



TUGAS AKHIR – TL141584

**PENGARUH KADAR KROMIUM (Cr) TERHADAP
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA PADUAN
Fe-Cr-Mn MELALUI PROSES PELEBURAN**

Ali Yafi
NRP 2712 100 073

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc
Sutarsis, S.T., M.Sc.

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT – TL141584

**EFFECTS OF CHROMIUM (Cr) CONTENTS ON
HARDNESS AND MICROSTRUCTURE Fe-Cr-Mn STEEL
ALLOY THROUGH MELTING PROCESS**

Ali Yafi
NRP 2712 100 073

ADVISOR
Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc
Sutarsis, S.T., M.Sc.

Department of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

**PENGARUH KADAR KROMIUM (Cr) TERHADAP
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO BAJA PADUAN
Fe-Cr-Mn MELALUI PROSES PELEBURAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ALI YAFI

NRP 2712100073

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc.....(Pembimbing 1)

2. Sutarsis, S.T, M.Sc.....(Pembimbing 2)



Pengaruh Kadar Kromium (Cr) Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Paduan Fe-Cr-Mn Melalui Proses Peleburan

Nama : Ali Yafi
NRP : 2712100073
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing : Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc
Sutarsis, S.T., M.Sc.

Abstrak

Baja Paduan Fe-Cr-Mn merupakan salah satu tipe austenitic stainless steel. Paduan ini menghasilkan kekuatan dan kekerasan lebih tinggi daripada baja karbon rendah. Kromium adalah salah satu unsur yang mampu meningkatkan kekerasan baja karbon. Namun, kelarutan Cr dalam fasa Austenit terbatas. Proses pemaduan yang dilakukan pada penelitian ini adalah proses peleburan. Proses yang dilakukan adalah meleburkan raw material menggunakan Electric Arc Furnace pada Temperatur 1800°C selama 2 menit. Pada penelitian ini dilakukan variasi kadar Kromium yaitu pada kadar 14, 16, 18, dan 20% Cr pada Baja paduan Fe-Cr-Mn untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kekerasan dan strukturmikro paduan. Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi kimia menggunakan OES, Uji fasa menggunakan XRD, Uji Struktur Mikro, dan uji kekerasan menggunakan metode Brinell. Struktur Mikro hasil coran menunjukkan fasa Austenit dan Ferrit pada Baja paduan Fe-20Cr-Mn dan terbentuknya Karbida karena kadar Karbon dalam paduan lebih dari 0.2%. Kekerasan pada Baja Paduan Fe-Cr-Mn juga meningkat seiring bertambahnya kadar Kromium, hal ini terjadi akibat solid solution strengthening.

Kata kunci : Fe-Cr-Mn Kromium, Struktur Mikro, Kekerasan

Effects of Chromium (Cr) Contents On Hardness and Microstructure Fe-Cr-Mn Steel Alloy Through Melting Process

Name : Ali Yafi
NRP : 2712100073
Department : Materials And Metallurgical Engineering
Advisor : Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc
Sutarsis, S.T., M.Sc.

Abstract

Fe-Cr-Mn Steel alloys is a type of austenitic stainless steel. Mechanical properties of this alloy higher than low carbon steel. Chromium is one of the elements that improved the hardness of carbon steel. However, the solubility of Cr in the Austenite phase is limited. The alloying process in this research was done through melting process. Electric Arc Furnace was used for melting process at Temperature 1800°C for 2 minutes. In this research, content of Chromium that entered to alloy are 14, 16, 18, and 20% to know effect on hardness and microstructure. In this research The cast alloys were characterized by OES, XRD, hardness test using Brinell method, and metallographic test. The results showed that microstructure of alloy are Austenite and Ferrite in the Fe-20Cr-Mn and the formation of carbide. Hardness of Fe-Cr-Mn steel alloy also increases with increasing chromium content, this occurs due to solid solution strengthening.

Keywords : Fe-Cr-Mn, Chromium, Microstructure, Hardness

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah mencurahkan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh rangkaian penyusunan laporan Tugas Akhir dengan judul

“Pengaruh Kadar Kromium (Cr) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Paduan Fe-Cr-Mn Melalui Proses Peleburan”.

Terimakasih kepada semua pihak yang berperan pada penulisan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, yang senantiasa menjadi tempat mencurahkan keluh kesah serta senantiasa menjadi “tempat berteduh” penulis.
2. Buk Budi Rahayu dan Pak Ali Muntasir, Mbak Shofi, Mas Shofyan, Mbak Fifi, Mas Johan, Alif, Bagas, Fadly, Reyhan serta keluarga besar Mbah Juma’i dan Mbah Syamsi yang selalu mendoakan dan memberikan dorongan moral.
3. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, S.T., M.Sc. dan Sutarsis, S.T, M.Sc. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan bimbingan dan motivasi kepada penulis
4. Mbak Is, Pak Toto, Pak Anto, Pak Tari, Mas Ridho, Pak Moko, Pak Marsono serta seluruh karyawan JTMM yang selalu memberikan semangat serta pengetahuan teknis.
5. Imam Syafi’udin, Huffal Azhar, Hafidh Frian, Marvin Suganda, Rico Adrianto, Garuda Raka, Mas Fahri, Mas Made dan seluruh rekan Laboratorium Inovasi Material yang selalu menjadi “penghangat” dalam pelaksanaan Tugas Akhir.

6. Rizqi, Maceng, Baim, Azmi serta seluruh MT14 yang selalu menghadirkan canda dan tawa mulai zaman maba hingga saat ini
7. Risky, M. Rizki, Adit, Kurnia, Yeyen, Wimba, Ramandha, Esqy yang selalu menemani penulis dalam gubuk kecil “JKT 74”.
8. Ucup, Piki, Remos, Asep, Diksi, Titah, Tata, Donny, Soni, Ocin, Toni, Dayat, Wet, Yoga, Ozha selaku PI HMMT 2014-2015 yang menjadikan tahun ketiga penulis menjadi lebih berwarna
9. Idham, Ipul, Pepi, Yoga, Ipal dan seluruh Keluarga “GL Palma” yang selalu mengajarkan arti kebersamaan dan memberikan motivasi kepada penulis
10. BSO MB “Train Hard or Go Home” dan BSO MB “Glory For Matrice” yang selalu mengajarkan keikhlasan dan keseraban kepada penulis.
11. Seluruh keluarga besar HMMT, Mas, Mbak, dan kawan-kawan “MATRICE” yang memberikan banyak pembelajaran selama di kampus
12. Mas Paiman MT12 yang telah banyak membantu penulis
13. Seluruh pihak yang telah memberikan kontribusi atas penulisan Tugas Akhir ini

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan, dibalik itu terdapat niat tulus untuk berbagi pengetahuan bagi sesama. Penulis berharap bahwa laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan pembaca.

Surabaya, Januari 2016
Penulis,

Ali Yafi

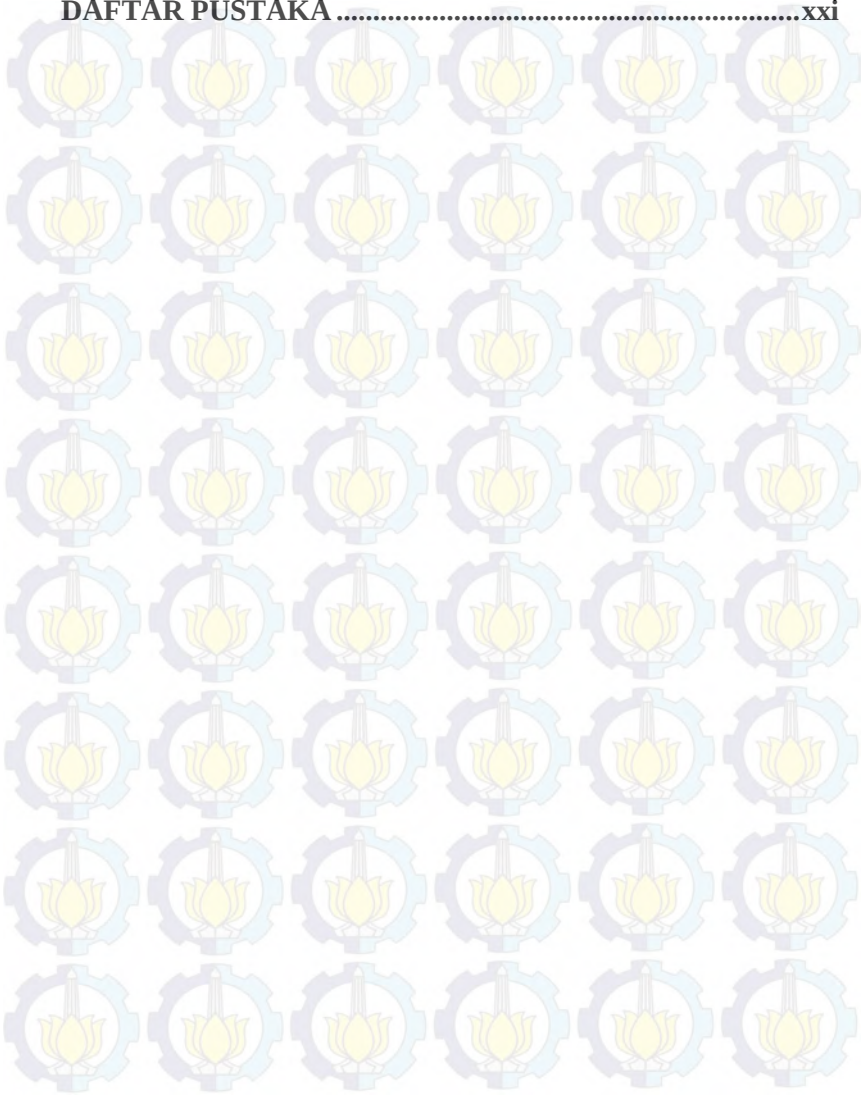
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Besi.....	5
2.2 Kromium	6
2.3 Mangan.....	8
2.4 Nikel	10
2.5 Baja (steel).....	11
2.6 Pengaruh Unsur Paduan (alloying effect).....	14
2.7 Paduan Baja Tahan Karat Fe-Cr-Mn.....	17
2.8 Proses Peleburan.....	23

2.9 Solidifikasi Logam	27
2.10 Kajian Penelitian Sebelumnya.....	30
2.10.1 Kajian Struktur Mikro Paduan Fe-Cr-Mn	30
2.10.2 Kajian pola XRD Paduan Fe-Cr-Mn	32
2.10.3 Kajian Kekerasan Paduan Fe-Cr-Mn.....	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	35
3.2 Bahan.....	36
3.3 Alat.....	36
3.4 Prosedur Percobaan	38
3.5 Proses Pengujian.....	39
3.5.1 Pengujian Komposisi Kimia.....	39
3.5.2 Pengujian Struktur Mikro	40
3.5.3 Pengujian Kekerasan	41
3.5.4 Pengujian Fasa.....	42
3.6 Rancangan Penelitian	43
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengamatan Makro Paduan Fe-Cr-Mn.....	45
4.2 Komposisi Kimia Paduan Fe-Cr-Mn.....	46
4.3 Pengamatan Struktur Mikro Paduan Fe-Cr-Mn	47
4.4 Pengamatan Pola XRD Paduan Fe-Cr-Mn	55
4.4 Pengujian Kekerasan Paduan Fe-Cr-Mn	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	61

5.2 Saran.....61

DAFTAR PUSTAKA.....xxi



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Fasa Fe-Cr	7
Gambar 2.2 Diagram Fasa Fe-Mn	9
Gambar 2.3 Diagram Fasa Fe-Ni	11
Gambar 2.4 Diagram Fasa Fe-Fe ₃ C.....	12
Gambar 2.5 Efek Penambahan Unsur Paduan pada Kekerasan besi α	16
Gambar 2.6 Efek penambahan 0.1% Karbon pada kekerasan paduan Fe-Cr dan Fe-Mn	17
Gambar 2.7 Diagram fasa ternery Fe-Cr-Mn pada 650°C.....	19
Gambar 2.8 Diagram Fasa Stainless Steel 18%Cr-8%Ni dengan keberadaan Karbida	20
Gambar 2.9 Diagram Schaffler	23
Gambar 2.10 Cupola yang digunakan untuk melebur Besi Cor ..	24
Gambar 2.11 Tiga tipe Crucible Furnace (a) lift-out crucible (b) Stationary pot dan (c)tilting-pot furnace.....	25
Gambar 2.12 Induction Furnace	26
Gambar 2.13 Electric Arc Furnace	27
Gambar 2.14 a) Kurva pendinginan logam murni saat pengecoran b)Karakteristik struktur pengecoran logam murni ..	28
Gambar 2.15 a) diagram fasa paduan Ni-Cu dan (b) kurva pendinginan 50%Ni-50% Cu saat pengecoran	29
Gambar 2.16 Karakteristik struktur pada pengecoran paduan, terlihat segregasi pada tengah coran (Groover, 2007)	29

Gambar 2.17 Struktur Mikro Base Metal AISI 202	30
Gambar 2.18 Struktur Mikro Paduan Fe-Cr-Mn dengan 9% Ni	31
Gambar 2.19 Struktur Mikro Paduan Fe-Cr-Mn	31
Gambar 2.20 Pola XRD baja AISI 201 Nb	32
Gambar 2.21 Pola XRD paduan Fe-Cr-Ni-Mn-C	33
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	35
Gambar 3.2 Dimensi Tampak Depan Electric Arc Furnace	37
Gambar 3.3 Prinsip pengujian OES	40
Gambar 3.4 Alur sinar pada pengamatan metalografi	41
Gambar 3.5 Pengujian Brinell Hardness. a) ketika spesimen diberi pembebanan b) ketika beban dilepas	42
Gambar 3.6 Prinsip kerja XRD	43
Gambar 4.1 Paduan Fe-Cr-Mn (a) 14 (b) 16 (c) 18 (d) 20% Cr	45
Gambar 4.2 Struktur Mikro Paduan Fe-14Cr-Mn dengan perbesaran (a) 500x (b) 1000x	48
Gambar 4.3 Struktur Mikro Paduan Fe-16Cr-Mn dengan perbesaran (a) 500x (b) 1000x	50
Gambar 4.4 Struktur Mikro Paduan Fe-18Cr-Mn dengan perbesaran (a) 500x (b) 1000x	49
Gambar 4.5 Struktur Mikro Paduan Fe-20Cr-Mn dengan perbesaran (a) 500x (b) 1000x	51
Gambar 4.6 Pola XRD Paduan Fe-Cr-Mn	55
Gambar 4.7 Pengaruh komposisi Kromium terhadap nilai Kekerasan Paduan Fe-Cr-Mn	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat fisik dan sifat mekanik besi	5
Tabel 2. 2 Sifat Fisik dan Sifat mekanik Kromium.....	7
Tabel 2. 3 Sifat Fisik dan Sifat Mekanik mangan	8
Tabel 2. 4 Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Nikel	10
Tabel 2. 5 Komposisi Kimia dan sifat mekanik AISI 1006	13
Tabel 2. 6 Komposisi kimia AISI 201.....	19
Tabel 2. 7 Sifat mekanik AISI 201.....	20
Tabel 2. 8 Kekerasan Paduan Fe-Mn-Ni-Cr.....	33
Tabel 3.1 Komposisi <i>raw material input</i>	39
Tabel 3.2 Rancangan penelitian	43
Tabel 4.1 Komposisi Perhitungan Bahan Lebur (%).....	46
Tabel 4.2 Komposisi Fe-Cr-Mn hasil Pengujian OES (%)	46
Tabel 4.3 Nilai Kekerasan Paduan Fe-Cr-Mn	58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sifat-sifat khas bahan industri perlu dikenal secara baik karena bahan tersebut dipergunakan untuk berbagai macam keperluan dalam berbagai keadaan. Sifat-sifat suatu bahan sangat banyak, seperti sifat mekanik, sifat fisik, sifat kimia, dan masih banyak lainnya. Kebanyakan sifat-sifat tersebut ditentukan oleh unsur dan komposisinya (Surdia, 1999).

Bahan logam dapat dikelompokkan dalam dua kelompok yaitu logam besi (ferrous) dan logam bukan besi (non ferrous). Logam ferrous yaitu suatu logam paduan yang terdiri bahan dasar besi (Fe) dengan karbon (C). Sedangkan logam non ferrous adalah suatu logam paduan yang tidak menggunakan besi (Fe) sebagai bahan utama, seperti Aluminium (Al), Tembaga (Cu), Perak (Ag), Seng (Zn), Nickel (Ni) dsb. Produksi logam ferrous lebih besar daripada tipe logam yang lain. Penggunaannya sangat penting pada material konstruksi dan juga relatif ekonomis cara pembuatannya (Callister, 2009).

Baja adalah paduan besi-karbon yang mengandung unsur paduan yang lain dengan konsentrasi Fe yang cukup besar. Berdasarkan kadar karbonnya baja diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu baja karbon rendah, menengah, dan tinggi. Semakin banyak kadar karbonnya maka sifat baja akan semakin kuat dan keras namun keuletan menurun. (Callister, 2009). Unsur paduan sangat mempengaruhi sifat dari suatu baja (Avner, 1974).

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kadar karbon kurang dari 0.25% C. Baja ini memiliki kekuatan tarik 365 MPa dan kekerasan 95 HB (Cardarelli, 2008). Dengan sifat mekanik yang relatif rendah, perlu adanya unsur paduan untuk



meningkatkan sifat mekanik baja karbon rendah. Salah satu unsur yang bisa dijadikan pilihan dalam paduan baja karbon rendah adalah kromium. Kromium adalah salah satu unsur yang mampu meningkatkan kekerasan baja karbon (Bain, 1966). Selain mampu meningkatkan kekerasan baja, kromium juga dapat meningkatkan ketahanan korosi. Baja Paduan Fe-Cr-Mn adalah paduan yang memiliki kekuatan dan kekerasan lebih tinggi daripada baja karbon rendah. Presentase Kromium sebesar 16-18% pada baja AISI 201 mampu menghasilkan kekuatan tarik sebesar 655 MPa dan kekerasan sebesar 241 HB. Baja Paduan Fe-Cr-Mn merupakan salah satu tipe *stainless steel* (ASTM International, 2004).

Stainless steel adalah paduan berbasis besi dengan kadar kromium tidak kurang dari 10.5% Cr. Ada beberapa tipe *stainless steel*, seperti *austenitic stainless steel*, *ferritic stainless steel*, *martensitic stainless steel* dll. Baja Paduan Fe-Cr-Mn adalah salah satu paduan *stainless steel* yang termasuk dalam seri *austenitic stainless steel*. Paduan ini dikatakan *austenitic stainless steel* karena memiliki fasa austenit pada temperatur kamar. Keberadaan unsur mangan menjadi faktor utama penstabil austenit. Kelebihan seri *austenitic stainless steel* yaitu memiliki kekuatan yang tinggi pada temperatur yang tinggi (ASM International, 2005). Proses pembuatan *stainless steel* adalah dengan pengecoran.

Dengan melihat kemampuan Kromium untuk meningkatkan kekerasan baja karbon, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh unsur paduan Cr terhadap struktur mikro dan sifat mekanik pada Baja paduan Fe-Cr-Mn.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh kadar Kromium (Cr) terhadap kekerasan Baja paduan Fe-Cr-Mn?

