfluktuasi pada waktu tahan sebesar 2 jam. Pada waktu tahan sebesar 2 jam, terdapat kenaikan kekerasan yang tajam pada bagian *base metal*.



Pada perlakuan panas dengan temperatur penahanan 750°C, distribusi kekerasan yang didapatkan pada *weld metal* cenderung sama. Pada perlakuan panas dengan waktu tahan sebesar 3 jam, kekerasan cenderung menurun saat menjauhi *weld metal*.

#### 4.2 Pembahasan

*Rotary feeder* merupakan salah satu alat yang terlibat dalam proses produksi PT. Holcim Lafarge Indonesia. *Rotary feeder* berfungsi untuk mengatur kecepatan jatuh material semen menuju ke proses pengemasan. Selama bekerja, beberapa bagian dari *rotary feeder* akan mengalami kinerja abrasif dalam intensitas tinggi dari partikel semen dengan ukuran butir 0,6 mm yang mengalir ke dalam *rotary feeder* dan dalam *flow rate* tinggi yaitu 300 ton per jam. Oleh karena itu, perlu mengganti material dari *cellular wheel* dan dinding bagian dalam dengan material yang lebih baik kemampuannya dalam menahan abrasi seperti *High*



*Chromium White Cast Iron*. Produk diatas diperoleh dalam bentuk plat hasil *cladding* antara baja karbon rendah dan *High Chromium White Cast Iron*(Bisalloy, 2007). Pemasangan plat tersebut pada bagian material *inside wall* dan *cellular wheel* dilakukan dengan bantuan las sumbat sedangkan penyabungan antara plat satu dan plat lainnya dilakukan dengan pengelasan *SMAW*. Di lain sisi, beberapa kasus yang sering terjadi selama pengelasan adalah munculnya crack yang lebih besar pada hasil pengelasan atau bahkan pengelasan tidak dapat dilakukan karena kedua material sangat sulit untuk disambung. Seperti yang telah diketahui, material besi tuang memiliki kemampuan las yang buruk. (AWS, 2001). Kehadiran sejumlah karbida besi dan krom membuat material sangat sulit untuk dilas. Hal ini disebabkan karena karbida tidak dapat mencair seluruhnya ketika hendak dicairkan melalui pengelasan.(De-Wei, 2013). Semakin banyak struktur karbida yang terbentuk pada struktur mikro selain meningkatkan kekerasan pada material namun juga berpotensi menimbulkan kegetasan pada material. Selama pengelasan, material akan mengalami peningkatan temperatur dan sebagai efeknya, akan timbul fenomena pemuaiian. Ketika material didinginkan dengan kecepatan yang relatif cepat seperti pada udara normal akan menghasilkan struktur retakan baru setelah pengelasan sebagai akibat *thermal stress*. Adanya retakan akan menurunkan ketangguhan pada material sehingga material akan dapat mengalami patah ketika dikenai beban eksternal pada tingkat tertentu.(Dawes, 1993). Oleh karena itu, pemilihan parameter perlakuan panas yang tepat setelah pengelasan akan meningkatkan kembali ketangguhan dari material.

Proses pengelasan ang dilakukan pada material *High Chromium White Cast Iron* dilakukan dengan menggunakan metode *SMAW*. Salah satu karakteristik dari pengelasan *SMAW* adalah metode ini menghasilkan *heat input* yang kecil. (Khan,



2007). Hal ini akan berakibat baik pada material karena menyebabkan gradien kenaikan temperatur sangat rendah sehingga proses regangan yang disebabkan pemuaian naik dengan lambat. Proses pendinginan yang dihasilkan juga akan bergerak dalam kecepatan yang lebih lambat sehingga meminimalisir pengaruh dari *thermal stress*. Pada proses pengelasan material ini, arus yang diberikan adalah sebesar 100 A dalam tegangan sebesar 12 volt pada kecepatan pengelasan sebesar 100mm/menit. Sebelum dilas, material diberikan *pre-heat* terlebih dahulu. Pemberian *pre-heat* akan menurunkan gradien dari *thermal expansion* sehingga akan mengurangi kemungkinan timbulnya retakan pada hasil pengelasan. (ASM vol.6, 1993).

Setelah pengelasan selesai dilakukan, material kemudian diuji dengan *liquid penetrant test* untuk menemukan cacat las yang mungkin timbul. Dari hasil pengujian yang dilakukan, terlihat ada bercak merah yang sangat besar pada permukaan hasil *hardfacing*. Ini kemudian tidak dapat dikategorikan sebagai cacat, dikarenakan penampakan alami hasil *hardfacing* berupa retakan. Pada bagian sisi hasil las, terdapat indikasi adanya cacat berupa *undercut*. Namun, hal itu telah penulis konfirmasi sebagai *false indication*, dimana hasil pengangkatan dari cairan *developer* meluber menuju sisi hasil pengelasan dikarenakan hasil las mengalami distorsi. Beberapa cacat ada yang timbul pada bagian permukaan yaitu berupa porositas. Namun, jenis cacat yang timbul masih berada pada kriteria penerimaan yang telah ditetapkan menurut AWS D1.1 section 6 tabel 6.1. Dimana, porositas yang diizinkan untuk hasil pengelasan dengan jenis *butt joint* untuk *Complete Joint Penetration* dengan ukuran porositas 1 mm tidak lebih dari 10 mm pada setiap inci hasil pengelasan. Dari hasil yang didapat setelah pengelasan, parameter yang digunakan dapat dikategorikan sesuai. Tidak adanya porositas dan *crack* berarti menunjukkan tidak adanya udara yang masuk selama



proses pengelasan. Peran dari *flux* dalam mengikat oksigen sangat baik. Pemberian *pre-heat* juga menyebabkan tidak adanya *crack* yang muncul setelah proses pengelasan.

Setelah dilakukan pengelasan, selanjutnya material diberikan perlakuan panas pereda tegangan pada temperatur 650°C dan 750°C dengan beberapa variasi waktu tahan. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan ketangguhan pada material seiring dengan penurunan tegangan sisa pada material.

Berdasarkan pengujian kekerasan dan struktur mikro, daerah *weld metal* memiliki kekerasan yang paling rendah dibanding dengan *base metal* dan daerah HAZ. Hal ini dikarenakan kadar nikel yang tinggi hingga mencapai 92% dan adanya unsur lain seperti Ti, Fe, dan karbon. Penambahan titanium sebesar 2 % dalam *filler metal* bertujuan untuk mencegah oksidasi pada Ni. Hasil desposisi dari *weld metal* berupa larutan padat yang dinotasikan sebagai  $\gamma$  *Nickel*. Larutan padat yang mungkin terbentuk adalah Ni-Fe. Penguatan yang terjadi berupa penguatan larutan padat substitusional. Penguatan jenis ini memiliki efek yang lebih rendah dibanding penguatan larutan padat secara interstisi. Hal ini dikarenakan, keberadaan atom Fe yang menggantikan atom Ni hanya menyebabkan ekspansi ataupun kontraksi yang bersifat lokal. Regangan yang dihasilkan hanya bersifat lokal pada salah satu bidang dislokasi. (Bhadesia, 2006).

Pada daerah HAZ dan *base metal*, struktur mikro yang terbentuk adalah perlit dan karbida eutektik. Karbida eutektik terbentuk melalui reaksi eutektik  $L \rightarrow \gamma + (Fe,Cr)_7C_3$ . Setelah melewati garis eutektik maka akan terbentuk dua jenis fasa yaitu austenit dan  $(Fe,Cr)_7C_3$ . Karbida yang terbentuk melalui tahap pembentukan presipitat karbida. Seiring dengan penurunan temperatur, presipitat karbida yang terbentuk semakin banyak dan membentuk semacam jaringan karbida sedangkan jumlah austenit