BAB I PENDAHULUAN



2. Bagaimana pengaruh kadar Kromium (Cr) terhadap struktur mikro Baja paduan Fe-Cr-Mn?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Proses pemaduan dianggap homogen.
2. Pengaruh unsur selain C, Cr, Ni dan Mn terhadap sifat kekerasan Baja paduan Fe-Cr-Mn diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisa pengaruh kadar Kromium (Cr) terhadap kekerasan baja paduan Fe-Cr-Mn
2. Menganalisa pengaruh kadar Kromium (Cr) terhadap struktur mikro baja paduan Fe-Cr-Mn

1.5 Manfaat penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui pengaruh kadar Kromium (Cr) terhadap kekerasan dan struktur mikro baja paduan Fe-Cr-Mn sehingga dapat digunakan dalam pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Besi

Besi memiliki simbol Fe, dengan nomer atom 26. Di alam, besi tidak diperoleh langsung dalam keadaan murni, melainkan berbentuk mineral. Mineral besi bisa berbentuk oksida seperti hematit (Fe_2O_3), magnetit (Fe_3O_4) dll. Lalu berbentuk karbonat seperti siderit (FeCO_3), dan sulfida seperti pirit (FeS_2). Bijih besi dihancurkan dan dipisahkan dari material pengotor seperti silika dengan proses benefisi. Lalu dilakukan proses *peletizing* (Cardarelli, 2008). Tabel 2.1 menunjukkan sifat fisik dan sifat mekanik besi.

Tabel 2.1 Sifat fisik dan sifat mekanik besi (Cardarelli, 2008)

Struktur Kristal	BCC
Densitas (g/cm ³)	7.87
Massa Atom	55.85
Nomor Atom	26
Titik Lebur	1538 °C
Brinell Hardness	50-90 HB
Yield strength proof 0.2%	131 MPa
Ultimate tensile strength	689 MPa

Besi dikenal sebagai salah satu logam yang memiliki sifat allotropi. Besi memiliki tiga macam modifikasi allotropik. Besi murni cair yang didinginkan, akan mulai membeku pada 1535°C menjadi delta dengan struktur kristal bcc. Pada 1400°C akan mengalami transformasi allotropik menjadi besi gamma dengan struktur kristal fcc. Besi gamma ini tetap stabil sampai temperatur 910°C, dimana terjadi transformasi allotropik menjadi besi alpha non magnetik dengan struktur kristal bcc. Pada pendinginan selanjutnya sudah tidak lagi terjadi perubahan fase. Pada 768°C

BAB II

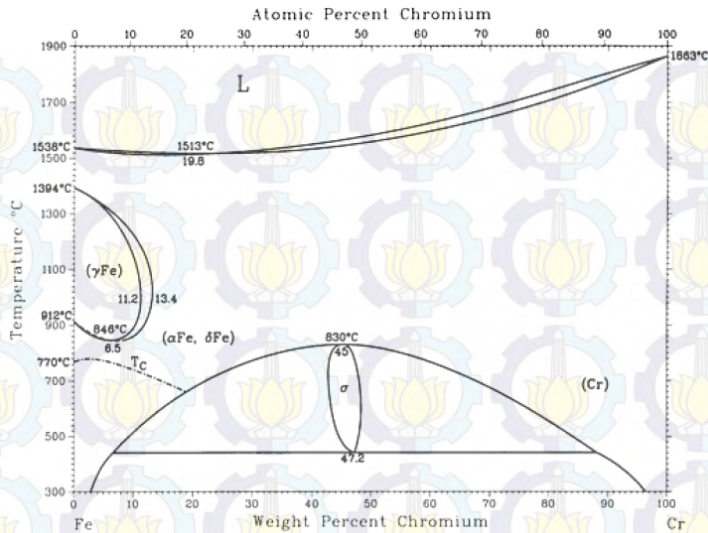


terjadi perubahan dari alpha non magnetic menjadi alpha magnetik, tetapi tidak terjadi perubahan struktur Kristal, tidak terjadi perubahan (Avner, 1974).

2.2 Kromium

Kromium ditemukan sekitar 200 tahun yang lalu di pertambangan Berosof, Pegunungan Ural. Pada awalnya ditemukan dalam bentuk batuan hitam yang dinamakan chromite (FeCr_2O_4). Pada awal abad 18, chromite diproduksi untuk kebutuhan yang berhubungan dengan kimia dan industri cat. Penggunaan kromium pada baja pertama kali dilakukan pada 1865 saat perkembangan *aluminothermic electric arc furnace* dapat meleburkan *chromite*, penggunaan pertamanya pada *stainless steel*. Pada tahun 1920-an *electroplating* mulai berkembang, dimana *electroplating* mengikat atom Cr dengan atom dari unsur yang ada dipermukaan yang membuat ikatan menjadi kuat (Guertin, 2005)

Logam kromium berwarna mengkilap dan keabu-abuan. Logam ini bersifat keras dan getas, memiliki titik lebur 1857°C dan titik uap 2672°C . Tabel 2.2 menunjukkan sifat fisik dan mekanik kromium dan pada Gambar 2.1 menunjukkan Diagram fasa Fe-Cr. Cr diproduksi dalam dua bentuk: *ferrochrome* dan logam Cr dari reduksi Cr_2O_3 . *Ferrochrome* diproduksi dengan reduksi FeCr_2O_4 menggunakan kokas dengan *electric arc furnace* (Guertin, 2005). Cr menjadi unsur yang sangat penting dalam industri logam. Penggunaanya cukup luas yaitu pada industri ferrous (besi coran dan *stainless steel*) dan logam paduan untuk fabrikasi nonferrous (aluminium, tembaga, dan nikel), industri kimia (pelapisan, kontrol korosi, dan pigmen). Kromium digunakan untuk meningkatkan ketahanan aus dan ketahanan korosi pada paduan (Cardarelli, 2008).



Gambar 2. 1 Diagram fasa Fe-Cr (Kubaschewski, 1982)

Tabel 2.2 Sifat Fisik dan Sifat mekanik Kromium (kondisi Anil)
(Cardarelli, 2008).

Struktur Kristal	BCC
Densitas (g/cm ³)	7.19
Massa Atom	52
Nomor Atom	24
Titik Lebur	1875 °C
Brinell Hardness	125 HB
Yield strength proof 0.2%	362 MPa
Ultimate tensile strength	415 MPa
Elongation	44%



2.3 Mangan

Mangan adalah unsur dengan simbol, Mn. Nama mangan berasal dari Bahasa latin, *magnes*, yang memperlihatkan sifat magnetik dari pyrolusit. Berwarna keabu-abuan dan bersifat getas. Sifatnya hampir sama dengan besi namun mangan lebih ringan dan lebih keras. Mangan memiliki empat bentuk alotropi, yaitu Alpha mangan, beta mangan, gamma mangan, dan delta mangan. Logam ini akan menguap pada temperatur 2061°C (Cardarelli, 2008). Tabel 2.3 menunjukkan sifat fisik dan sifat mekanik mangan.

Tabel 2.3 Sifat Fisik dan Sifat Mekanik mangan (kondisi Anil)
(Cardarelli, 2008)

Struktur Kristal	Cubic
Densitas (g/cm ³)	7.21 g·cm ⁻³
Massa Atom	54.938045
Nomor Atom	25
Titik Lebur	1246 °C
Brinell Hardness	329-411 HB
Yield strength proof 0.2%	241 MPa
Ultimate tensile strength	496 MPa
Elongation	40%

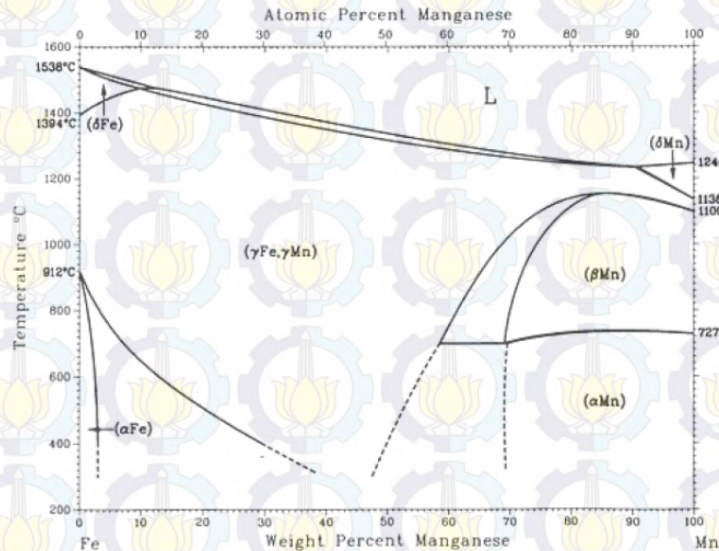
Di alam, mangan ditemukan dalam bentuk mineral, seperti alabandit (MnS), pirolusit (MnO₂), haussmanit (Mn₃O₄), Jacobsit (MnFe₂O₄) dll. Proses pemurnian mangan ada dua macam, yaitu *electrowinning* dan *electrothermal*. Mangan biasanya diproduksi dalam bentuk ferromangan dan silikomangan. Ferromangan (Fe-Mn-C) mengandung lebih dari 76% Mn dan 7.5% C untuk karbon tinggi, 1-1.5% C untuk karbon menengah, dan kurang dari 1% untuk karbon rendah. Sedangkan silikomangan (Si-Mn-C) mengandung 65-85% Mn, 14-16% Si, dan 2% C (Cardarelli, 2008).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Pada temperatur kamar, mangan murni tidak bereaksi oleh oksigen, nitrogen, atau hydrogen. Namun, pada temperatur tinggi mangan sangat bereaksi dengan oksigen, sulfur, dan fosfor. Oleh karena itu, mangan digunakan pada industri pembuatan besi dan baja sebagai agen reduksi, desulfurisasi, dan defosforisasi. Mangan larut dengan cepat pada kondisi asam (Cardarelli, 2008). Gambar 2.2 menunjukkan diagram fasa Fe-Mn.

Perusahaan baja melaporkan bahwa penggunaan mangan sekitar 90%. Baja karbon dengan 70% konsumsi mangan. 30% penggunaan mangan untuk agen desulfurisasi dan deoksidasi, dan 70% digunakan dalam bentuk murni sebagai unsur paduan. Mangan adalah unsur penstabil austenit dengan dikombinasikan dengan nitrogen, sebagai pengganti nikel yang harganya lebih mahal. Mangan juga menaikkan hardenability. Selain untuk industry baja, mangan juga digunakan di baterai, industry kimia, dan unsur paduan (Cardarelli, 2008).



Gambar 2. 2 Diagram Fasa Fe-Mn (Kubaschewski, 1982)



2.4 Nikel

Nikel adalah unsur dengan nomor atom 28 dan disimbolkan dengan Ni. Nikel murni bersifat tangguh dan berwarna putih kesilveran yang memiliki konduktivitas listrik dan panas yang tinggi. Titik lebur logam ini mencapai 1455°C. Struktur kristalnya fcc membuat metal ini memiliki keuletan yang baik dan fabrikasi nikel menggunakan pengerjaan panas dan dingin. Layaknya besi dan kobalt, nikel bersifat *ferromagnetic*. Nikel murni bersifat tahan korosi pada temperatur ruangan (Cardarelli, 2008). Tabel 2.4 menunjukkan sifat fisik nikel.

Tabel 2.4 Sifat Fisik dan sifat mekanik Nikel (Ni) (Cardarelli, 2008).

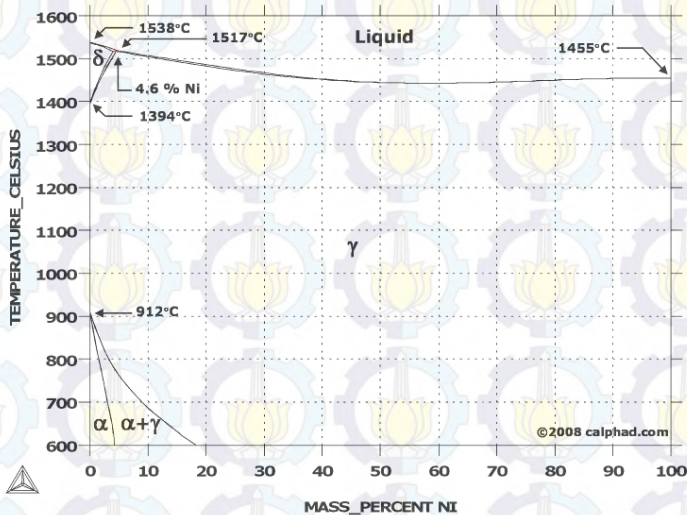
Struktur Kristal	FCC
Massa Jenis (g/cm ³)	8.90
Massa Atom	28
Nomor Atom	58.69
Titik Lebur	1455 °C
Brinell Hardness	85-109 HB
Yield strength proof 0.2%	148 MPa
Ultimate tensile strength	462 MPa
Elongation	48%

Di alam, nikel berbentuk mineral sebagai pentlandit, pyrrhotit, millerit, niccolit dll. Proses pemurnian nikel menggunakan *elektrolit refining* dan proses karbonil. Kandungan nikel sebagai paduan berkisar antara 32.5-99.5%. Paduan nikel dapat diklasifikasikan menjadi dua grup. Grup pertama berdasarkan sifat tahan korosi nikel dan paduan nikel dengan kromium sebagai paduan passivating seperti pada *stainless steel* (Cardarelli, 2008)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Struktur yang membutuhkan ketahanan korosi atau kekuatan pada temperatur tinggi dapat menggunakan nikel dan paduannya. Beberapa paduan nikel juga dikenal sebagai material struktur paling tangguh. Dibandingkan dengan baja, paduan nikel memiliki kekuatan tarik yang lebih besar. Pada temperatur kriogenik, paduan nikel bersifat kuat dan ulet (Cardarelli, 2008).



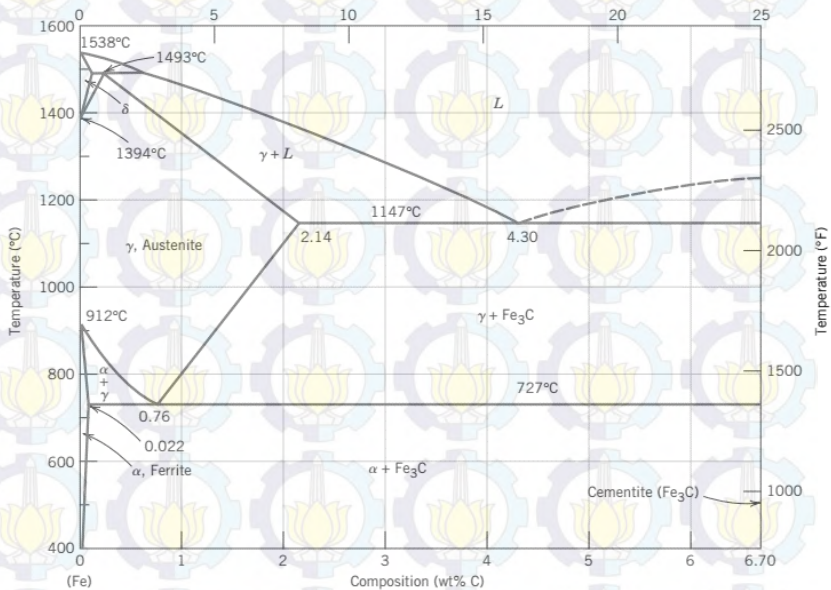
Gambar 2. 3 Diagram fasa Fe-Ni (Kubaschewski, 1982)

2.5 Baja (Steel)

Baja adalah paduan besi-karbon yang mengandung unsur paduan yang lain dengan konsentrasi Fe yang cukup besar. Ribuan paduan baja-karbon memiliki komposisi yang berbeda dan perlakuan panas yang berbeda. Gambar 2.4 menunjukkan diagram fasa Fe-Fe₃C yang menunjukkan fasa apa yang mungkin terjadi dengan penambahan karbon. Pertama adalah fase ferrit. Ferrit adalah larutan padat karbon dalam besi α . Kelarutan maksimum 0.022%C (723°C) dan hanya 0.008% di temperatur kamar. Struktur Kristal BCC. Kedua, fasa austenit. Austenit adalah larutan padat



karbon dalam besi γ . Kelarutan maksimum 2.0% C pada 1130°C. memiliki struktur kristal FCC. Ketiga, perlit adalah suatu campuran eutektoid terdiri dari semenit dan ferrit, berselang-seling, berlapis-lapis. Mengandung 0.8% C, terbentuk pada 723°C. keempat, besi δ memiliki kelarutan karbon yang sangat terbatas antara 1390-1534°C. Besi delta menghilang secara sempurna pada karbon yang lebih dari 0.5% (Avner, 1974).



Gambar 2. 4 Diagram Fasa Fe-Fe₃C (Callister, 2008)

Berdasarkan kadar karbonnya, baja diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu:

- Baja karbon rendah

Secara umum, baja karbon rendah mengandung kadar karbon kurang dari 0.25% dan cukup sulit terbentuk martensite dengan cara perlakuan panas. Struktur mikro baja

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



karbon rendah terdiri dari ferrit dan perlit sehingga bersifat relatif lunak dan kekuatan rendah tetapi memiliki keuletan dan ketangguhan yang cukup baik. Selain itu, sifat mampu mesin dan mampu las baja ini lebih baik dibanding baja yang lainnya. Baja karbon rendah juga murah dalam proses produksinya. Penggunaan baja ini biasanya pada komponen badan automobil dan lembaran yang digunakan untuk perpipaan, jembatan, dan bangunan (Callister, 2009).

Salah satu seri baja karbon rendah adalah AISI 1006. Baja ini merupakan baja karbon rendah digolongkan dari kadar karbonnya. Kadar karbon pada baja ini maksimal 0,08 %C dan paduan unsur mangan maksimal sekitar 0.45%Mn. AISI 1006 merupakan baja karbon yang luas penggunaannya. AISI 1006 luas digunakan karena sifat mekaniknya yang mudah dibentuk, lunak dan *weldability* yang baik. Contoh aplikasinya berupa plat kapal, baja konstruksi, komponen mesin, dan material pipa (ASTM International, 2000).

Tabel 2.5 Komposisi Kimia dan sifat mekanik AISI 1006 (ASTM International, 2000).

Carbon (C)	0.08% max
Mangan (Mn)	0.45 % max
Phospor (P)	0.035% max
Sulfur (S)	0.040 max
Hardness	95 HB
Density	7.7-8.03 (g/cm ³)
Tensile Strength	330 MPa
Yield Strength	285 MPa



- **Baja karbon menengah**

Baja karbon menengah mengandung kadar karbon antara 0.25-0.60%. Baja ini bisa diberikan perlakuan panas dengan austenizing, quenching, dan tempering untuk meningkatkan sifat mekanik. Baja karbon menengah memiliki kekuatan lebih tinggi daripada baja karbon rendah, namun keuletan dan ketangguhan lebih rendah. Penggunaan baja ini pada *gear*, *crackshaft*, dan komponen mesin dan struktur yang membutuhkan kekuatan yang tinggi (Callister, 2009).

- **Baja karbon tinggi**

Baja karbon tinggi mengandung kadar karbon antara 0.60-1.4%. Baja ini paling keras, paling kuat, namun kurang ulet dibandingkan dengan baja karbon yang lain. Baja karbon tinggi biasanya dipadukan dengan kromium, vanadium, tungsten, dan molybdenum guna mendapatkan kekuatan yang tinggi. Baja ini biasa digunakan untuk membuat baja perkakas (Callister, 2009).

2.6 Pengaruh Unsur Paduan (*Alloying Effect*)

Baja karbon biasanya sudah cukup baik untuk digunakan bila persyaratan kekuatan dan lain-lain tidak terlalu tinggi, baja karbon juga cukup baik digunakan pada temperatur kamar dan pada kondisi lingkungan yang tidak terlalu korosif. Harganya pun relatif murah. Tetapi dalam beberapa hal baja karbon tidak memenuhi syarat untuk dipergunakan (Avner, 1974).

Baja karbon dapat mencapai kekuatan yang tinggi, dengan menaikkan kadar karbonnya, tetapi sangat menurunkan keuletan dan ketangguhannya. Kekuatannya akan banyak berkurang bila bekerja pada temperatur yang lumayan tinggi. Pada temperatur rendah ketangguhannya menurun cukup drastis. Baja karbon memiliki hardenability yang umunya agak rendah, dan setelah pengerasan mudah menjadi lunak kembali bila mengalami



pemanasan. Hal-hal ini merupakan hambatan/kesulitan dalam penggunaan baja karbon (Avner, 1974).

Dengan menambahkan satu atau beberapa unsur paduan tertentu maka banyak diantara kesulitan tersebut dapat teratasi. Baja dengan tambahan beberapa unsur paduan dinamakan baja paduan (Avner, 1974)

Berikut ini adalah beberapa pengaruh unsur paduan menurut fungsinya :

- Pembentuk/Penstabil Ferrit

Merupakan unsur yang membuat ferrit bisa bertahan stabil pada temperature yang lebih tinggi. Biasanya ferrit akan berubah fasa menjadi austenite pada temperature tertentu, dengan adanya unsur paduan penstabil ferrit maka temperatur transformasi ini akan naik, bahkan bila jumlah unsur itu cukup banyak menjadikan ferrit tetap stabil hingga temperatur tinggi. Unsur yang termasuk dalam jenis ini adalah Cr, Si, Mo, W, Al (Avner, 1974).

- Pembentuk/Penstabil Austenit

Unsur pada kelompok ini akan membuat austenit menjadi lebih stabil pada temperature rendah. Austenit yang biasanya bertransformasi jika di dinginkan akan menjadi stabil pada tempratur yang lebih rendah bahkan temperatur kamar. Unsur yang termasuk jenis ini adalah Mn dan Ni (Avner, 1974).

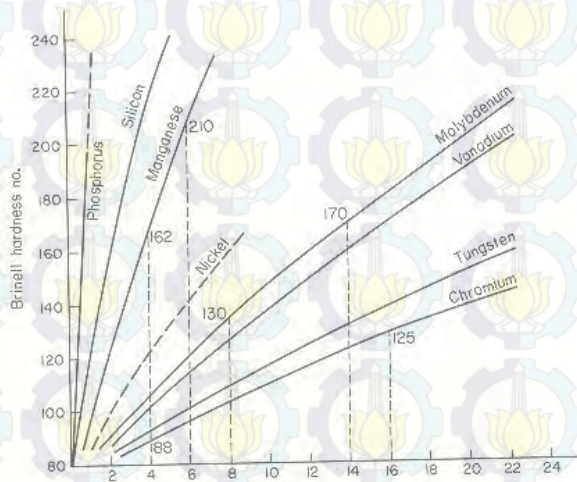
- Pembentuk Karbida

Jika pada ferrit dan austenit memiliki unsur yang dapat membentuk sekaligus menstabilkan, pada karbida berbeda. Unsur yang termasuk dalam jenis ini adalah Cr, W, Mo, V, Ti, Nb, Ta, Zr. Jika pada paduan baja ada beberapa unsur yang termasuk dalam pembentuk karbida, tidak semuanya bisa membentuk karbida. Biasanya hanya unsur yang affinitas elektronnya tinggi yang terbentuk karbida (Avner, 1974)

- Pembentuk Nitrida



Pada dasarnya unsur dalam jenis ini adalah mayoritas unsur pembentuk karbida. Unsur pembentuk nitrida akan membentuk nitrida jika baja dilakukan *nitriding*. Nitrida adalah senyawa yang keras sehingga adanya nitrida akan menambah kekerasan pada baja (Avner, 1974).

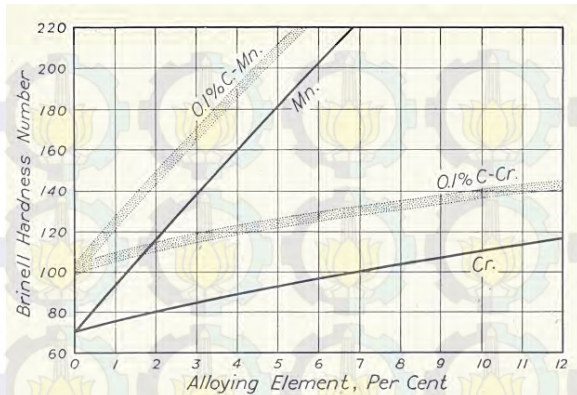


Gambar 2.5 Efek penambahan unsur paduan pada kekerasan besi α (Bain, 1966).

Gambar 2.5 menunjukkan efek pengerasan beberapa elemen yang terlarut dalam α besi. Ternyata unsur yang terlarut dalam ferit dapat meningkatkan kekerasan (Bain, 1966).

Kadar karbon yang rendah, misalnya sekitar 0.1%, mampu meningkatkan kekuatan seperti halnya efek pada unsur yang terlarut dalam ferit. Gambar 2.6 menunjukkan kenaikan kekerasan baja karbon 0.1% C dengan paduan mangan maupun kromium dibanding dengan tanpa keberadaan 0.1% C. Partikel karbida akan memberikan efek pengerasan yang lebih tinggi dibanding hanya dengan pengerasan larutan padat dalam ferit (Bain, 1966).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2. 6 Efek penambahan 0.1% Karbon pada kekerasan paduan Fe-Cr dan Fe-Mn (Bain, 1966).

2.7 Paduan Baja Tahan Karat Fe-Cr-Mn

Stainless Steel adalah paduan besi dengan kadar kromium minimal 10.5%. Kromium akan membentuk lapisan tipis yang disebut oksida kromium pada permukaan stainless steel. Oksida ini akan mencegah terjadinya kerusakan akibat korosi. transportasi. Stainless steel dibedakan menjadi lima grup, yaitu ferritic stainless steel, martensitic stainless steel, duplex stainless steel, austenitic stainless steel, dan precipitation-hardening stainless steel. (ASM International, 2005).

Ferritic stainless steel adalah paduan kromium dengan struktur Kristal bcc. Kadar kromium berkisar antara 10.5-30%. Martensitic stainless steel adalah paduan kromium dan karbon memiliki struktur Kristal bcc dan berubah menjadi martensitic setelah dikeraskan. Kadar kromium paduan ini antara 10.5-18%. *Duplex stainless steel* adalah paduan yang memiliki struktur bcc ferrit dan fcc austenit. *Precipitation-Hardening stainless steel* adalah paduan kromium-nikel yang mengandung unsur penguat presipitasi, seperti tembaga, aluminium, atau titanium. *Austenitic stainless steel* memiliki struktur fcc. Struktur ini didapat karena

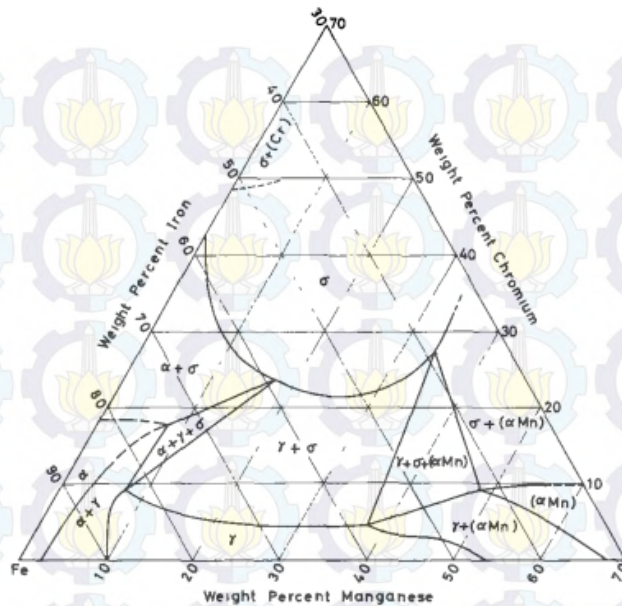


penambahan unsur penstabil austenit seperti nikel, mangan, dan nitrogen. . (ASM International, 2005).

Paduan Baja tahan karat Fe-Cr-Mn tergolong Baja tahan karat Austenitik. Paduan ini pertama digunakan pada 1930-an ketika di Jerman sulit mendapatkan Nikel dan akhirnya dicari pengganti untuk penstabil Austenit. Awal kemunculan paduan Fe-Cr-Mn adalah seri 205 dan pada pertengahan 1950-an seri 201 dan 202 mulai muncul. Ilmuwan logam Jerman menemukan Mangan dan Nitrogen sebagai pengganti Nikel. Paduan Fe-Cr-Mn memiliki komposisi 16-18% Cr, 5.5-7.5% Mn, dan 3.5-5.5% Ni. Gambar 2.7 merupakan diagram fasa ternery Fe-Cr-Mn pada temperatur 650°C. Tipe ini digunakan pada kondisi yang membutuhkan kekuatan pada temperatur tinggi dan ketahanan korosi. Biasanya diaplikasikan pada *shaft*, pompa, perpipaan di laut, dan peralatan kimia maupun peralatan masak (Cardarelli, 2008).

Salah satu seri austenitic stainless steel adalah paduan Fe-Cr-Mn seri 200. Baja ini sering dibandingkan dengan paduan Fe-Cr-Ni seri 304. Seri 201 memiliki beberapa kelebihan dan harganya lebih murah daripada tipe 304. Tabel 2.6 menunjukkan komposisi kimia AISI 201. Tipe 201 ini memiliki kekuatan tarik sebesar 655 MPa dan kekerasan 241 HB sedangkan tipe 304 memiliki kekuatan sebesar 515 MPa dan kekerasan 201 HB. Tipe 201 paling sering digunakan pada stainless steel seri 200. Tabel 2.7 menunjukkan sifat mekanik tipe 201. Tipe 201 memiliki kekuatan yang tinggi dan memiliki formability yang sangat baik. Contoh aplikasinya adalah piston ring, peralatan masak, velg mobil dll. Baja ini dapat dinaikkan kekuatannya dengan cara pengerjaan menggunakan rol (Iron & Steel Society, 1999).

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2. 7 Diagram fasa ternery Fe-Cr-Mn pada 650°C (Raghavan, 1994)

Tabel 2.6 Komposisi kimia AISI 201 (ASTM International, 2004).

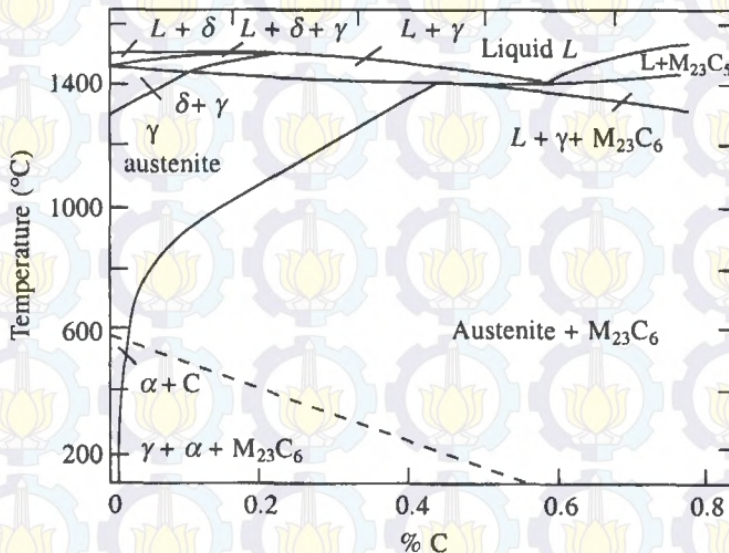
Unsur	Presentase, max (%)
Karbon (C))	0.15
Mangan (Mn)	5.5-7.5
Fosfor (P)	0.060
Sulfur (S)	0.030
Silikon (Si)	1.00
Kromium (Cr)	16.0-18.0
Nikel (Ni)	3.5-5.5
Nitrogen	0.25



Tabel 2.7 Sifat mekanik AISI 201 (ASTM International, 2004).

Tensile strength	655 MPa
Yield strength	310 MPa
Elongation	40%
Brinell hardness	241 HB

Untuk mengetahui keberadaan karbida pada austenitik stainless steel digunakan diagram fasa yang memperlihatkan kelarutan unsur Karbon pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Diagram Fasa Stainless Steel 18%Cr-8%Ni dengan keberadaan Karbida (Khatak, 2002)

Unsur paduan memiliki peran penting pada stainless steel. Unsur paduan yang ditambahkan akan memberikan sifat yang



berbeda pada *stainless steel*. Berikut adalah pengaruh unsur paduan pada *stainless steel*:

- Kromium (Cr)

Kromium merupakan elemen penting dalam pembentukan *stainless steel*. Baja dapat dikatakan menjadi *stainless steel* jika mengandung Cr minimal 10.5%. Selain penambahan ketahanan korosi, kromium membuat ketahanan terhadap oksidasi temperature tinggi serta membentuk struktur mikro ferrite.

- Nikel (Ni)

Alasan penambahan nikel pada *stainless steel* adalah untuk menstabilkan austenite agar menambah keuletan dan ketangguhan. nikel juga akan menjadikan ketahanan korosi yang lebih tinggi terhadap lingkungan asam. Pada precipitation hardening *stainless steel* nikel berfungsi sebagai penambah kekuatan serta memperbaiki weldability.

- Molybdenum (Mo)

Molybdenum pada dasarnya ditambahkan untuk menambah ketahanan korosi. Pada *stainless steel* Mo juga menambah kekuatan dan membentuk struktur mikro ferrit. Pada martensitic *stainless steel*, Molybdenum juga menaikkan kekerasan.

- Tembaga (Cu)

Tembaga menaikkan ketahanan korosi pada lingkungan asam dan membentuk struktur mikro austenit. Sulfur juga mengurangi work hardening untuk menaikkan machinability dan juga formability.

- Mangan (Mn)

Mangan merupakan unsur yang menjaga keuletan saat temperature tinggi pada *stainless steel*. Pada temperatur rendah akan menstabilkan austenite tetapi menjadi penstabil ferrit pada temperatur tinggi. Sebagai penstabil austenite, Mangan juga digunakan untuk menggantikan nikel yang secara ekonomis lebih mahal.



- Silicon (Si)

Silikon adalah elemen paduan pada *stainless steel* yang berfungsi untuk memperbaiki ketahanan oksidasi pada temperature tinggi.

- Carbon (C)

Carbon merupakan salah satu pembentuk austenite kuat sehingga secara signifikan menaikkan kekuatan. Namun karbon juga mereduksi ketahanan untuk mengatasi intergranular korosi karena membentuk karbida. Pada ferritic *stainless steel*, karbon akan menurunkan ketangguhan dan ketahanan korosi dan pada martensitic *stainless steel* akan menaikkan kekerasan dan kekuatan, namun menurunkan ketangguhan.

- Nitrogen (N)

Nitrogen merupakan pembentuk austenite kuat yang juga menaikkan kekuatan. Nitrogen adalah solusi elemen yang ditambahkan karena *stainless steel* tidak bisa ditambahkan banyak karbon akibat presipitasi karbida.

- Titanium (Ti)

Titanium adalah pembentuk ferrit dan pembentuk karbida yang kuat. Pada austenitic *stainless steel*, jika kadar karbon ditambah maka titanium perlu ditambahkan supaya menaikkan ketahanan korosi intergranular. Unsur ini juga menaikkan sifat mekanik pada temperatur tinggi. Pada ferritic *stainless steel*, titanium ditambahkan untuk menaikkan ketangguhan, formability dan ketahanan korosi..

- Niobium (Nb)

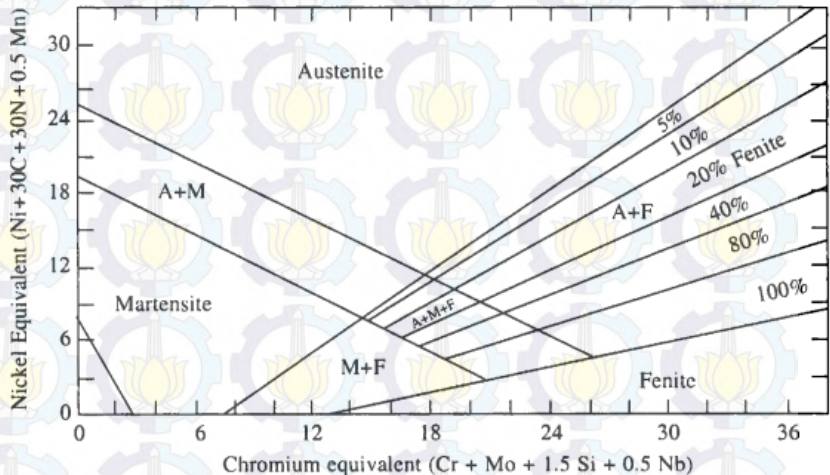
Merupakan unsur penstabil ferrite. Penambahan Nb pada *stainless steel* akan menaikkan sifat mekanik pada temperature tinggi.

- Sulphur (S)

Sulfur merupakan paduan yang memperbaiki *machinability*. Dalam jumlah yang tinggi sulfur akan mengurangi ketahanan korosi



Pengaruh paduan terhadap mikrostruktur dapat dilihat pada diagram Schaffler Gambar 2.9 yang menunjukkan fasa *stainless steel* terhadap komposisi paduan. (Outokompu Oyj, 2013).



Gambar 2.9 Diagram Schaffler (Khatak, 2002)

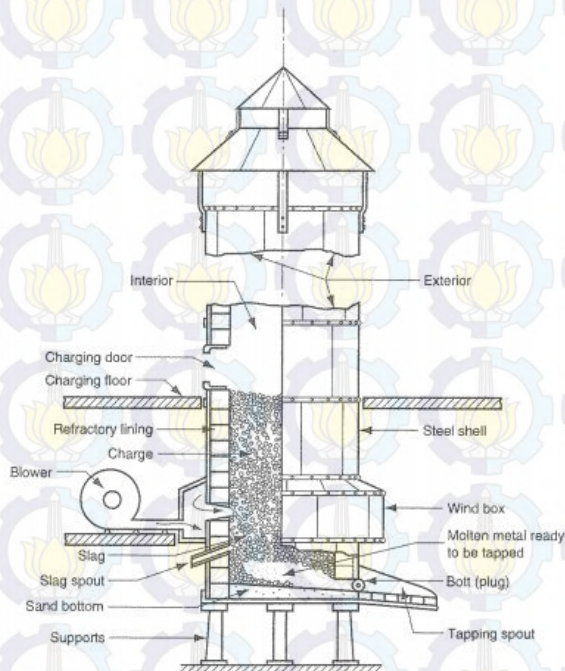
2.8 Proses Peleburan

Peleburan adalah proses untuk merubah bentuk logam menjadi liquid yaitu dengan memanaskan hingga titik lebur logam tersebut (Groover, 2007). Dalam proses peleburan dibutuhkan alat yang digunakan untuk memanaskan logam hingga titik leburnya, biasanya disebut furnace.