menurun hingga mencapai temperatur 790°C. Pada rentang temperatur 790-760°C, beberapa bagian dari austenit kemudian akan menjadi ferit. Pada temperatur 760°C, reaksi eutektoid berlangsung dan austenit terdekomposisi menjadi Perlit( $\alpha + (\text{Fe,Cr})_7\text{C}_3$ ) dan *eutectic*  $(\text{Fe,Cr})_7\text{C}_3$ . (Li dkk, 2009). Pada kondisi *as-cast* sisa austenit akan tetap menjadi austenit dikarenakan laju pendinginan pada udara relatif cepat dan pengaruh karbon serta adanya unsur paduan dalam jumlah besar. Kekerasan daerah HAZ dan *base metal* pada daerah HAZ dapat mencapai kekerasan 670 HV sedangkan *base metal* memiliki kekerasan sebesar 610 HV. (Redha, 2017). Namun, pada kondisi pendinginan lambat setelah pemanasan kembali pada temperatur *sub-critical*, struktur austenit akan hilang dan struktur mikro yang baru terdiri atas perlit dan karbida yang terdegradasi. (Karantzalis, 2013).

Pada daerah HAZ dengan pemanasan 650°C, kekerasan yang dicapai oleh material dengan perlakuan panas 2 jam memiliki tingkat kekerasan tertinggi dibanding 2 perlakuan lainnya. Hal ini sangat dimungkinkan melihat struktur dari perlit yang terputus-putus sehingga tidak kontinu. Oleh karena itu, menyebabkan presipitat karbida membentuk network yang kemudian akan menambah kekerasan dari material. Pada perlakuan panas dengan temperatur 650°C selama 1 jam, terlihat bahwa struktur perlit lebih kontinu dibanding karbida. Pada waktu tahan sebesar 3 jam, perlit yang dihasilkan menjadi semakin tebal. Pada temperatur pemanasan hingga 750°C, pemanasan dengan waktu tahan 2 jam menghasilkan kekerasan HAZ yang paling tinggi. Hal ini dikarenakan bentuk jaringan karbida yang dihasilkan oleh struktur eutektik berbentuk pipih dan memanjang. Ini terlihat dari morfologi struktur mikro yang membentuk pola jarum. Bentuk pipih dari karbida mengindikasikan bahwa karbida memiliki struktur *hexagon* dan menandakan karbida eutektik tidak mengalami degradasi selama pemanasan. Struktur karbida



tersebut memiliki kekerasan fasa hingga mencapai 1800 HV. (Kopyciński, 2014). Pada temperatur yang sama dengan waktu tahan selama 1 jam, kekerasan daerah HAZ menurun. Hal ini mungkin terjadi akibat degradasi bentuk karbida setelah pemanasan. Pada waktu tahan 3 jam, kekerasan pada daerah HAZ menurun jauh. Hal ini kemudian penulis konfirmasi melalui pengamatan mikro struktur dimana ukuran perlit yang dihasilkan bertambah tebal dan karbida primer terdegradasi dengan intensitas yang besar.

Pada daerah *base metal*, untuk *holding temperature* sebesar 650°C, kekerasan tertinggi dicapai oleh spesimen dengan *holding time* sebesar 2 jam. Hal ini disebabkan struktur jaringan karbida yang dihasilkan berbentuk *lath* dan memiliki luas area yang besar. Bentuk *lath* kemudian dapat diamati melalui struktur mikro yang memperlihatkan struktur jarum pada bagian *carbide network*. Pada temperatur yang sama untuk spesimen dengan *holding time* sebesar 1 jam, dihasilkan kekerasan yang sedikit lebih rendah. Hal ini dikarenakan matriks perlit semakin menebal dan memutus kontinuitas dari karbida. Pada *holding time* 3 jam, ukuran perlit yang terbentuk menjadi lebih kasar daripada perlakuan dengan waktu tahan selama 1 jam. Hal ini dikarenakan peningkatan waktu tahan akan memberikan kesempatan bagi karbon untuk keluar menuju batas butir dan membentuk karbida. Semakin banyak karbida terbentuk, maka ukuran perlit akan menjadi semakin kasar. Perlit dengan ukuran yang kasar akan menghasilkan kekerasan yang rendah. Pada *holding temperature* sebesar 750°C, hampir tidak ada perubahan kekerasan yang terjadi pada *base metal*. Hal ini kemudian dikonfirmasi dengan penampakan struktur mikro dari kedua perlakuan tersebut menunjukkan bahwa struktur perlit yang dihasilkan tidak memutus kontinuitas dari karbida. Pada waktu tahan 3 jam, penurunan