Furnace yang sering digunakan dalam proses peleburan yaitu Cupolas, Direct fuel fired furnaces, crucible furnace, induction furnace, dan electric arc furnace. Pemilihan furnace untuk proses peleburan didasarkan pada beberapa faktor, seperti material yang akan dilebur, temperatur lebur dan temperatur tuang, kapasitas furnace, biaya operasi dan pemeliharaan, dan polusi lingkungan (Groover, 2007).



Cupola, Cupola digunakan untuk peleburan besi cor. Kupola ini biasanya digunakan untuk meleburan besi cor dalam kapasitas yang besar. Konstruksi dan fitur yang ada pada kupola ditunjukkan pada gambar. Dinding kupola terbuat dari plat baja yang dilapisi refractory. Material yang dimasukkan berupa besi, kokas, flux, unsur paduan lain (Groover, 2007). Gambar 2.10 menunjukkan Cupola yang digunakan untuk melebur Besi Cor.



Gambar 2. 10 Cupola yang digunakan untuk melebur Besi Cor (Groover, 2007)

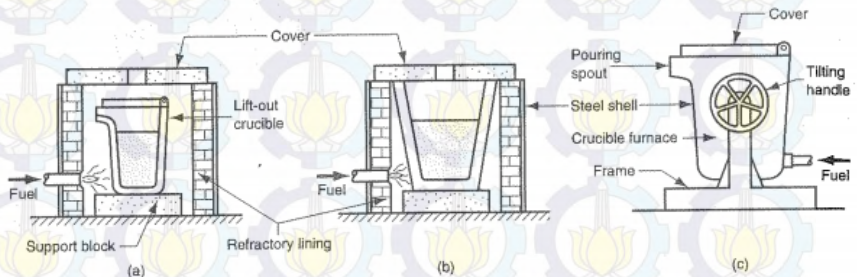
Direct fuel-fired furnace, Terdapat lubang kecil untuk masuknya pemanas, dimana material yang dimasukkan dipanaskan oleh bahan bakar yang berada di samping furnace. Atap furnace membantu proses pemanasan dengan memantulkan panas ke

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



bawah. Bahan bakar yang digunakan adalah gas alam. Produk pembakaran keluar melalui cerobong. Dibawah lubang terdapat tap hole untuk mengeluarkan logam cair. Furnace ini biasa digunakan untuk peleburan logam nonferrous seperti paduan tembaga dan aluminium (Groover, 2007).

Crucible furnace, Furnace ini meleburkan logam tanpa terjadi kontak langsung dengan campuran bahan bakar. Oleh karena itu furnace ini bisa juga disebut indirect fuel-fired furnace. Tiga tipe crucible furnace yang digunakan dalam proses peleburan yaitu tipe lift-out (a), stationary(b), dan tilting(c) yang ditunjukkan pada Gambar 2.11. Furnace ini memiliki wadah (crucible) yang terbuat dari material refractory (seperti campuran tanah liat-grafit) atau paduan baja yang memiliki titik lebur tinggi. crucible furnace digunakan untuk logam nonferrous seperti kuningan, perunggu, paduan seng, dan aluminium. Kapasitas furnace terbatas yaitu hanya beberapa puluh kilogram (Groover, 2007).

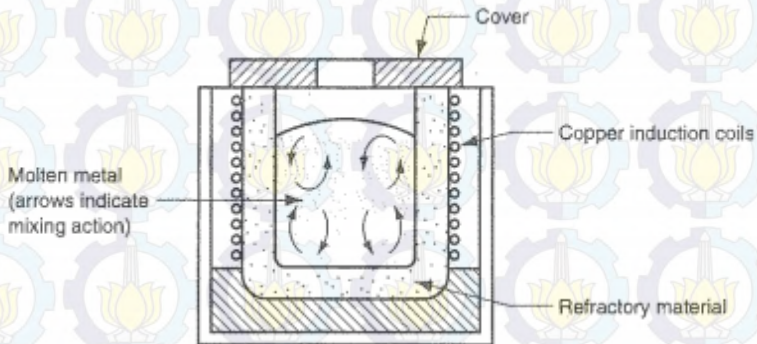


Gambar 2. 11 Tiga tipe Crucible Furnace (a) lift-out crucible (b) Stationary pot dan (c)tilting-pot furnace (Groover, 2007).

Induction Furnace, Furnace ini menggunakan arus yang disalurkan melalui lilitan supaya terjadi medan magnet pada logam dan menghasilkan arus induksi mengakibatkan pemanasan yang cepat dan terjadinya peleburan logam. fitur dari furnace induksi untuk proses peleburan ditunjukkan pada Gambar 2.12. Kualitas logam yang dilebur menggunakan furnace ini sangat baik dan kemurnian tinggi. Furnace induksi digunakan untuk peleburan



berbagai macam paduan. Peleburan Baja, besi cor, paduan aluminium sering menggunakan furnace ini (Groover, 2007).



Gambar 2. 12 Induction Furnace (Groover, 2007)

Electric Arc Furnace, Penggunaan EAF untuk pembuatan baja ditemukan pada tahun 1889 oleh Paul Heroult. Kemunculan teknologi ini dimulai pada awal abad ke 20 karena murahnya harga listrik saat itu. Banyak tipe baja yang diproduksi menggunakan metode ini. Panjang atau tipis, karbon atau paduan, untuk continuous casting, ingot casting dll. Pada tahun 2011, EAF memproduksi 29% baja seluruh dunia. Pengembangan EAF sejak tahun 1965 karena energy listrik yang digunakan rendah, penggunaan elektroda sedikit.

Sebagian besar EAF menggunakan listrik arus AC. Sekitar tahun 1990, pengembangan arus DC mulai dilakukan. Penggunaan arus DC pada EAF karena dapat mengurangi konsumsi elektroda dan penggunaan energy yang rendah. Gambar menunjukkan penggunaan EAF dengan arus DC (Seetharman, 2014). Gambar 2.13 menunjukkan Electric Arc Furnace.

Pengembangan EAF ini didasarkan pada peningkatan daya listrik. Pada tahun 1960, saat itu daya yang dihasilkan oleh EAF sebesar 250-300 kVA/t baja. namun saat ini, standar yang

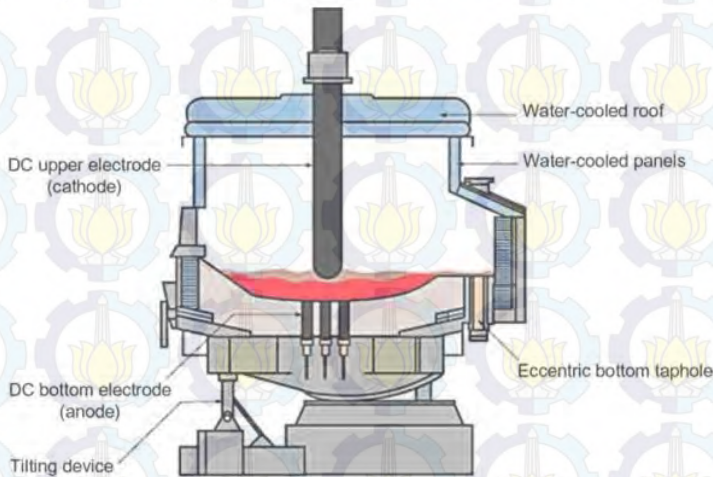
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



digunakan pada EAF yaitu 900-1000 kVA/t baja. (Seetharman, 2014)

Elektroda yang saat ini sering digunakan dalam proses peleburan EAF adalah elektroda grafit. raw material yang digunakan untuk pembuatan elektroda ini adalah petroleum coke dan coal tar pitch. Raw material ini dicampur dan diproses pada temperatur tinggi dengan beberapa langkah. (Seetharman, 2014)

Pada proses EAF, slag yang mungkin terbentuk seperti CaO , SiO_2 , FeO , dan MgO dan beberapa slag lain namun dengan



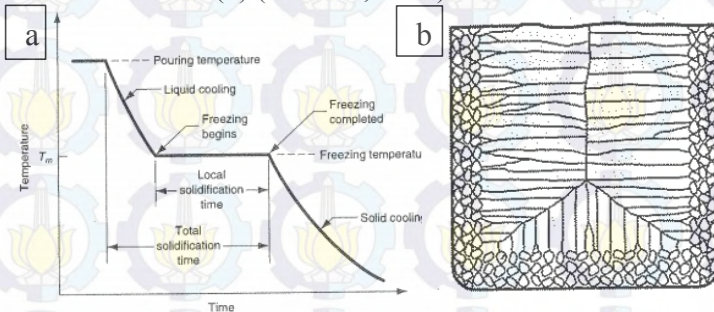
Gambar 2. 13 Electric Arc Furnace (Seetharman, 2014)

2.9 Solidifikasi logam

Solidifikasi adalah berubahnya fase cair menuju fase solid. Proses solidifikasi yang terjadi pada logam murni berbeda dengan paduan. Pada logam murni solidifikasi terjadi pada temperatur yang konstan seperti yang terlihat pada Gambar 2.14 (a). karena pada dinding cetakan terjadi chilling, lapisan tipis terbentuk di antarmuka saat penuangan. Lapisan ini mengelilingi logam cair pada proses solidifikasi (Groover, 2007).



Kontak antara logam cair dengan dinding termasuk pendinginan yang cepat sehingga mengakibatkan lapisan tipis menjadi halus, equaxed, dan arahnya acak. Pembentukan dan pertumbuhan butir terjadi berlawanan arah dengan perpindahan panas ke arah cetakan. Pertumbuhan butir ini disebut pertumbuhan dendrit. Butiran yang dihasilkan berorientasi pada satu arah dan butiran columnar mengarah ke dalam coran seperti yang terlihat pada Gambar 2.14 (b) (Groover, 2007)



Gambar 2. 14 a) Kurva pendinginan logam murni saat pengecoran
b) Karakteristik struktur pengecoran logam murni (Groover, 2007)

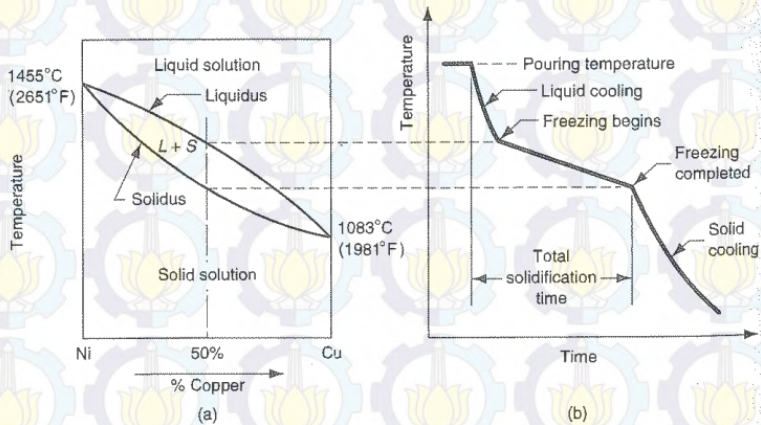
Solidifikasi pada paduan berbeda dengan solidifikasi pada logam murni. Pada logam murni solidifikasi terjadi pada temperatur yang konstan, pada paduan temperatur solidifikasi tidak konstan. Pembekuan mulai terjadi pada garis liquidus dan berakhir pada garis solidus. Gambar 2.15 memperlihatkan (a) diagram fasa paduan Ni-Cu dan (b) kurva pendinginan 50%Ni-50% Cu saat pengecoran. Pada paduan, awal pembekuan sama dengan logam murni yaitu terbentuknya lapisan tipis pada dinding cetakan karena perbedaan temperatur yang cukup besar antara logam cair dengan cetakan (Groover, 2007).

Pertumbuhan dimulai dengan terbentuknya dendrit. Lebar temperatur antara liquidus dan solidus mengakibatkan dendrit tumbuh dengan komposisi logam cair dan padat. Diantara garis

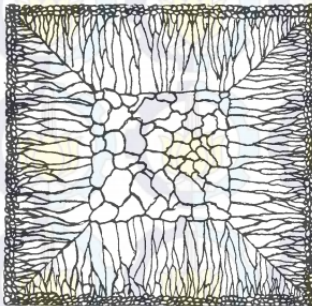
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



liquidus dan solidus terdapat daerah yang terdiri dari fasa cair dan padat yang disebut *mushy zone*. Seiring dengan turunnya temperatur, fasa liquid pada matriks dendrit memadat hingga solidus. Dengan berlanjutnya pendinginan dan bertumbuhnya dendrit, komposisi antara logam cair dan logam padat tidak seimbang mengakibatkan terjadinya segregasi setelah proses solidifikasi selesai. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.16



Gambar 2. 15 (a) diagram fasa paduan Ni-Cu dan (b) kurva pendinginan 50%Ni-50% Cu saat pengecoran (Groover, 2007).



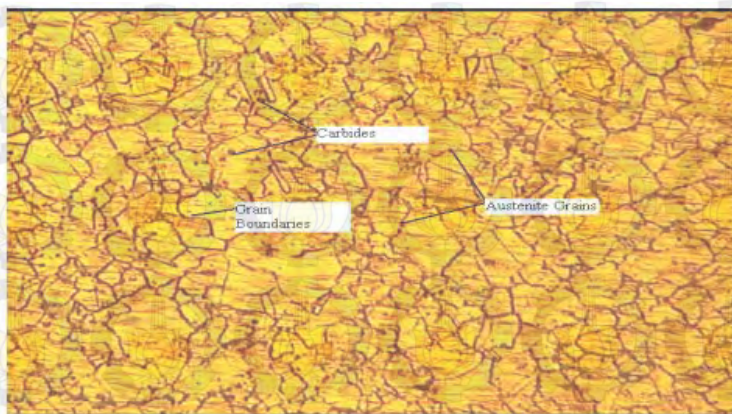
Gambar 2. 16 Karakteristik struktur pada pengecoran paduan, terlihat segregasi pada tengah coran (Groover, 2007).



2.10 Kajian Penelitian Sebelumnya

2.10.1 Kajian Struktur Mikro Paduan Fe-Cr-Mn

Penelitian yang dilakukan Sudhakaran. R, dkk (2014) yang meneliti tentang efek pengelasan pada struktur mikro pada Chromium-Manganese Stainless Steel menunjukkan bahwa struktur mikro Base metal AISI 202 yang merupakan salah satu Paduan Fe-Cr-Mn terdiri dari fasa Austenit dan Karbida yang jumlahnya sedikit, seperti yang terlihat pada Gambar 2.17.



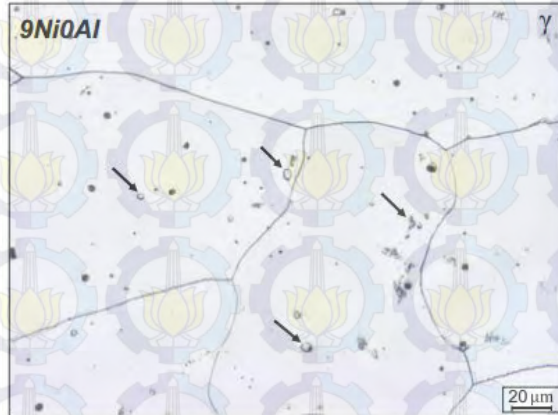
Gambar 2. 17 Struktur Mikro Base Metal AISI 202 Sudhakaran. R, dkk, 2014)

Menurut Rahimi, R. dkk (2014) yang melakukan penelitian terhadap Struktur mikro dan sifat mekanik paduan stainless steel Fe-Cr-Ni-Mn-C, struktur mikro Paduan Fe-Cr-Mn dengan presentase Ni 9% dan 0.426% C pada Gambar 2.18 menunjukkan fasa Austenit dan Karbida.

Pada pengecoran yang dilakukan oleh Baldissin, D. dkk (2006) dengan komposisi 18-20%Cr, 4-6%, 6-8%Mn, dan 0.04-0.06%C menunjukkan Fasa yang terlihat adalah Austenit dan fasa



Ferrit yang berbentuk *Network*. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.19.



Gambar 2. 18 Struktur Mikro Paduan Fe-Cr-Mn dengan 9% Ni (Rahimi, R. dkk, 2014)

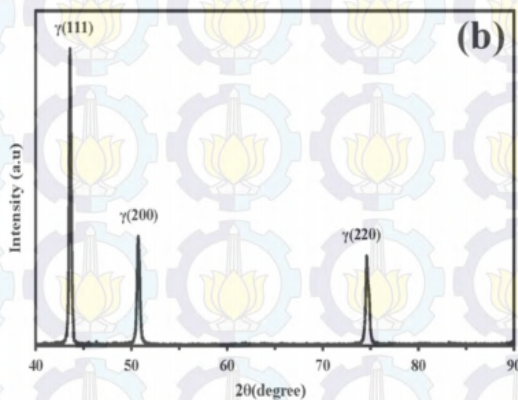


Gambar 2. 19 Struktru Mikro Paduan Fe-Cr-Mn Baldissin, D. dkk, 2006)



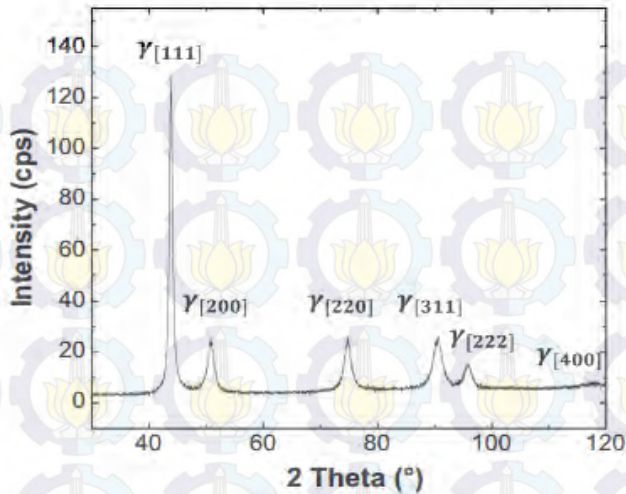
2.10.2 Kajian pola XRD Paduan Fe-Cr-Mn

Penelitian Baghbadorani, H.S. dkk (2015) tentang analisa microstructure dan sifat mekanik dengan pemaduan Nb pada Austenitic stainless steel seri 201. Fasa yang muncul pada struktur mikro paduan ini adalah Austenit dan fasa Ferrit yang jumlahnya sedikit. Namun Pola XRD yang terbentuk pada paduan ini hanya menunjukkan adanya Fasa Austenit, seperti yang terlihat pada Gambar 2.20. Hal ini dikarenakan keterbatasan kemampuan XRD untuk



Gambar 2. 20 Pola XRD baja AISI 201 Nb Baghbadorani, H.S. dkk, 2015)

Karbida yang jumlahnya sedikit juga tidak tampak pada pola XRD. Hal ini terjadi pada penelitian Rahimi, R. dkk (2015) pada material Fe-Cr-Ni-Mn-C stainless steel. Gambar 2.21 menunjukkan pola XRD paduan Fe-Cr-Ni-Mn-C



Gambar 2. 21 Pola XRD paduan Fe-Cr-Ni-Mn-C Rahimi, R. dkk, 2015)

2.10.3 Kajian Kekerasan Paduan Fe-Cr-Mn

Stepanov, N.D. dkk (2015) yang meneliti mengenai Tensile properties pada paduan Cr-Fe-Ni-Mn dengan perbedaan komposisi Cr menyebutkan bahwa dengan penambahan unsur Kromium pada Paduan ini dapat meningkatkan kekerasan, hal ini dikarenakan terjadi solid solution strengthening. Tabel 2.8 menunjukkan kekerasan tiap paduan dengan perbedaan komposisi Kromium.