---

kekerasan yang dialami material sangat besar. Hal ini dapat terjadi dengan semakin menebalnya perlit pada struktur mikro.



---

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Struktur Mikro yang didapat setelah dilakukan perlakuan panas secara umum adalah berupa  $\gamma$  *Nickel* pada daerah *weld metal*. Pada daerah HAZ dan *base metal* struktur mikro yang diamati adalah perlit dan dua karbida yang terbentuk setelah melewati garis eutektik dan eutektoid.
2. Kekerasan pada *weld metal* merupakan yang terendah. Hal ini dikarenakan bentuk penguatan secara larutan padat substitusional. Kekerasan pada bagian HAZ dan *base metal* yang tertinggi dicapai pada waktu tahan 2 jam untuk kedua variasi. Penurunan kekerasan terjadi pada daerah HAZ dan *base metal* dengan waktu tahan 3 jam. Penurunan kekerasan disebabkan oleh beberapa hal yaitu terbentuknya fasa perlit, karbida yang tidak kontinu, dan adanya degradasi karbida dengan semakin lamanya waktu tahan dan pendinginan pada proses *annealing*.

### 5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap parameter *stress relieving heat treatment*

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

## DAFTAR PUSTAKA

- , 1993. *ASM Handbook Volume 6 WELDING, BRAZING, AND SOLDERING*. ASM International.
- , 1996. **ASTM Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications**. USA: ASTM International.
- , 1997. **Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials**. USA: .USA: ASTM International.
- , 1992. **AWS 5.15. Specification for Welding Electrodes and Rods for Cast Iron**. USA: American Welding Society
- , 2008. **AWS D1.1 Structural Welding Code-Steel**. USA: American Welding Society
- Avner, Sidney H. 1974. *Introduction To Physical Metallurgy*. Singapore: McGraw-Hill Book Co.
- Bhadesia, H.K.D.H., Honeycombe, R.W.K. (2006). *Steels: Microstructures and Its Property*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Bisalloy, P. B. *Product Catalog*. Dipetik September 4, 2017. Bimabisalloy.com: [bimabisalloy.com/downlot.php?file=Product\\_Catalog\\_Bimabisalloy.pdf](http://bimabisalloy.com/downlot.php?file=Product_Catalog_Bimabisalloy.pdf)
- Cary, Howard B. and Scott C. Helzer. (2005). *Modern Welding Technology*. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Education. ISBN 0-13-599290-7.
- Fernandez-Pariente, Belzunce, FJ. 2008. *Wear and oxidation behavior of high-chromium white cast irons*. *Journal of Material Characterisation*, 59(6), hal. 669–674.
- Funderburk, R. S. 1998. *Post Weld Heat Treatment*. Dalam R. S. Funderburk, *Welding Innovation*.
- Gacciamini, G., Kreyzer, J.D. (2005). *Critical Evaluation of the Fe-Ni, Fe-Ti, and Fe-Ni-Ti Alloy Systems*. *Intermetallics*, vol. 14(10-11). Open Archive Toulouse Archive Ouverte. ISSN 0966-979