Tabel 2. 8 Kekerasan Paduan Fe-Mn-Ni-Cr

Paduan	Microhardness, HV
$\text{Fe}_{40}\text{Mn}_{28}\text{Ni}_{28}\text{Cr}_4$	111 ± 6
$\text{Fe}_{40}\text{Mn}_{28}\text{Ni}_{20}\text{Cr}_{12}$	115 ± 4
$\text{Fe}_{40}\text{Mn}_{28}\text{Ni}_{14}\text{Cr}_{18}$	126 ± 6



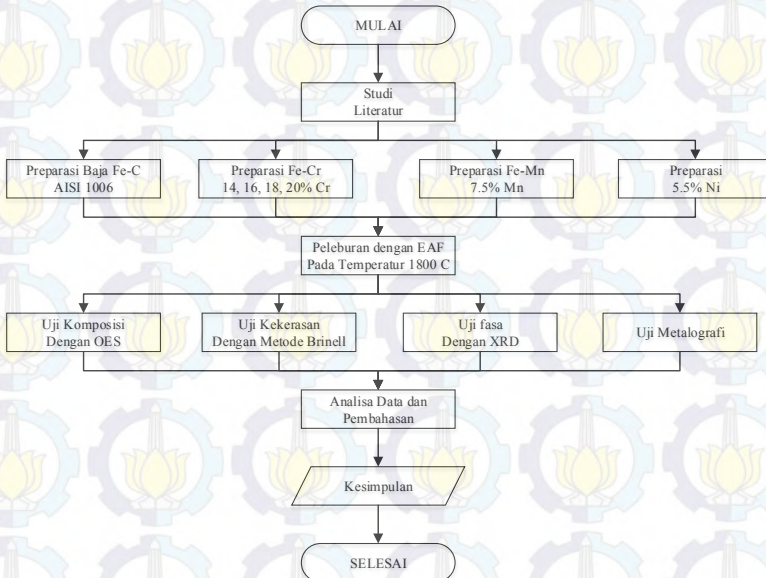
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap. Tahapan penelitian digambarkan pada diagram alir (Gambar 3.1). Pertama dilakukan studi literatur terkait penelitian, lalu mempersiapkan bahan yaitu baja AISI 1006, Kromium dengan kadar 14, 16, 18, dan 20%, Mangan dengan kadar 7.5% dan Ni dengan kadar 5.5%. Setelah itu proses peleburan bahan menggunakan Electric Arc Furnace diikuti pengujian yang meliputi uji komposisi, uji



kekerasan, uji XRD, uji metalografi. Dilakukan analisa data dan pembahasan terhadap data hasil uji. Proses terakhir adalah mengambil kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

3.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah

1. Baja AISI 1006
Baja AISI 1006 yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan ASTM A830 yang diperoleh dari Laboratorium Metalurgi JTMM FTI-ITS.
2. *Ferromangan medium karbon*
Ferromangan pada penelitian ini digunakan jenis *medium carbon grade B* sesuai standar ASTM A99. Ferromangan ini didapatkan dari PT Makmur Meta Graha Dinamika dengan kadar mangan 76.25%
3. *Ferrochrome low karbon*
Ferrochrome pada penelitian ini digunakan jenis *low carbon grade D* sesuai standar ASTM A101. Ferrochrome ini didapatkan dari PT Makmur Meta Graha Dinamika dengan kadar kromium 69%
4. Nikel *sheet* (Ni)
Nikel yang digunakan dalam penelitian ini berupa nikel dalam bentuk lembaran untuk aplikasi material elektronik. Kadar nikel pada material ini 99% sesuai dengan standar ASTM 162
5. Bahan Etsa
Bahan etsa yang digunakan dalam penelitian ini adalah gliseresia sesuai ASTM E407
 - a. 20-50 mL HCl
 - b. 10 mL HNO₃
 - c. 30 mL Gliserol

3.3 Alat

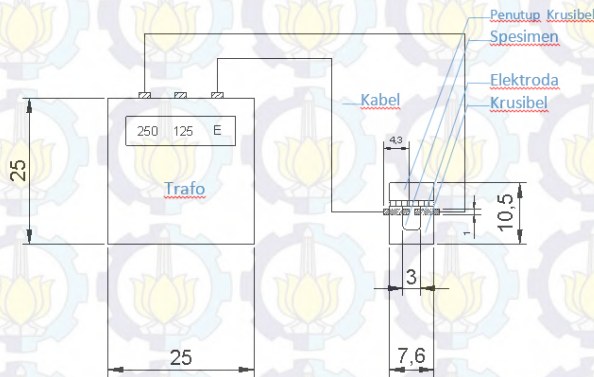
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



1. Furnace

Electric arc furnace yang digunakan pada penelitian ini memiliki kapasitas output maximum sebesar 150A. Furnace ini digunakan untuk meleburkan material awal yang akan dijadikan paduan. Gambar 3.2 menunjukkan dimensi Electric Arc Furnace.



Gambar 3.2 Dimensi Electric Arc Furnace

2. *Crusible*

Digunakan sebagai wadah untuk proses peleburan. Krusibel yang digunakan terbuat dari *insulating brick* tipe C-1 dibeli dari U.D Kampung Dukuh, Surabaya

3. Gergaji

Digunakan untuk memotong bahan serta specimen hasil coran.

4. Gelas Ukur 250 ml

Alat ini digunakan untuk mengukur bahan saat pembuatan larutan etsa.

5. Beaker Glass

Digunakan untuk wadah mencampur bahan etsa.

6. Timbangan

Digunakan untuk mengukur massa bahan lebur.



7. Heater

Digunakan untuk memanaskan logam sebelum melakukan etsa

8. Kertas Amplas

Digunakan untuk grinding specimen pada uji metalografi. Digunakan kertas amplas *grade* 80 hingga 2000.

9. Gergaji Mesin

Digunakan untuk memotong bahan lebur ataupun hasil coran

10. Alat Uji Kekerasan *Universal*

Alat ini digunakan untuk mengukur kekerasan spesimen

11. OES (*Optical Emission Spectroscope*)

Alat ini digunakan untuk mengetahui komposisi kimia benda hasil coran

12. XRD

Alat ini digunakan untuk mengetahui system Kristal, struktur Kristal serta fasa dari hasil coran

13. Mesin *Grinding & Polishing*

Alat ini digunakan dalam proses grinding serta polishing specimen dalam uji metalografi.

14. Mikroskop Metalurgi

Alat ini digunakan untuk mengetahui struktur mikro specimen.

3.4 Prosedur Percobaan

Sebelum melakukan eksperimen, preparasi sampel dilakukan dengan cara menghitung massa tiap – tiap bahan lebur untuk mendapatkan komposisi hasil coran yang diinginkan. Perhitungan massa bahan lebur pada penelitian kali ini menggunakan prinsip *material balance*. Perhitungan material balance menggunakan persamaan 3.1 Komposisi raw material yang digunakan dalam proses peleburan ditunjukkan pada Tabel 3.1



$$\frac{\% \text{ Target Unsur}}{\% \text{ Rasio kadar unsur pada bahan}} \times \text{Massa total} \quad (3.1)$$

Setelah proses penghitungan jumlah bahan lebur, Kemudian diletakkan pada krusibel. Langkah selanjutnya yaitu melakukan peleburan bahan lebur yang telah diletakkan dalam krusibel menggunakan Electric Arc Furnace pada Temperatur 1800°C selama dua menit. Baja paduan yang telah selesai dilebur dibiarkan hingga membeku selama $\pm$ satu jam. Setelah membeku seluruhnya hasil pengecoran diambil dengan menghancurkan krusibel. Metode pembuatan specimen uji dilakukan dengan memotong benda hasil coran menggunakan gergaji sesuai bentuk yang diinginkan.

Tabel 3.1 Komposisi *raw material input*

No.	Paduan	Ni (gr)	Fe-Cr (gr)	Fe-Mn (gr)	AISI 1006 (gr)
1	Fe-14Cr-Mn	1.67	6.07	2.93	Bal.
2	Fe-16Cr-Mn	1.67	6.95	2.93	Bal.
3	Fe-18Cr-Mn	1.67	7.8	2.93	Bal.
4	Fe-20Cr-Mn	1.67	8.68	2.93	Bal.

3.5 Proses Pengujian

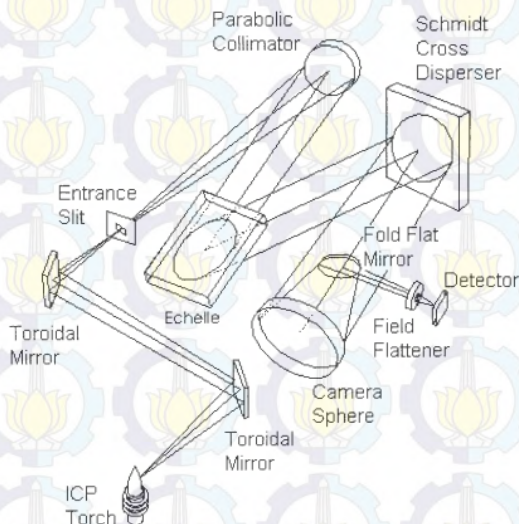
Penelitian ini dilakukan empat pengujian. Pengujian komposisi oleh OES, Pengujian metalografi untuk melihat strukturmikro. Hardness test untuk mengetahui nilai kekerasan. Uji XRD untuk mengetahui fasa yang terbentuk

3.5.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian Komposisi kimia menggunakan *Optical Emission Spectroscopy (OES)*, adalah pengujian dengan menembakkan electron pada bidang datar specimen sehingga memantulkan gelombang cahaya yang unik yang dapat ditangkap oleh *receiver* dan sensor yang kemudian dicocokkan dengan



database yang ada. Mekanisme OES seperti pada Gambar 3.3. OES dapat mengetahui berbagai unsur tergantung dari database yang tersedia. Pengujian OES pada penelitian ini dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) dan PT. Barata Indonesia *Foundry Unit* Gresik. Dimensi specimen yang dibutuhkan untuk proses pengujian menggunakan OES yaitu lebar, panjang, dan ketebalan berturut-turut 1.5 cm, 1.5 cm, dan 0.5 cm.



Gambar 3. 3 Prinsip pengujian OES (Boss, 2004)

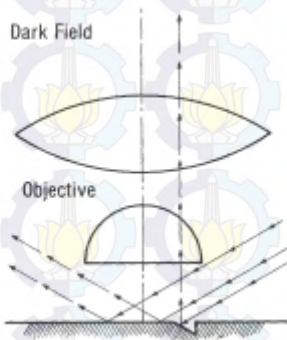
3.5.2 Pengujian Struktru Mikro

Metalografi adalah suatu metode pengujiam untuk melihat struktur logam pada skala mikro. Hal ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik dan mikroskop elektron. Struktur atau gambar logam yang terlihat melalui pengamatan dengan mikroskop disebut mikrostruktur. Pada gambar ini terlihat daerah lingkup ukuran mikro struktur logam yang umumnya diamati dengan mikroskop. Gambar 3.4 menunjukkan alur sinar datang pada pemngamatan Metalografi.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



Tujuan dilakukannya pengujian metalografi pada penelitian ini adalah melihat struktur yang terbentuk pada spesimen hasil pemaduan. Struktur mikro yang terlihat akan dibandingkan dengan diagram fasa paduan. Pengamatan ini dilakukan untuk melihat pengaruh unsur paduan terhadap diagram fasa dan struktur mikronya. Adapaun larutan etsa yang digunakan sesuai ASTM E-407 yaitu menggunakan gliseregia.

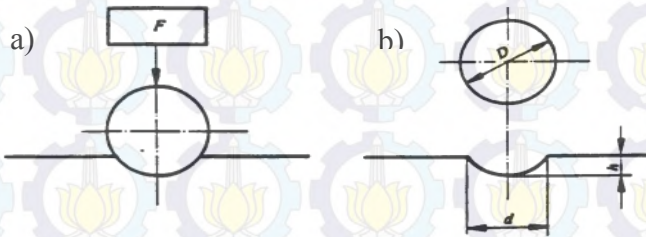


Gambar 3. 4 Alur sinar pada pengamatan metalografi
(Kaufmann, 2003)

3.5.3 Pegujian Kekerasan

Pengujian kekerasan yang dilakukan yakni pengujian kekerasan dengan metode Brinell. Pengujian kekerasan Brinell mempunyai cakupan yang luas sehingga dapat digunakan untuk material yang sangat lunak maupun material yang sangat keras.

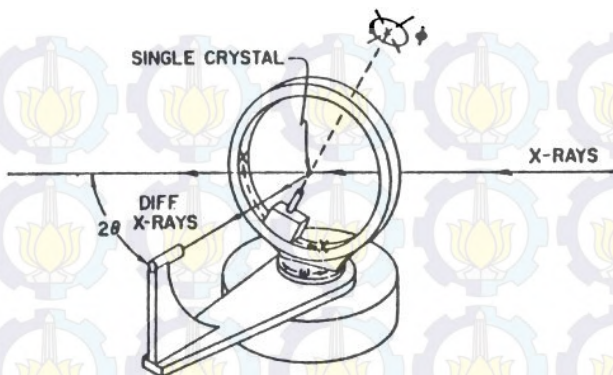
Pengujian kekerasan brinell dilakukan sesuai dengan standar ASTM E10. Diameter indenter yang digunakan sebesar 2,5 mm. Dengan pembebanan sebesar 187,5 kgf. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan nilai kekerasan Material uji. Gambar 3.5 menunjukkan mekanisme pengujian Brinell hardness.



Gambar 3. 5 Pengujian Brinell Hardness. a) ketika spesimen diberi pembebanan b) ketika beban dilepas (ASTM International, 2005)

3.5.4 Pengujian Fasa

Pengujian fasa dilakukan dengan menggunakan XRD. Analisa difraksi sinar X dilakukan dengan tujuan mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan Fe-Cr-Mn yang sudah terbentuk selama proses melting. Karakterisasi difraksi Sinar-X (XRD). Prinsip kerja pada pengujian XRD adalah ketika suatu material dikenai sinar X, maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar X yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar X yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi. Gambar 3.6 menunjukkan pengujian XRD. Pengujian XRD dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Pengujian dilakukan dengan mesin PAN Analytical XRD. Sampel yang digunakan untuk pengujian XRD ini harus memiliki ketinggian tidak lebih dari 4 mm.



Gambar 3. 6 Prinsip kerja XRD (Kaufmann, 2003)

3.6 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian pada Tabel 3.2 dibuat agar penelitian dapat berjalan secara sistematis.

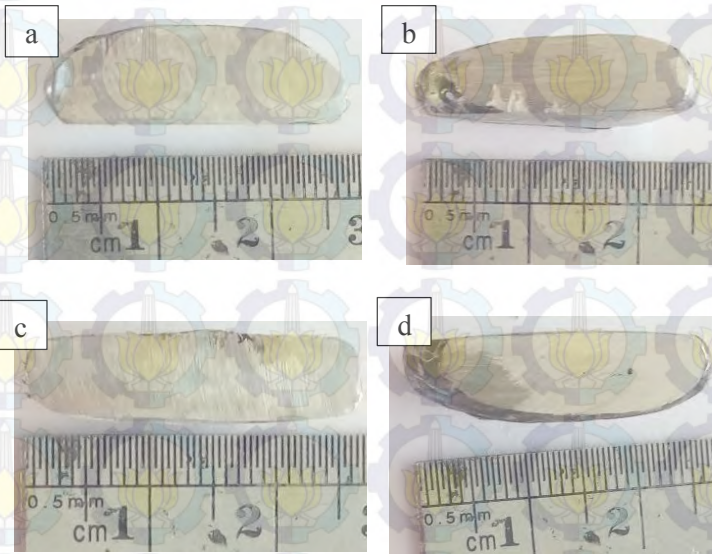
Table 3.2 Rancangan penelitian

Paduan	Material (%)				Pengujian			
	Ni	Cr	Mn	AISI 1006	OES	XRD	Metalografi	Kekerasan
Fe-14Cr-Mn	5.5	14	7.5	Bal			V	
Fe-16Cr-Mn	5.5	16	7.5	Bal			V	
Fe-18Cr-Mn	5.5	18	7.5	Bal			V	
Fe-20Cr-Mn	5.5	20	7.5	Bal			V	

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengamatan Makro Baja Paduan Fe-Cr-Mn

Hasil proses peleburan Baja paduan Fe-Cr-Mn yang telah dipotong secara melintang dapat dilihat pada Gambar 4.1. Dimensi dari keempat paduan menyesuaikan dimensi dari krusibel. Secara fisik keempat paduan memiliki kemiripan warna, yaitu warna Silver. Dengan penambahan Kromium, tidak terjadi perbedaan warna dari keempat paduan. Hasil peleburan keempat paduan juga tidak memperlihatkan adanya porositas. Segregasi juga tidak tampak pada hasil paduan, memperlihatkan *Raw Material* yang dimasukkan telah tercampur sempurna.



Gambar 4.1 Baja Paduan Fe-Cr-Mn (a) 14 (b) 16 (c) 18 (d) 20 %wt Cr



4.2 Komposisi Kimia Baja Paduan Fe-Cr-Mn

Berdasarkan mass balance yang telah ditentukan sebelumnya, presentase unsur yang dimasukkan dalam proses peleburan ditunjukkan pada Tabel 4.1. Raw Material yang digunakan dalam proses peleburan yaitu baja AISI 1006, *Ferrochrome low carbon*, *Ferromanganese medium carbon*, dan *nickel sheet*.

Tabel 4.1 Komposisi Perhitungan Bahan Lebur (%)

Paduan	Fe	Cr	Mn	Ni	C
Fe-14Cr-Mn	72.37	13.99	7.59	5.53	0.22
Fe-16Cr-Mn	70.32	16	7.58	5.53	0.22
Fe-18Cr-Mn	68.37	18	7.58	5.52	0.22
Fe-20Cr-Mn	66.35	20	7.57	5.52	0.22

Namun, berdasarkan hasil yang telah didapatkan melalui pengujian komposisi kimia menggunakan Optical Emission Spectroscopy yang dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) dan PT. Barata Indonesia (Persero), terdapat perbedaan presentase unsur yang dimasukkan sebelum proses peleburan dengan hasil peleburan. Tabel 4.2 menunjukkan komposisi kimia keempat Baja paduan Fe-Cr-Mn.

Tabel 4.2 Komposisi Baja Paduan Fe-Cr-Mn hasil Pengujian OES (%)

Paduan	Fe	Cr	Mn	Ni	C	others
Fe-14Cr-Mn	73.9	13.9	5.12	5.87	0.239	<1
Fe-16Cr-Mn	72.4	16.9	3.06	5.93	0.306	<1.4
Fe-18Cr-Mn	67.9	19.6	4.30	6.49	0.429	<1.3
Fe-20Cr-Mn	65.8	21.5	4.07	5.79	0.29	<2.5

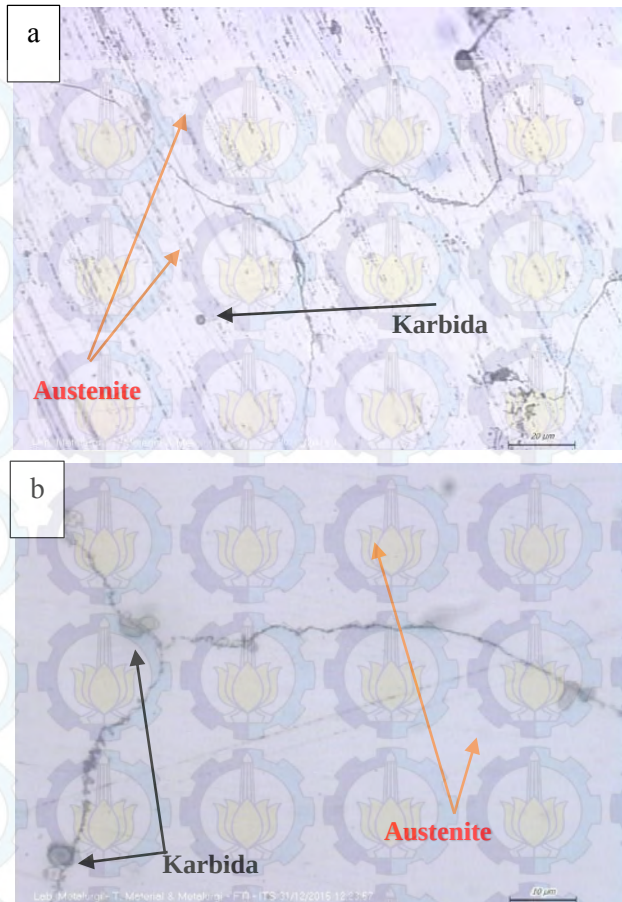


Unsur Cr yang menjadi *alloying* utama pada penelitian ini tidak mengalami perubahan yang cukup banyak, perubahan terbesar terjadi pada paduan Fe-18Cr-Mn yaitu sebesar 1.6%, begitu pula yang terjadi dengan unsur Ni yang tidak mengalami perubahan cukup banyak. Perubahan yang cukup besar terjadi pada unsur Mn dimana pada keempat paduan hasil peleburan, unsur ini berkurang antara 2.5-4.5%. Turunnya kadar Mangan ini disebabkan oleh reaksi oksidasi Mn menjadi oksida mangan (MnO) pada proses peleburan. (Seetharaman, 2014).

4.3 Pengamatan Struktur Mikro Baja Paduan Fe-Cr-Mn

Pengujian Metalografi dilakukan sesuai standar ASTM E407 dan dilakukan di Laboratorium Metalurgi menggunakan Olympus BX. Larutan etsa yang digunakan adalah gliseregia. Gliseregia dibuat sesuai standar dengan 6mL gliserol ditambah 4mL asam nitrat serta ditambahkan 6mL HCl. Etsa dilakukan dengan mencelupkan Paduan pada air dengan temperatur 100°C untuk mereaksikan logam dengan larutan etsa kemudian dietsa ± 20 detik pada gliseregia.

Hasil pengujian Struktur Mikro Paduan Fe-14Cr-Mn dapat dilihat pada Gambar 4.2. Struktur Mikro paduan ini terdiri dari Fasa Austenit dan Karbida. Fasa Austenit ini terbentuk karena keberadaan unsur Ni dan Mn yang merupakan penstabil Austenit, sehingga dapat membentuk fasa Austenit pada temperatur kamar. Pada Paduan ini tidak tampak adanya fasa selain Austenit, hal ini disebabkan oleh larutnya Kromium pada fasa Austenit. Karbida dapat terbentuk apabila kadar Karbon dalam paduan mencukupi (Avner, 1974).



Gambar 4. 2 Struktur Mikro Paduan Fe-14Cr-Mn dengan perbesaran (a) 500x (b) 1000x

Karbida yang terbentuk ini terlihat berada pada batas butir. Hal ini juga disebutkan oleh Lee, dkk (2015). Menurut Lee presipitasi karbida terjadi pada batas butir terjadi karena pada batas butir memiliki orientasi yang berbeda-beda. Batas butir adalah tempat dimana terdapat ketidak-teraturan susunan atom, sehingga



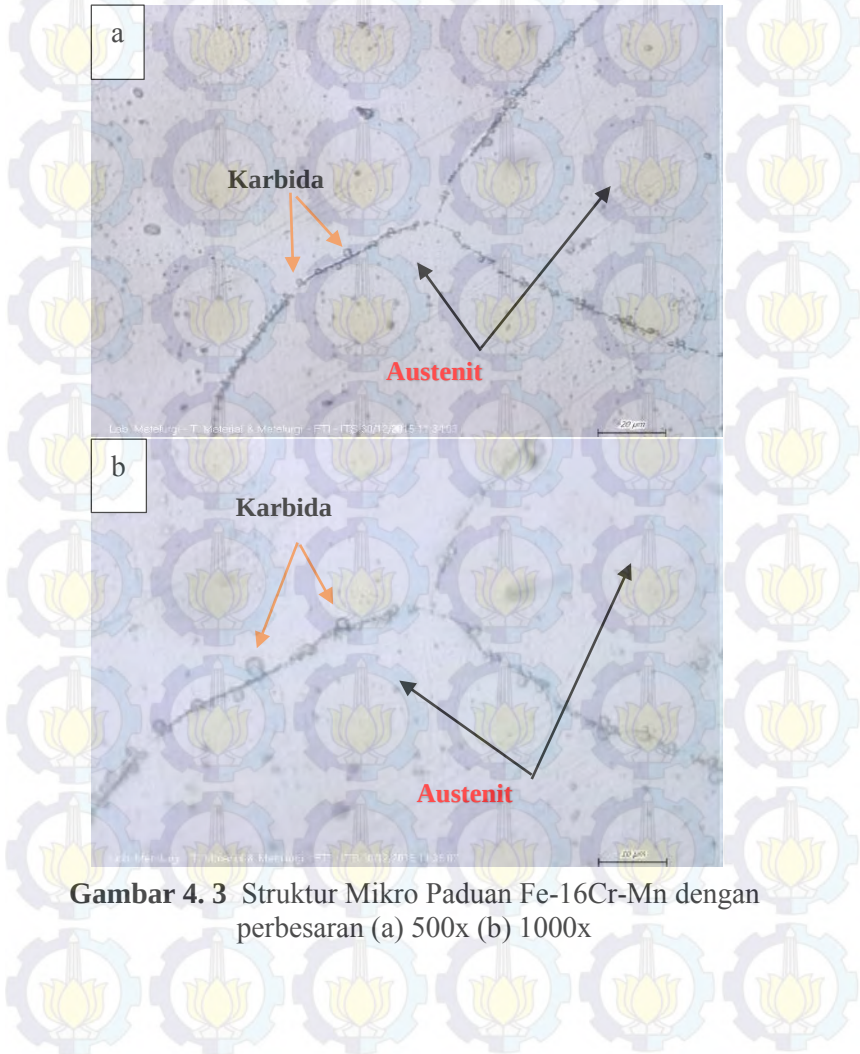
merupakan tempat yang tegang. Disamping itu biasanya batas butir mengandung impurity lebih banyak. Berdasarkan penelitian Sudhakaran R. dkk (2014), Pada Baja AISI 202 yang juga merupakan salah satu paduan Fe-Cr-Mn dengan kadar Karbon 0.15% juga memiliki fasa Austenit dan karbida.

Hal serupa juga disebutkan oleh Rahimi, R. dkk (2014) dalam penelitiannya, yang menyebutkan bahwa dalam paduan Fe-Cr-Ni-Mn-C dengan kadar Karbon 0.426% juga terdapat fasa Austenit dan Karbida.

Pada paduan Fe-16Cr-Mn juga memperlihatkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan paduan Fe-14Cr-Mn, yaitu memperlihatkan Fasa Austenit dan Karbida. Karbida yang terbentuk tidak hanya berada pada batas butir namun juga tersebar pada matriks Austenit. Jika dibandingkan dengan Paduan Fe-14Cr-Mn, terlihat Karbida yang terbentuk pada Paduan Fe-16Cr-Mn lebih banyak, hal ini dikarenakan kadar Karbon pada Paduan ini lebih tinggi dari Paduan Fe-14Cr-Mn. Kadar Karbon Paduan ini sebesar 0.3%. Hal serupa juga ditunjukkan pada penelitian yang dilakukan oleh Zheng, dkk. (2015). Menurut Zheng, Karbida akan terbentuk semakin banyak apabila kadar Karbon meningkat. Menurut Al-Zoubi, dkk (2014) yang melakukan penelitian tentang pengaruh Mangan pada Paduan Fe-Cr-Mn, menyebutkan bahwa Silicon dan Molybdenum menurunkan kelarutan Unsur yang menyisip pada Paduan seperti Karbon. Dengan berkurangnya kelarutan unsur yang dapat menyisip dalam Paduan mengakibatkan kemungkinan terjadinya Karbida semakin besar. Pernyataan Rawers (2008) sejalan dengan Al-Zoubi, dkk (2014). Menurut Rawers Karbon memiliki batas kelarutan dalam Stainless Steel, hal ini menyebabkan terbentuknya Karbida. Kecenderungan yang terjadi adalah Kromium berikatan dengan Karbon. Oleh karena itu, Karbon jarang ditambahkan pada Stainless Steel. Rawers menambahkan bahwa unsur paduan seperti Silicon dan Molybdenum akan mengurangi kelarutan Karbon, sehingga dimungkinkan munculnya Karbida dengan penambahan Silicon



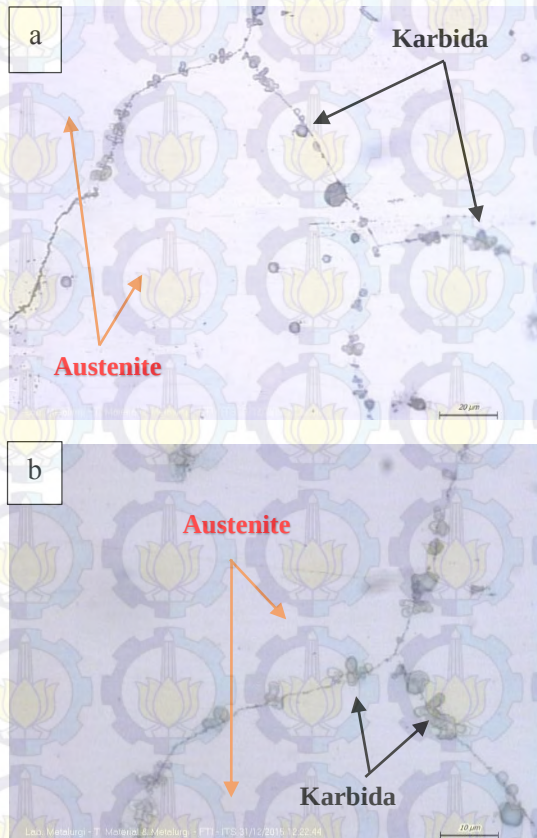
dan Molybdenum. Gambar 4.3 Memperlihatkan Struktur Mikro paduan Fe-16Cr-Mn dengan perbesaran 500 dan 1000x.



Gambar 4. 3 Struktur Mikro Paduan Fe-16Cr-Mn dengan perbesaran (a) 500x (b) 1000x



Komposisi Kimia pada Paduan Fe-18Cr-Mn menunjukkan bertambahnya kadar Karbon dibandingkan paduan sebelumnya. Sudah dijelaskan pada Paduan Fe-16Cr-Mn bahwa dengan kenaikan kadar Karbon akan mengakibatkan bertambahnya jumlah Karbida. Hal ini juga terlihat pada Gambar 4.4 yang menunjukkan Struktur Mikro Paduan Fe-18Cr-Mn. Pada batas butir terlihat semakin banyak jumlah Karbida yang terbentuk.



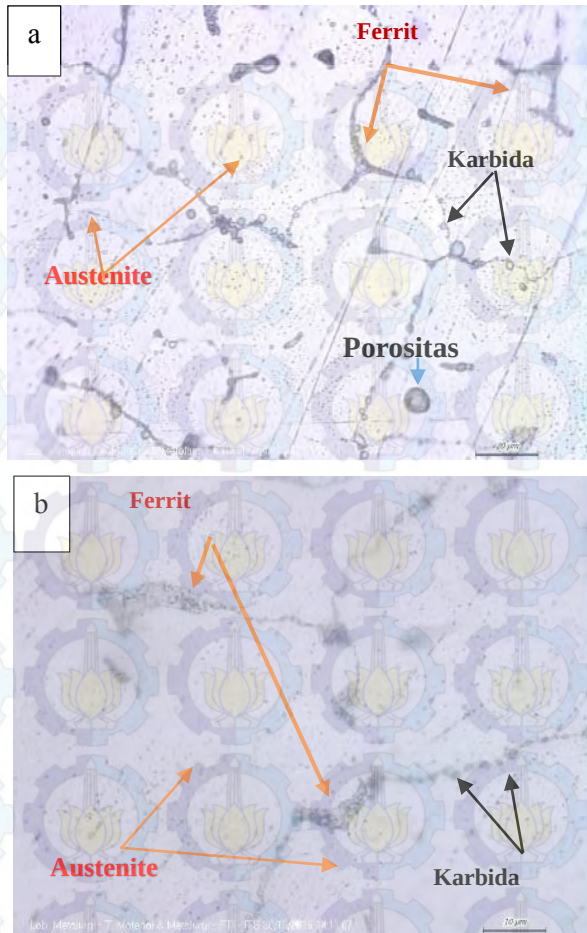
Gambar 4. 4 Struktur Mikro Paduan Fe-18Cr-Mn dengan perbesaran (a) 500x (b) 1000x



Dilanjutkan oleh Rawers (2008) dalam penelitian yang sama. Pada paduan Fe-Cr-Mn dengan kadar Karbon 0.0-0.5% masih terjadi penyusupan Karbon dalam Paduan Fe-Cr-Mn, namun keberadaan Silikon dan Molybdenum mengakibatkan Karbida terbentuk.

Pada Paduan Fe-20Cr-Mn dengan kadar Kromium sebesar 21.5% menunjukkan terbentuknya fasa baru, yaitu ferrit. Ferrit yang terbentuk ini akibat semakin banyaknya kadar Kromium dalam Paduan Fe-Cr-Mn. Pada tiga Paduan sebelumnya hanya terlihat fasa Austenit yang terbentuk hal ini dikarenakan larutnya Kromium dalam fasa Austenit, sedangkan pada Paduan Fe-20Cr-Mn terlihat juga Fasa Ferrit. Berdasarkan Diagram Fasa Fe-Cr pada Gambar 2.1, Kromium memiliki batas kelarutan dalam fasa Austenit. Karena batas kelarutannya dalam fasa Austenit, mengakibatkan Kromium yang tidak larut dalam fasa Austenit akan terlarut dalam fasa Ferrit. Pada penelitian yang dilakukan oleh Chen, dkk. (1999) mengenai paduan baja Fe-Cr-Mn-C, fasa Ferrite dengan struktur BCC terlihat ketika kadar Kromium dalam paduan mencapai 20%. Hal ini terjadi pada Baja tahan karat Austenitik. hal ini mengindikasikan bahwa Cr adalah pembentuk ferrite yang kuat.

Baldissin, D. dkk. (2006), meneliti mengenai pengecoran Fe-Cr-Mn dengan presentase 20% Cr, 6%Mn, dan 4% Ni. Struktur Mikro hasil pengecoran yang dia lakukan menunjukkan adanya fasa Austenit dan Ferrit. Fasa Austenit berwarna terang sedangkan Fasa Ferrit berbentuk *network*. Seperti terlihat pada Gambar 4.5. Keberadaan Karbida pada paduan ini juga masih terlihat seperti halnya pada 3 Paduan yang telah dibahas sebelumnya.



Gambar 4. 5 Struktur Mikro Paduan Fe-20Cr-Mn dengan perbesaran (a) 500x (b) 1000x

Pada Paduan Fe-20Cr-Mn ini terlihat adanya porositas. Cukup sulit menentukan apakah yang terlihat pada Gambar 4.5 adalah porositas atau bukan. Namun, ketika diamati menggunakan Mikroskop optik memang terlihat layaknya porositas.



Porositas adalah lubang atau rongga pada logam. penyebab utama terjadinya porositas adalah berkurangnya volume logam ketika terjadi proses perubahan liquid menjadi solid. Lubang terbentuk ketika sejumlah liquid terisolasi dalam solid. Sebagian besar pori terbentuk akibat gelembung gas. Gas yang biasa terperangkap dalam pori adalah carbon monoksida, nitrogen, dan hydrogen (Durand, 2003).

Dari keempat Paduan yang telah dijelaskan dapat diketahui bahwa Kromium memiliki kelarutan yang terbatas pada Baja Paduan Fe-Cr-Mn. Rentang Kromium hingga 19.6% masih terlihat Fasa Austenit dengan sedikit Karbida yang terbentuk akibat kelarutan Karbon dalam Baja Paduan Fe-Cr-Mn terbatas akibat keberadaan unsur Silikon. Kelarutan unsur dalam Paduan dinamakan *Solid Solution*.

Menurut Avner (1974), ada dua jenis larutan padat yang bisa terjadi, yaitu larutan padat substitusional dan larutan padat interstisial. Keberadaan unsur Kromium, Mangan, dan Nikel dalam paduan Fe-Cr-Mn ini dinamakan larutan padat substitusional dikarenakan atom Kromium, Mangan, dan Nikel menggantikan tempat atom Besi dalam struktur Kristal Besi. Sedangkan unsur Karbon yang larut dalam Paduan ini dinamakan larutan padat interstisial dikarenakan atom Karbon masuk di rongga antar atom dalam struktur Kristal Besi.

Avner (1974) menambahkan ada beberapa faktor yang mempengaruhi kelarutan unsur dalam suatu paduan, yaitu *Crystal structure factor*, *relative size factor*, *chemical affinity factor*, dan *relative valence factor*.

Kelarutan sempurna suatu unsur dapat terjadi apabila struktur Kristal unsur pelarut dan terlarut sama. Hal ini yang terjadi pada Kromium yang larut sempurna dalam fasa α Besi dikarenakan keduanya memiliki struktur Kristal yang sama yaitu BCC. Berbeda halnya dengan kelarutan Kromium dalam fasa γ Besi yang hanya sekitar 11% dikarenakan Besi γ memiliki struktur Kristal FCC.

Terbentuknya suatu larutan padat akan mudah terjadi bila perbedaan diameter atom tidak terlalu besar, tidak lebih dari 15%.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

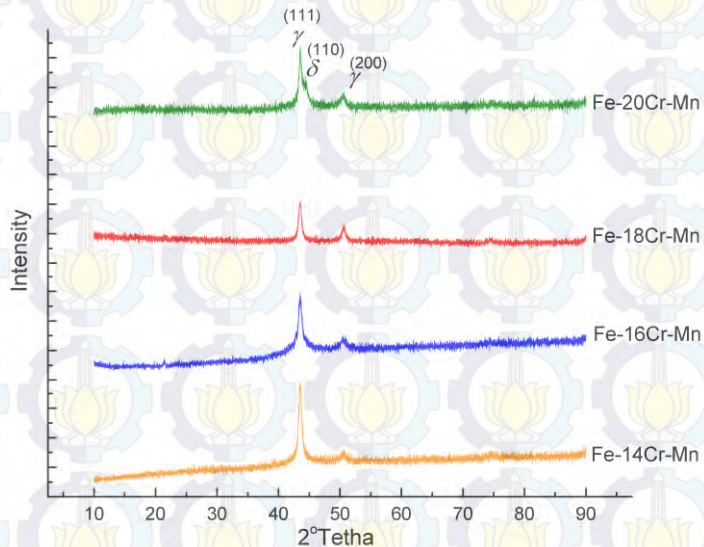


Bila perbedaan lebih dari 15% maka kelarutan padatannya akan sangat terbatas. Kromium memiliki diameter atom sebesar 0.125 nm sedangkan Besi 0.124. Apabila dikalkulasi perbedaan diameter atom kedua unsur hanya 0.8%, hal ini juga yang mengakibatkan kelarutan Kromium dalam fasa α tidak terbatas.