- George, E. Totten. 2006. **Steel Heat Treatment Metallurgy and Technologies**. USA: CRC Press
- Granjon, H.(1991). *Fundamental of Welding Metallurgy*. Cambridge: Woodhead Publishing
- Higgins, R.A.( 1993). *Engineering Metallurgy: Part 1 Applied Physical Metallurgy*.
- Indonesia, K. P. (2017). *Kemenperin: Hingga 2017, Investasi Semen Rp 65,03 Triliun*. Dipetik September 9, 2017, dari Kemenperin.go.id:  
[www.kemenperin.go.id/artikel/5902/Hingga-2017,-Investasi-Semen-Rp-65.03-Triliun](http://www.kemenperin.go.id/artikel/5902/Hingga-2017,-Investasi-Semen-Rp-65.03-Triliun)
- Janssen, M. Leeuwen, MB. Mendes de Leon, MF. (1985). *Fracture toughness of high chromium white cast iron in relation to the primary carbide morphology*. Jurnal Proceeding ke 13 European Conference on Fracture
- Jia, Qiaishua.,Hao, Qingguo.(2014). *High hardness and toughness of white cast iron: The proposal of a novel process*. *Materials Science and Engineering A618* : Elsevier
- Karantzalis, E., Lekatou, A; H, Mavros.(2013). *Microstructure and properties of high chromium cast irons: effect of heat treatments and alloying additions*. *International Journal of Cast Metal Research*.
- Khan, M. I. (2007). *Welding Science and Technology*. New Delhi: New Age International
- Kopyciński, D., Guzik,E., Siekaniac, D.(2014). **Analysis of the High Chromium Cast Iron Microstructure after the Heat Treatment**. *Archives of Foundry Engineering*. 14(3). 43
- Li, Da., Liu, Ligang.,Za,Yunkung.(2009). *Phase diagram calculation of high chromium cast irons and influence of its chemical composition*. *Materials and Design*.
- Mokgado, Nomsa.,Pityana, Sisa.,Popoola, Patricia.,Mathebula, Tebogo. (2014). *NiTi Intermetallic Surface Coatings by*

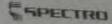
- Laser Metal Deposition for Improving Wear Properties of Ti-6Al-4V*. *Advances in Materials Science and Engineering*. (14)
- Richie, Robert O. (2011). *The conflicts between strength and toughness*. *Progress Article. Nature Materials*.
- Shaik Nagulmeera , M. Anilkumar. (2013). **Design, Modeling and Analysis of Rotary Air-Lock Valve**. India: IJ CER. Vol. 02.
- Sharma, S. D., Saluja, R., & Moeed, K. (2013). *A review on Effect of Preheating and/or Post Weld Heat Treatment (PWHT) on Hardened Steel*. *International Journal of Research in Mechanical Engineering and Technology*.
- Taniguchi, K., & Yamasaki, K. (2013). *Effects of Post Weld Heat Treatment (PWHT) Temperature on Mechanical Properties of Weld metal s for High-Cr. Kobelco Technology Review*, 33.
- Technology, H. I. (2012). *Shield Metal Arc Welding*. Dalam H. I. Technology, *Shield Metal Arc Welding* (hal. 58). Ohio: Hobart Institute of Welding Technology.
2001. *Welding Science and Technology*. Dalam *AWS Welding Handbook*. Miami: American Welding Society.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

# LAMPIRAN

## Hasil Pengujian Komposisi


**PT. LOGAMINDO SARIMULIA**  
 IRON AND STEEL FOUNDRY  
 Telp. (62-31) 8544540 - 43 Fax : (62-31) 8544542  
 E-mail : Likafoundry@gmail.com  
 www.logamindosarimulia.com



Method: Fe-01-F  
 Comment: Orientation  
 Sample Name: SC  
 Quality: Element concentration  
 11/22/2017 1:31:58 PM

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
1	0.182	0.144	0.288	0.0223	0.0161	0.0165	-0.0020	0.0046
2	0.180	0.180	0.203	0.0242	0.0161	0.0158	-0.0020	0.0046
3	0.184	0.147	0.289	0.0273	0.0161	0.0159	-0.0020	0.0049
= x = (3)	0.182	0.180	0.266	0.0246	0.0160	0.0167	-0.0020	0.0047
std	0.0018	0.0088	0.0028	0.0025	0.0011	0.00023	0.0000	0.0007
ref	1.0	5.7	1.0	10.3	9.7	1.5	0.0	1.6