4.4 Pengamatan Pola XRD Baja Paduan Fe-Cr-Mn

Dalam pengamatan struktur mikro sebetulnya hal yang susah untuk menentukan fasa apa yang terbentuk karena hanya terlihat gelap terang pada material uji. Pengujian XRD ini menjadi pembantu dalam menentukan fasa apa yang terbentuk dalam material uji.

Pengujian XRD dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material menggunakan PANalytical X'Pert Pro. Pola XRD dapat dilihat pada Gambar 4.6



Gambar 4. 6 Pola XRD Baja Paduan Fe-Cr-Mn



Analisa hasil pengujian XRD menggunakan software *PCPDFWIN*. Hasil analisa pola XRD terlihat bahwa keempat paduan memiliki puncak untuk fasa Austenit. Pada Paduan Fe-14Cr-Mn puncak pertama pada peak 43.48 dan puncak kedua pada peak 50.56. Pada Paduan Fe-16Cr-Mn puncak pertama pada peak 43.52 dan puncak kedua pada peak 50.39. Pada Paduan Fe-18Cr-Mn puncak pertama pada peak 43.49 sedangkan puncak kedua pada peak 50.73. Pada Paduan Fe-20Cr-Mn terlihat adanya tiga puncak, hal ini berbeda dengan ketiga Paduan sebelumnya yang hanya memperlihatkan adanya dua puncak. Puncak pertama menunjukkan fasa Austenit pada peak 43.53, puncak kedua menunjukkan fasa Ferrit pada peak 44.56, sedangkan puncak ketiga menunjukkan fasa Austenit pada peak 50.54.

Menurut software *PCPDFWIN*, Fasa Austenit yang terbentuk pada keempat Paduan bernomor PDF 47-1417. Fasa Austenit pada Baja Paduan Fe-Cr-Mn memiliki struktur Kristal FCC dengan panjang rusuk 3.597 Å. Dikarenakan struktur Kristal Austenit adalah kubus, maka panjang rusuk a, b, dan c adalah sama yaitu dengan ukuran 3.597 Å. Struktur Kristal Austenit juga disimbolkan dalam space group sebagai Fm3m.

Dua puncak Austenit pada keempat paduan teridentifikasi pada bidang kristalografi (111) untuk puncak pertama dan (200) untuk puncak kedua.

Pada paduan Fe-20Cr-Mn terdapat satu puncak yang berbeda dengan ketiga paduan lainnya, yaitu puncak yang menunjukkan terbentuknya fasa Ferrit. Analisa menggunakan software *PCPDFWIN*, Ferrit yang terbentuk bernomor PDF 87-0721. Ferrit yang terbentuk memiliki struktur BCC dengan panjang rusuk 2.866 Å. Apabila dibandingkan dengan Austenit memang Ferrit memiliki panjang rusuk yang lebih kecil. Seperti halnya Austenit yang memiliki struktur FCC, struktur BCC juga memiliki panjang rusuk a, b, dan c yang sama, yaitu 2.866 Å. Struktur Kristal BCC juga disimbolkan dalam space group Im3m. Puncak Ferrit yang teridentifikasi pada pola XRD memiliki bidang kristalografi (110).



Analisa pola XRD sesuai dengan penampakan pada struktur mikro paduan. Keempat paduan memiliki fasa Austenit dan terbentuk fasa Ferrit pada Paduan Fe-20Cr-Mn. Berbeda halnya pada penelitian Baghbadorani, H.S. dkk (2015) yang melakukan penelitian pada Baja AISI 201. Menurut Baghbadorani tidak terlihatnya fasa Ferrit pada penelitiannya dikarenakan terbatasnya kemampuan XRD untuk membaca fasa dalam jumlah yang sedikit.

Namun, keberadaan Karbida pada keempat Paduan tidak mampu terdeteksi oleh XRD. Hal ini juga terjadi pada penelitian Rahimi, R. dkk (2015). Dimungkinkan jumlah karbida yang sedikit menjadi alasan tidak tampaknya karbida pada XRD. Sudah dijelaskan pada bagian sebelumnya bahwa dimungkinkan karbida terbentuk dikarenakan jumlah karbon yang cukup tinggi pada paduan. Silikon juga dapat mendorong terbentuknya karbida karena unsur ini mengakibatkan kelarutan karbon dalam paduan menurun.

Untuk membantu identifikasi karbida dalam paduan dilakukan uji EDX. Pengujian EDX ini dilakukan dengan menembak titik yang disinyalir sebagai karbida. Dari hasil pengujian EDX diketahui bahwa titik yang ditembak mengandung unsur Fe, Cr, dan C. dengan keberadaan unsur C pada titik tersebut maka dapat diketahui Karbida terbentuk.

4.5 Pengujian Kekerasan Baja Paduan Fe-Cr-Mn

Pengujian kekerasan paduan dilakukan dengan menggunakan metode uji kekerasan brinell dengan standar ASTM E10. Menggunakan bola baja dengan diameter 2,5 mm dan beban 187.5 kgf.

Tabel 4.3 dan Gambar 4.7 menunjukkan perbedaan nilai kekerasan terhadap kadar Kromium pada Baja Paduan Fe-Cr-Mn. Pengujian dilakukan pada 3 indentasi untuk setiap 1 spesimen sehingga didapat 3 nilai kekerasan brinell lalu dirata-rata.

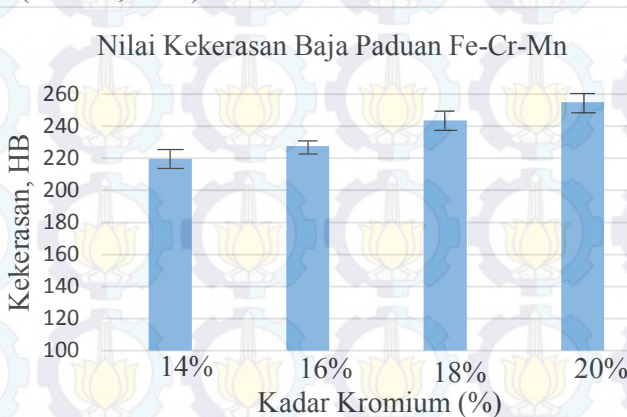


Menurut ASTM A240, kekerasan AISI 201 yang merupakan salah satu Paduan Fe-Base dengan penambahan Cr dan Mn adalah 217 hingga 241 HB.

Tabel 4.3 Nilai Kekerasan Baja Paduan Fe-Cr-Mn

Paduan	Kekerasan, HB
Fe-14Cr-Mn	219.67 ± 3.858
Fe-16Cr-Mn	227.67 ± 2.494
Fe-18Cr-Mn	243.67 ± 3.858
Fe-20Cr-Mn	255 ± 4.32

Dari hasil pengujian yang dilakukan dapat diketahui bahwa dengan penambahan Kromium yang terjadi, Nilai Kekerasan juga meningkat. Meningkatnya nilai kekerasan ini diakibatkan larutnya Kromium dalam fasa Austenit. Dalam fasa Austenit unsur yang berpotensi dapat meningkatkan kekerasan Paduan adalah penstabil ferrit. Sedangkan Penstabil austenit tidak terlalu banyak meningkatkan kekerasan fasa Austenit itu sendiri. Justru dengan keberadaan Nikel dapat menurunkan kekerasan fasa Austenit (Durand, 2003).



Gambar 4.7 Pengaruh kadar Kromium terhadap nilai Kekerasan Baja Paduan Fe-Cr-Mn



Larutan padat Interstisi maupun substitusi mempunyai struktur Kristal yang terdistorsi, terutama di sekitar tempat solute atom. Distorsi ini akan menimbulkan tegangan disekitarnya dan menghambat gerakan dislokasi pada bidang slip, sehingga untuk menghasilkan slip diperlukan gaya yang lebih besar. Karena itu adanya solute atom akan menaikkan kekuatan dan kekerasan suatu larutan padat, makin banyak solute atom yang terlarut makin tinggi kenaikan kekuatan/kekerasan yang terjadi. Hal ini merupakan salah satu dasar penguatan logam dengan pepaduan (Avner, 1974).

Stepanov, dkk (2015) melakukan penelitian terhadap pengaruh Kromium terhadap Paduan Fe-Cr-Mn. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, penambahan Kromium dapat meningkatkan Kekerasan Paduan Fe-Cr-Mn. Kenaikan kekerasan yang terjadi pada Paduan Fe-Cr-Mn disebabkan oleh larutnya Kromium dalam fasa Austenit.

Pada Paduan Fe-20Cr-Mn yang memiliki Fasa Austenit dan Ferrit. Naiknya kekerasan ini karena ferrit terdistribusi pada matriks Austenit. Ferrit lebih keras daripada Austenit karena banyak atom Cr yang masuk sebagai larutan padat. Secara umum, Ferrite lebih sulit mengalami dislokasi dibandingkan Austenit. Hal ini membuat deformasi antara ferrite dan Austenit tidak terarah. (Wang, Y.Q, dkk, 2013).

Duplex Stainless Steel memiliki sifat mekanik yang baik dikarenakan memiliki dua fasa, yaitu Austenit dan Ferrit. Pada penelitian yang dilakukan oleh Guo, dkk (2013) mengenai identifikasi fasa Ferrit dan Austenit pada Duplex Stainless Steel menyebutkan bahwa kekerasan Ferrit sebesar 4.41 ± 0.44 GPa sedangkan Austenit 3.57 ± 0.52 GPa. Hal ini juga telah dilaporkan oleh beberapa penelitian sebelumnya bahwa Ferrite lebih keras dibandingkan Austenit.

Menurut Shirzadi (2014), segala sesuatu yang dapat menjadi penghalang terhadap dislokasi pada logam akan meningkatkan kekuatan logam tersebut. Baja Austenitic tidak



dapat dikeraskan melalui perlakuan panas dikarenakan tidak akan terjadi perubahan fasa walaupun dengan pendinginan cepat.

Penguatan melalui larutan padat adalah hal yang paling utama dalam proses penguatan paduan. Unsur yang menyisip akan memberikan efek penguatan yang besar. Namun, larutan padat substitusional juga dapat memberikan efek penguatan (Shirzadi, 2014).

Penguatan Presipitasi dan penguatan secara disperse juga merupakan mekanisme dalam penguatan. Partikel-partikel semacam karbida, nitride dan senyawa intermetalik lainnya yang terdispersi pada matriks Austenit maupun pada batas butir dapat meningkatkan kekuatan paduan. Partikel tersebut menghalangi pergerakan dislokasi sehingga akan meningkatkan kekerasan baja. Penguatan dengan mekanisme ini tergantung pada ukuran partikel. (Shirzadi, 2014).

Hal serupa juga dijelaskan oleh Durand (2003), menurutnya partikel akan bertindak sebagai penghalang terhadap pergerakan dislokasi. Hal ini tergantung pada sifat mekanik partikel, struktur Kristal dan orientasi. Dislokasi pada matriks mungkin akan menggeser presipitat jika ukuran presipitat tersebut kecil. Pada temperatur rendah, partikel-partikel akan memberikan efek penguatan yang terbatas, bahkan partikel ini justru dapat menurunkan kekuatan paduan. Hal ini terjadi pada daerah ferrite dalam duplex stainless steel dan karbida pada material dengan matriks austenit.

Menurut Bain (1966), Karbida akan memberikan efek penguatan apabila memiliki ukuran yang sedang akibat proses annealing. Memang susah menentukan mana yang memberikan efek penguatan yang lebih besar. Untuk menentukan kekerasan karbida, dapat dilihat strukturnya. Kehalusan partikel, bentuk, dan volume karbida yang terdispersi juga menentukan kekerasan karbida.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah:

1. Pengaruh Kadar Kromium dapat meningkatkan Kekerasan Baja Paduan Fe-Cr-Mn. Nilai Kekerasan yang tertinggi terdapat pada Paduan Fe-20Cr-Mn yang memiliki kadar 21.5%Cr dengan nilai kekerasan 255 HB. Naiknya nilai kekerasan ini disebabkan oleh *solid solution strengthening*.
2. Pada Struktur Mikro Baja Paduan Fe-Cr-Mn, pengaruh kadar Kromium adalah terbentuknya fasa Ferrit pada Paduan Fe-20Cr-Mn, hal ini disebabkan karena Kromium adalah Penstabil Ferrit. Namun pada ketiga Paduan yang lain hanya terbentuk fasa Austenit karena Kromium larut dalam fasa Austenit. Karbida yang terbentuk pada Baja Paduan Fe-Cr-Mn disebabkan oleh kadar karbon diatas 0.2%.

5.2 Saran

Penelitian Selanjutnya disarankan:

1. Menggunakan Elektroda selain Grafit untuk menghindari naiknya kadar Karbon pada Paduan.
2. Menggunakan raw material yang mengandung sedikit karbon untuk menghindari terbentuknya Karbida.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran A :

Spesifikasi Material Lebur

Baja AISI 1006

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 1 Material : CARBON STEEL
Customer : ADHA ISORI HARTATA Dimension : -
Lab-no. : UJI BAHAN Heat-no. : -
Operator : ELHAM Ka. Laboratorium : M.THORIQ WAHYUDI
Date: 3/31/2015

Spektralanalyse Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	99.5	0.0376	0.0205	0.211	0.0094	0.0089	0.0304	< 0.0050
2	99.5	0.0373	0.0199	0.208	0.0092	0.0079	0.0253	< 0.0050
3	99.5	0.0324	0.0195	0.211	0.0086	0.0072	0.0270	< 0.0050
Ave	99.5	0.0358	0.0200	0.210	0.0091	0.0080	0.0276	< 0.0050
	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	0.0305	0.0464	< 0.0050	0.0363	0.0103	0.0066	< 0.0050	< 0.0050
2	0.0308	0.0449	< 0.0050	0.0377	0.0122	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050
3	0.0264	0.0450	< 0.0050	0.0384	0.0196	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050
Ave	0.0292	0.0454	< 0.0050	0.0375	0.0140	< 0.0050	< 0.0050	< 0.0050
	Pb							
1	< 0.0050							
2	< 0.0050							
3	< 0.0050							
Ave	< 0.0050							

FerroChrome

CERTIFICATE OF ANALYSIS AND WEIGHT

Our Invoice No. : X 489

Order No. : #0114000243

Material : Low Carbon Ferro Chrome 010

Size : 10 - 50mm (90% min.)

We hereby certify that the weight and the chemical analysis of the above material is as follows:-

Chemical Analysis:

Cr : 69.00%
C : 0.067%
Si : 0.90%
S : 0.010%
P : 0.028%

Weights : 25,000 mt nett in 1 metric ton bulk bags.

Selling ex Vostochny to Jakarta per 'Hyundai Future' Voy. 472 on 4 September 2014.



For and on behalf of
INNOMET

FerroManganese

Name of Goods: MEDIUM CARBON FERRO MANGANESE

Buyer : PT MAKMUR META GRAHA DINAMIKA

JL. ROA MALAKA SELATAN NO. 28/10
JAKARTA 11230

SIMPAC METAL CO. LTD

438 JEONGMI-RO, JEONGMI-M
CHUNGCHONGNAM-DO, 343-

	Chemical Composition(%)					Size(%)			Remarks
	Mn	Si	C	P	S	-10mm	10-50mm	+50mm	
FeMn(MC)	76.25	0.35	1.92	0.201	0.0031	3.30	96.54	0.16	



(halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran B:

Perhitungan Komposisi Paduan

Paduan Fe-14Cr-Mn

Bahan Baku	Komposisi bahan Lebur								Kontribusi terhadap Paduan									
	Fe	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Jumlah (Gram)	Jumlah (%)	Fe	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
AISI 1006	99.5	0.03	0.21	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03	19.34	64.53%	64.21	0.02	0.14	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
FerroChrome	30	0.07	0	0.9	0.03	0.01	69	0	6.07	20.23%	6.08	0.01	0.00	0.18	0.01	0.00	13.97	0.00
FerroMangan	21.3	1.92	76.25	0.35	0.2	0	0	0	2.93	9.78%	2.08	0.19	7.45	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00
Ni	0	0	0	0	0	0	0	99	1.67	5.68%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.51
Subtotal									30.01	100%	72.37	0.22	7.59	0.23	0.03	0.01	13.99	5.53

Paduan Fe-16Cr-Mn

Komposisi bahan Lebur										Kontibusi terhadap Paduan									
		Fe	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Jumlah (Gram)	Jumlah (%)	Fe	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
Bahan Baku										18.46	61.59%	61.29	0.02	0.13	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
AISI 1006		99.5	0.03	0.21	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03	6.94	23.16%	6.85	0.02	0.00	0.21	0.01	0.00	15.98	0.00
FerroChrome		30	0.07	0	0.9	0.03	0.01	69	0	2.93	9.28%	2.08	0.19	7.45	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00
FerroMangan		21.3	1.92	76.25	0.35	0.2	0	0	0	1.67	5.77%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.51
Ni		0	0	0	0	0	0	0	99	30	100%	70.32	0.22	7.58	0.25	0.03	0.01	16.00	5.53
Subtotal										180	100%	180.32	0.22	7.58	0.25	0.03	0.01	16.00	5.53

Paduan Fe-18Cr-Mn

Komposisi bahan Lebur										Kontribusi terhadap Paduan									
Bahan Baku	Fe	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Jumlah (Gram)	Jumlah (%)	Fe	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	
AISI 1006	99.5	0.03	0.21	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03	17.61	58.76%	58.46	0.02	0.12	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
FerroChrome	30	0.07	0	0.9	0.03	0.01	69	0	7.81	26.06%	7.82	0.02	0.00	0.23	0.01	0.00	17.98	0.00	0.00
FerroMangan	21.3	1.92	76.25	0.35	0.2	0	0	0	2.93	9.78%	2.08	0.19	7.45	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0	0	0	0	0	0	0	99	1.67	5.56%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.51
Subtotal									30.02	100%	68.37	0.22	7.58	0.28	0.03	0.01	18.00	5.52	

Paduan Fe-20Cr-Mn

Komposisi bahan Lebur										Kontribusi terhadap Paduan									
Bahan Baku	Fe	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Jumlah (Gram)	Jumlah (%)	Fe	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	
AISI 1006	99.5	0.03	0.21	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03	16.74	55.86%	55.58	0.02	0.12	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
FerroChrome	30	0.07	0	0.9	0.03	0.01	69	0	8.68	28.96%	8.69	0.02	0.00	0.26	0.01	0.00	19.98	0.00	0.00
FerroMangan	21.3	1.92	76.25	0.35	0.2	0	0	0	2.93	9.78%	2.08	0.19	7.45	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0	0	0	0	0	0	0	99	1.67	5.56%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.51
Subtotal									30.02	100%	66.35	0.22	7.57	0.31	0.03	0.01	20.00	5.52	