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
1	0.0064	0.0037	0.0057	-0.0040	-0.0010	0.00076	-0.0100	-0.0040
2	0.0042	0.0038	0.0062	-0.0040	-0.0010	0.00066	-0.0100	-0.0040
3	0.0062	0.0035	0.0057	-0.0040	-0.0010	0.00069	-0.0100	-0.0040
= x = (3)	0.0063	0.0037	0.0060	-0.0040	-0.0010	0.00077	-0.0100	-0.0040
std	0.0011	0.00016	0.00026	0.00000	0.00000	0.00009	0.00000	0.00000
ref	20.2	4.3	4.7	0.0	0.0	11.3	0.0	0.0

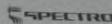
	Ba	Mg	As	Zr	Bi	Ca	Ge	Sb
1	0.0067	0.0024	0.0219	-0.0015	-0.0050	0.0016	-0.0030	0.0042
2	0.0060	0.0027	0.0205	-0.0015	-0.0050	0.0014	-0.0030	0.0048
3	0.0069	0.0028	0.0225	-0.0015	-0.0050	0.0016	-0.0030	0.0053
= x = (3)	0.0068	0.0026	0.0216	-0.0015	-0.0050	0.0016	-0.0030	0.0040
std	0.00045	0.00012	0.00009	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
ref	4.9	4.5	4.6	0.0	0.0	6.5	0.0	16.2

	Te	B	Zn	La	Fe
1	-0.0010	-0.00050	-0.0010	0.0019	99.3
2	-0.0010	-0.00050	-0.0010	0.0014	99.2
3	-0.0010	-0.00050	-0.0010	0.0017	99.2
= x = (3)	-0.0010	-0.00050	-0.0010	0.0017	99.2
std	0.00000	0.00000	0.00000	0.00027	0.00075
ref	0.0	0.0	0.0	18.0	0.0

Tanda tangan


**PT. LOGAMINDO SARIMULIA**  
 IRON AND STEEL FOUNDRY  
 Telp. (62-31) 8544540 - 41 Fax : (62-31) 8544542  
 E-mail : Likafoundry@gmail.com  
 www.logamindosarimulia.com



Method: Fe-30-F  
 Comment: Cr/CrNi Steel  
 Sample Name: Fe +Cr  
 Quality: Element concentration  
 11/22/2017 1:40:29 PM

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
1	2.24	0.206	0.654	-0.00050	-0.00050	12.39	-0.0020	0.0687
2	2.41	0.248	0.643	-0.00050	0.0040	12.78	-0.0020	0.0758
3	2.22	0.239	0.630	0.0011	0.0042	13.00	-0.0020	0.0711
= x = (3)	2.29	0.231	0.642	0.0024	0.0029	12.72	-0.0020	0.0722
std	0.103	0.0222	0.0119	0.0032	0.0021	0.305	0.00000	0.0033
ref	4.5	0.6	1.6	1.6	71.8	2.4	0.0	4.5

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb
1	0.485	0.0081	0.0052	-0.0040	0.0026	0.0230	-0.0100	0.0079
2	0.628	0.0092	0.0064	-0.0040	0.0040	0.0236	-0.0137	0.0052
3	0.522	0.0080	0.0056	-0.0040	0.0057	0.0225	-0.0100	0.0044
= x = (3)	0.548	0.0079	0.0067	-0.0040	0.0031	0.0231	-0.0112	0.0062
std	0.0742	0.0016	0.00061	0.00000	0.00076	0.00009	0.0021	0.0018
ref	13.6	20.4	10.7	0.0	24.3	0.0	18.1	28.4