Lampiran C:

Hasil Pengujian OES

Paduan Fe-14Cr-Mn



UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No : SS 200 14 Cr

Customer :

Furnace :

Name of Equipment :

Heat No :

Order No :

Lab. No : 28122015/03

Material :

Spektralanalyzer Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn
1	73,9	0,239	0,553	5,12
Ave	73,9	0,239	0,553	5,12

P	S	Cr	Mo	Ni
0,0474	< 0,0007	13,9	0,0214	5,87
0,0474	< 0,0007	13,9	0,0214	5,87

Al	Co	Cu	ND
0,0099	0,0252	0,0344	0,0364
0,0099	0,0252	0,0344	0,0364

Ti	V	W	Pb	Sn
< 0,0010	0,0171	0,0554	< 0,0025	< 0,0005
< 0,0010	0,0171	0,0554	< 0,0025	< 0,0005

B	Ca	Se	N
0,0011	0,0005	< 0,0035	0,0662
0,0011	0,0005	< 0,0035	0,0662

Town
Gresik

Date
28/12/2015

Tester
Agung Setiawan

QC Manager
Ribut Setiawan ST

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123
Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666
Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id

Paduan Fe-16Cr-Mn



barata indonesia
PT. BARATA INDONESIA

UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No : 03

Customer :

Furnace :

Name of Equipment :

SS 200 16Cr

Heat No :

Order No :

Lab. No : 22122015/00

Material :

Spekโตรanalyzer Foundry-MASTER Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
1	72,4	0,306	1,14	3,06	0,0330	0,0110	16,9	< 0,0050	5,93
Ave	72,4	0,306	1,14	3,06	0,0330	0,0110	16,9	< 0,0050	5,93

	Al	Co	Cu	NO	Ti	V	W	Fe
1	< 0,0050	0,0244	0,0317	0,0191	< 0,0050	0,0347	0,0217	< 0,0050
Ave	< 0,0050	0,0244	0,0317	0,0191	< 0,0050	0,0347	0,0217	< 0,0050

Town
Gresik

Date
22/12/2015

Tester
Firmanayah

QC. Manager
Ribut Setiawan, ST

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123
Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666
Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id

Paduan Fe-18Cr-Mn

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
LABORATORIUM DT NDT

OES Chemical Results

Sample ID : 18Cr

Material :

Customer :

Dimension :

Lab-no. :

Heat-no. :

Operator :

Ka. Laboratorium :

Date : 18.12.2015

Spektralanalyse Foundry-MASTER Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1	66.0	0.456	0.971	4.24	0.0339	0.0100	19.4	< 0.0050
2	67.9	0.425	0.974	4.30	0.0310	0.0093	19.6	< 0.0050
3	67.8	0.405	0.947	4.35	0.0284	0.0069	19.7	< 0.0050
Ave	67.9	0.429	0.964	4.30	0.0311	0.0088	19.6	< 0.0050

	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
1	6.52	0.112	0.0201	0.0323	0.0162	0.0053	0.0138	0.0120
2	6.45	0.0705	0.0193	0.0310	0.0185	< 0.0050	0.0162	0.0102
3	6.50	0.0533	0.0198	0.0316	0.0220	< 0.0050	0.0168	0.0083
Ave	6.49	0.0789	0.0198	0.0316	0.0189	< 0.0050	0.0163	0.0102

	Pb
1	0.0099
2	0.0123
3	0.0093
Ave	0.0105

Kampus ITS Sukolilo
H. Yudianto Mestika

Paduan Fe-20Cr-Mn



barata indonesia
PT. BARATA

UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No : SS 200 20Cr

Customer :

Furnace :

Name of Equipment :

Heat No :

Order No :

Lab. No : 28122015/00

Material :

Spectrophotometer Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	Ni
1	65,8	0,290	1,07	4,07	0,0403	< 0,0007	21,5	0,0127	5,79
Ave	65,8	0,290	1,07	4,07	0,0403	< 0,0007	21,5	0,0127	5,79
	Al	Co	Cu	BB	Ti	V	W	Pb	Sn
1	0,0154	0,0252	0,0192	0,0246	0,0072	0,0107	0,0089	< 0,0025	0,0039
Ave	0,0154	0,0252	0,0192	0,0246	0,0072	0,0107	0,0089	< 0,0025	0,0039
	B	Ca	Se	N					
1	< 0,0003	0,0005	< 0,0035	> 1,00					
Ave	< 0,0003	0,0005	< 0,0035	> 1,00					

Town
Gresik

Date
28/12/2015

Tester
Agung Setiawan

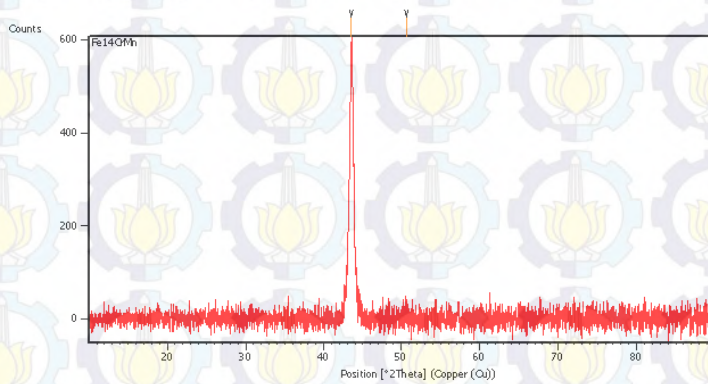
QC. Manager
Ribut Setiawan ST

Jl VETERAN No. 241 GRESIK 61123
Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666
Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id

Lampiran D:

Hasil Pengujian XRD

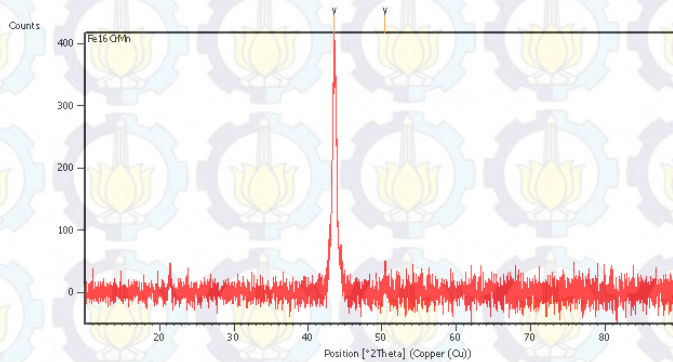
Paduan Fe-14Cr-Mn



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.4856	571.96	0.3011	2.08113	100.00
50.5618	48.44	0.6691	1.80524	8.47

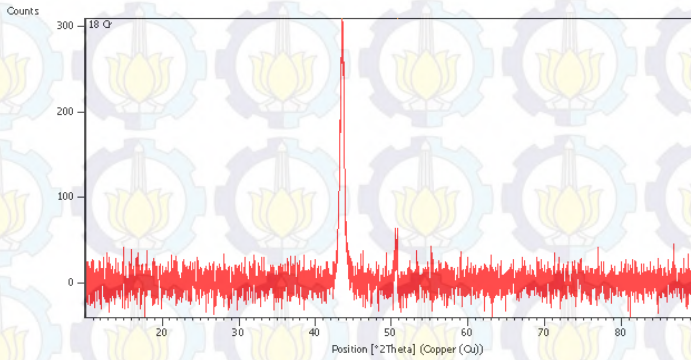
Paduan Fe-16Cr-Mn



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.5241	377.90	0.4684	2.07938	100.00
50.3978	54.70	0.9368	1.81072	14.47

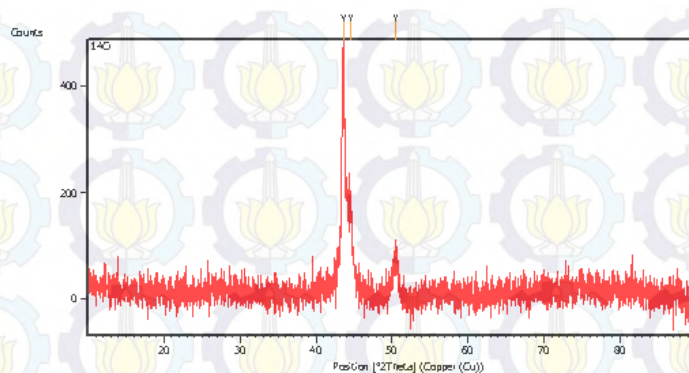
Paduan Fe-18Cr-Mn



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.4973	295.73	0.3680	2.08060	100.00
50.7385	99.16	0.4684	1.79936	33.53

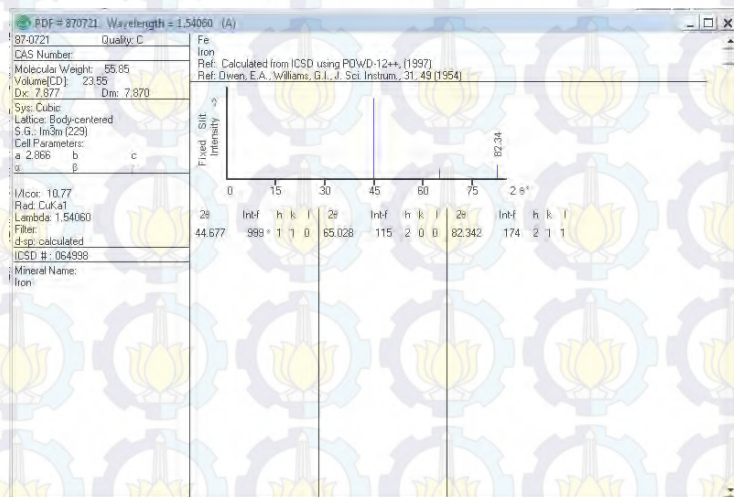
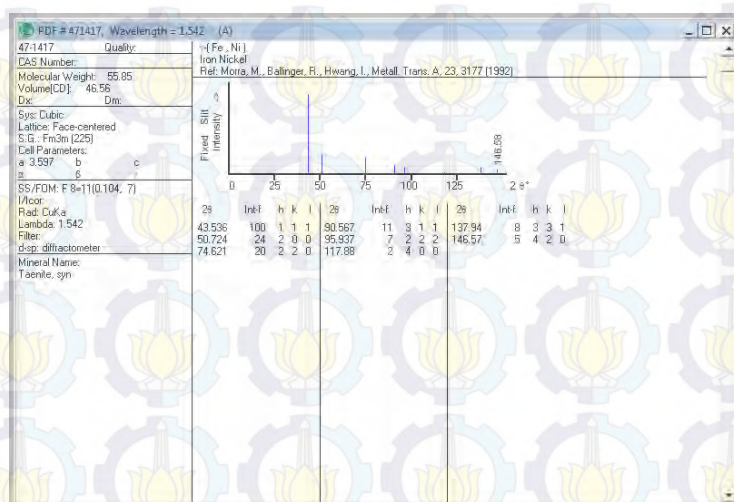
Paduan Fe-20Cr-Mn



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
43.5398	435.53	0.2342	2.07867	100.00
44.5656	154.81	0.3346	2.03318	35.55
50.5456	79.79	0.5353	1.80578	18.32

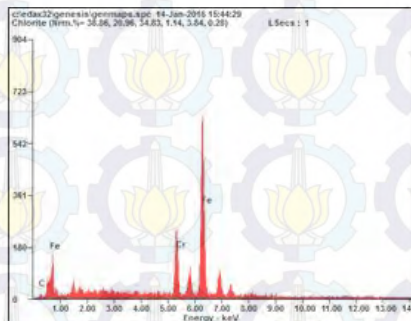
PDF Card



Lampiran E:

Hasil Pengujian EDX

Paduan Fe-14Cr-Mn



Element	Wt%	At%
CK	01.08	04.77
CrK	19.30	19.88
FeK	79.42	75.35
Matrix	Correction	ZAF



Dokumentasi

Raw Material



Baja AISI 1006



FerroChrome



FerroMangan

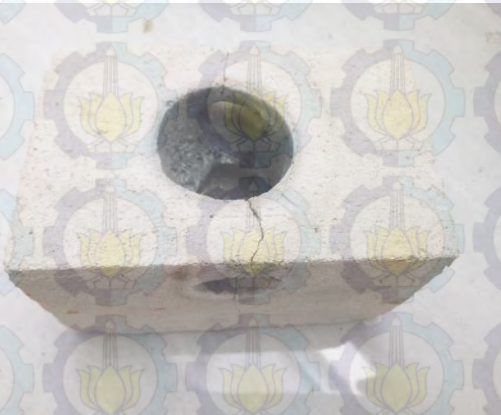


Nikel Sheet

Electric Arc Furnace



Insulating Brick



Dimensi Insulating Brick (p_xl_xt = 23x7x6 cm)

Pemasangan Furnace pada Panel Listrik



Proses Peleburan



Logam yang telah lebur



DAFTAR PUSTAKA

- _. 2004. **ASTM International. Standard Specification for Chromium-Nickel Stainless Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and General Applications.**
- _. 2005. **ASM Metal Handbook, Vol 1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys.** The Materials Information Company
- Al-Zoubi, N., Li, X., Schonecker, S., Johansson, B., Vitos, L. (2014). Influence of Manganese on the bulk properties of Fe-Cr-Mn alloys: a first-principles study. **Physica Scripta** 89: 1-5
- Avner, S. H. (1974). **Introduction to Physical Metallurgy.** New York: McGraw-Hill International Book Company
- Baddo, N. (1997). **Architect's Guide to Stainless Steel.** Berkshire: The Steel Construction Institute.
- Baghbadorani, H.S. Kermanpur, A., Najafizadeh, A. Behjati, P., Rezaee, A., Moallemi, M. (2015). An Investigation on microstructure and mechanical properties of Nb-microalloyed nano/ultrafine grained 201 austenitic stainless steel. **Materials Science & Engineering.** A636: 593-599
- Bain, C. E. (1966). **Alloying elements in steel.** New York: American Society for Metals.
- Baldissin, D., Battezzati, L (2006). Multicomponent phase selection theory applied to high nitrogen and high

manganese stainless steels. **Scripta Materialia** 55: 839-842

Boss, C. B. (2004). **Concepts, Instrumentation and Techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy**. Shelton: PerkinElmer

Callister, W. D. (2009). **Materials Science and Engineering An Introduction 8th Edition**. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.

Cardarelli, F. (2008). **Materials Handbook A Concise Desktop Reference Second Edition**. London: Springer.

Chen, S. R., Davies, H. A., Rainforth, W. M. (1999). Austenite Phase Formation in Rapidly Solidified Fe-Cr-Mn-C Steels. **Acta Mater.** Vol. 47: 4555-4569

Creese, R. C. (1999). **Introduction to Manufacturing Processes and Materials**. New York: Marcel Dekker, Inc.

Durand, M., (2003). **Microstructure of Steels and Cast Irons**. Springer: Paris.

Groover, M.P. (2007). **Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems** Third Edition. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.

Guertin, J. (2005). **Chromium (VI) Handbook**. New York: CRC Press.

Guo, L.Q, Lin, M.C., Qiao, L.J., Volinsky, A.A. (2013). Ferrite and Austenite Phase Identification in Duplex Stainless Steel using SPM Technique. **Applied Surface Science** 287: 499-501

Iron & Steel Society. (1999). **Steel Products Manual: Stainless Steels**. Conshohocken: Warrendale, PA.

Kaufmann, E.N. (2003). **Characterization Of Materials: Volumes 1 and 2**. Hoboken: John Wiley & Sons.

Khatak, H. (2002). **Corrosion of Austenitic Stainless Steels: Mechanism, Mitigation and Monitoring**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Kubaschewski, O. (1982) **Iron-Binary Phase Diagrams**. Berlin: Springer

Lee, T., Lee, Y., Joo, S., Nersisyan, H., Park, K., Lee, J. (2015). Intergranular $M_{23}C_6$ Carbide Precipitation Behaviour and Its Effect on Mechanical Properties of Inconel 690 Tubes. **Metallurgical And Materials Transactions A**. Volume 46A. 4020-4026

Rahimi, R. De Cooman, B.C., Biermann, H., Mola, J. (2014). Microstructure and mechanical properties of Al-alloyed Fe-Cr-Ni-Mn-C stainless steels. **Materials Science & Engineering A** 618: 46-55

Rahimi, R. Ullrich, C., Klemm, V., Rafaja, D., De Cooman, B.C., Biermann, H., Mola, J. (2015). Influence of Al on temperature dependence of strain hardening behaviour and glide planarity in Fe-Cr-Ni-Mn-C austenitic stainless steels. **Materials Science & Engineering A** 649: 301-312.

Rawers, J. C. (2008). Alloying effects on the Microstructure and Phase Stability of Fe-Cr-Mn Steels. **J Mater Sci** 43: 3618-3624

Seetharman, S. (2014). **Treatise on Process Metallurgy Industrial Processes, Part A**. Oxford: Elsevier.

Shirzadi, A., Jackson, S. (2014). **Structural Alloys for Power Plants: Operational Challenges and High-Temperature Materials**. Cambridge: Elsevier.

Stepanov, N.D., Shaysultaov, D.G., Tikhonovsky, M.A., Salishchev, G.A. (2015). Tensile Properties of the Cr-Fe-Ni-Mn non-equiatomic multicomponent alloys with different Cr contents. **Materials and Design** 87: 60-65

Sudhakaran, R., Sivasakthivel, P.S., Nagaraja, S., Eazhil, K.M. (2014). The Effect of Welding Process Parameters on Pitting Corrosion and Microstructure of Chromium-Manganese Stainless Steel Gas Tungsten Arc Welded Plates. **Procedia Engineering** 97: 790-799.

Surdia, T. (1999). **Pengetahuan Bahan Teknik**. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Wang, Y.Q., Han, J., Yang, B., Wang, X.T. (2013). Strengthening of σ Phase in a Fe20Cr9Ni Cast Austenite Stainless Steel. **Materials Characterization**. 84: 120-125.

Zheng, L., Hu, X., Kang, X., Li, D. (2015). Precipitation of $M_{23}C_6$ and Its Effect on Tensile Properties of 0.3C-20Cr-11Mn-1Mo-0.35N Steel. **Materials and Design** 78: 42-50

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Ali Yafi. Sehari-hari penulis dipanggil Aal. Dilahirkan dari keluarga sederhana oleh pasangan bernama Ali Muntasir dan Budi Rahayu Ningsih pada tanggal 27 September 1994. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN 1 Temuguruh (2000-2006), SMPN 1 Sempu (2006-2009), SMAN 2 Genteng (2009-2012) dan menjalani dunia perkuliahan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS mulai 2012.

Di dunia kampus, penulis aktif sebagai Staff BSO Minat Bakat HMMT FTI-ITS. Selain aktif sebagai staff, penulis juga aktif di kegiatan kampus lainnya misalnya sebagai Panitia Silver Parade IV, Panitia Pemilihan Umum Ketua HMMT FTI-ITS 2013-2014 maupun kegiatan yang lainnya. Di tahun ketiga, penulis menjabat sebagai Direktur BSO Minat Bakat HMMT FTI-ITS. Di bidang akademik, penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium Metalurgi untuk mata kuliah Teknologi Cor pada tahun 2015. Di tahun yang sama, penulis mengerjakan tugas akhir dengan judul “Pengaruh Kadar Kromium (Cr) Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Paduan Fe-Cr-Mn Melalui Proses Peleburan”

Ali Yafi

Aalmt14@gmail.com

0857 4654 7018