	Ba	As	Ca	B	Fe	Sb
1	0.0112	-0.0015	0.0045	-0.0240	83.8	-0.0020
2	0.0116	-0.0015	0.0050	-0.0240	83.1	-0.0020
3	0.0080	-0.0015	0.0040	-0.0240	83.2	0.0037
= x = (3)	0.0103	-0.0016	0.0048	-0.0240	83.4	0.0026
std	0.0019	0.00000	0.0011	0.00000	0.395	0.00099
ref	18.9	0.0	22.1	0.0	0.0	36.0

Tanda tangan

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

## UCAPAN TERIMA KASIH

1. Orang tua yaitu Abah Amy dan Mama Ira serta adik yaitu Amy Rizky Aprillia yang tanpa henti memberikan doa dan dukungan selama penulis melakukan pengerjaan Tugas Akhir
2. Bapak Dr. Ir. Agung Purniawan S.T., M.Eng selaku ketua departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
3. Bapak Lukman Noerrochim, S.T., M.Sc., Ph.D dan bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing yang selalu membimbing, membantu dan memberikan kritik serta saran selama pelaksanaan tugas akhir.
4. Bapak Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T, yang selalu bersedia memberikan pencerahan berupa referensi dan ilmu baru dalam menyusun Tugas Akhir.
5. Mas Essa Abubakar Wahid selaku pembimbing dari PT. Holcim Indonesia yang selama ini telah memotivasi penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir. Selalu memberikan canda hangat ketika kami membutuhkan
6. Redha Januar Ramadhan, *partner* dalam mengerjakan Tugas Akhir. Selalu bekerja ekstra dalam menggarap Tugas Akhir.
7. Teman-teman MT 16 yang telah bersedia memberikan waktunya untuk selalu bercengkrama
8. Teman- teman Grader MT 16 yang selalu mencari waktu luang untuk bermain- main dan juga belajar.
9. Segenap tim PSDM SC yang senantiasa menyemangati dalam keseharian berada di jurusan.
10. Praktikan Mata Kuliah Metalurgi I yang senantiasa memberi warna baru dalam mengerjakan Tugas Akhir.
11. Nadya Putri Yahya, MT 18, yang selalu memotivasi setiap saat dalam mengerjakan Tugas Akhir. Selalu mengerti dengan kondisi penulis.

12. Abdulloh Habib, MT 16, yang senantiasa senang berbagi cerita dalam pengerjaan Tugas Akhir.
13. Priagung Surya Binatahara, yang selalu mau memberikan akomodasi gratis.
14. Segenap peserta TA lab ekstraksi yang telah mau meminjamkan gerinda dan kabel roll.

## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Batam pada tanggal 15 Juli 1995. Penulis merupakan pertama dari dua bersaudara dari pasangan Amy Amran dan Dzuhairiah. Riwayat pendidikan penulis adalah TK Al-Masyitah, SD Swasta Harmoni Batam, SMP Negeri 6 Batam, SMA Negeri 1 Batam, dan S1 Departemen Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember sampai sekarang. Selama berkuliah di Institut Teknologi, selain melibatkan diri dalam bidang akademik, penulis juga mengisinya dengan kegiatan non- akademik.

Beberapa jenis pelatihan yang pernah diikuti diantaranya LKMM Pra-TD, LKMM TD, dan Pelatihan Manajerial Organisasi. Riwayat organisasi penulis adalah Wakil Kepala Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HMMT FTI-ITS dan Ketua Kerukunan Pelajar dan Mahasiswa Kepulauan Riau-Surabaya. Penulis juga aktif dalam organisasi berbasis keprofesional dengan menjadi salah satu *Grader* dalam mata kuliah Metalurgi. Beberapa capaian yang penulis pernah rasakan adalah menjadi semifinalis dalam kompetisi Shell Ideas360 2016/2017 yang diadakan oleh Shell Oil and Gas Company Pte Ltd. Selain itu, penulis juga pernah berkecimpung dalam pembuatan proposal Pekan Kreativitas Mahasiswa(PKM) dan beberapa diantaranya berhasil didanai.

