



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR – TL184834

REVIEW

**PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN ARTIFICIAL
AGING AUSTENITIC MANGANESE STEELS TERHADAP SIFAT
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO**

**MOCHAMMAD NABIL RHEZA WIBAWA
NRP. 0251164000074**

**Dosen Pembimbing
Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.
Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**



TUGAS AKHIR – TL 184834

**REVIEW
PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN
ARTIFICIAL AGING AUSTENITIC MANGANESE
STEELS TERHADAP SIFAT KEKERASAN DAN
STRUKTUR MIKRO**

**MOCHAMMAD NABIL RHEZA WIBAWA
NRP. 0251164000074**

**Dosen Pembimbing
Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.
Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL 184834

REVIEW

**THE EFFECT OF TEMPERATURE AND HOLDING TIME
ARTIFICIAL AGING AUSTENITIC MANGANESE
STEELS ON HARDNESS AND MICROSTRUCTURE**

MOCHAMMAD NABIL RHEZA WIBAWA
NRP. 0251164000074

Supervisors

Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.

Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

(This page is intentionally left blank)

REVIEW
PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN
ARTIFICIAL AGING AUSTENITIC MANGANESE
STEELS TERHADAP SIFAT KEKERASAN DAN
STRUKTUR MIKRO

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

Mochammad Nabil Rheza Wibawa
NRP 0251164000074

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc. (Pembimbing I)
2. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T. (Pembimbing II)



SURABAYA
AGUSTUS 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

REVIEW
PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN
ARTIFICIAL AGING AUSTENITIC MANGANESE
STEELS TERHADAP SIFAT KEKERASAN, DAN
STRUKTUR MIKRO

Nama : Mochammad Nabil Rheza Wibawa
NRP : 0251164000074
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing I : Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.
Pembimbing II : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

Abstrak

Penggunaan austenitic manganese steel sebagai material komponen alat pertambangan dan Asphalt Mixing Plant (AMP) sering mengalami kegagalan beroperasi di lapangan. Salah satu variabel yang menentukan kegagalan tersebut adalah ketidaksesuaian kriteria sifat mekanik dan proses pembuatan baja mangan austenitik berdasarkan standar ASTM A-128. Berdasarkan standar tersebut sifat mekanik berupa nilai kekerasan yang diharapkan pada baja mangan sebesar 209-215 HB. Sifat mekanik itu sendiri dapat kita modifikasi melalui perlakuan panas berupa solution treatment, quenching dan aging yang dapat divariasikan dengan temperatur dan waktu tahan pemanasan. Pada hasil penelitian yang dilakukan, ditemukan bahwa pada perlakuan solution treatment diatas temperatur austenisasi 1000°C membuat karbida terlarut ke dalam matriks austenit yang dimana akan menurunkan sifat kekerasannya. Hal ini sangat bergantung pada waktu tahan pemanasannya. Apabila waktu tahan dari temperatur tersebut dipercepat maka pelarutan karbida pada struktur mikro menjadi terhambat. Sehingga nilai kekerasan pada spesimen berkisar 255 HB. Namun, apabila spesimen diberikan perlakuan aging pada temperatur antara 500°C - 600°C dengan waktu tahan selama 2 jam maka akan terjadi proses pembentukan presipitat karbida halus yang menyebar pada

matriks fasa austenit baja mangan austenitik dengan nilai kekerasan sebesar 108 HRB atau setara dengan 322 HB.

Kata Kunci : *austenitic manganese steel, artificial aging, solution treatment, aging, struktur mikro, kekerasan.*

REVIEW

THE EFFECT OF TEMPERATURE AND HOLDING TIME ARTIFICIAL AGING AUSTENITIC MANGANESE STEELS ON HARDNESS AND MICROSTRUCTURE

Student Name : Mochammad Nabil Rheza Wibawa
NRP : 0251164000074
Department : Material and Metallurgical Engineering
Supervisor : Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.
Co-Supervisor : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

Abstract

The use of austenitic manganese steel as a component of mining equipment and Asphalt Mixing Plant (AMP) is often used to improve safety in the field. One of the variables that determine that this is a failure of the criteria for mechanical properties and the process of making manganese steel based on the ASTM A-128 standard. Based on these standards, hardness properties consist of expected values in manganese steel of 209-215 HB. The mechanical properties themselves can be modified through heat treatment consisting of solution treatment, quenching, and aging, which can be varied with temperature and holding time. In the results of research, it was found that at the temperature required, a solution treatment above 1000°C made the carbide dissolved in the austenite matrix, which would reduce its hardness properties. This depends on the holding time. If the holding time of this temperature is accelerated, then the dissolution of carbides in the microstructure is inhibited. The optimum hardness value obtained by the specimen is given a heat treatment solution with a short holding time of 255 HB. However, if the specimen is treated aging at temperatures between 500°C - 600°C with a holding time of 2 hours, the process of forming fine carbide precipitates which spreads on the austenitic manganese steel austenitic phase matrix with a hardness value of 108 HRB or equal to 322 HB.

Keywords: *austenitic manganese steel, artificial aging, solution treatment, aging, microstructure, hardness.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. Yang telah melimpahkan rahmat hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan baik dan tepat waktu.

Selama penyusunan laporan ini, penulis mendapat bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada kepada:

1. Allah SWT yang memberikan ilmu, kesempatan, kesehatan, dan kelancaran dalam serangkaian tugas akhir.
2. Ayah, Ibu, dan kakak yang memberikan dorongan motivasi.
3. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si, M.Si, PhD. selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi.
4. Ibu Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc. dan Bapak Mavindra Ramadhani, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.

Penulis mengharapkan kritik dan saran membangun supaya mampu memberikan manfaat penelitian dan pengembangan di masa mendatang.

Surabaya, 22 Juli 2020
Penulis

Moch. Nabil Rheza W

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
Abstrak	vii
Abstract	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Review Jurnal.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Review Jurnal.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Baja.....	3
2.1.1 Baja Paduan.....	4
2.1.2 <i>Austenitic Manganese Steel</i>	4
2.2 Karbon (C).....	5
2.3 Mangan.....	6
2.4 Perlakuan Panas.....	7
2.4.1 <i>Solution Treatment</i>	9
2.4.2 <i>Quenching</i>	10
2.4.3 <i>Artificial Aging</i>	12
2.4.4 <i>Tempering</i>	13
2.5 Pengujian Sifat Mekanik.....	14
2.5.1 Uji Impak.....	15
2.5.2 Uji Kekerasan.....	15
2.5.3 Uji Metalografi.....	17
2.5.5 Uji <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	18
2.5.6 Uji <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	19
BAB III METODOLOGI REVIEW JURNAL	
3.1 Diagram Alir.....	21
3.2 Metode Review Jurnal.....	22

3.3	Ruang Lingkup Pembahasan Jurnal.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	<i>Solution Treatment</i>	25
4.1.1	Temperatur	25
4.1.2	Waktu Tahan	33
4.2	<i>Artificial Aging</i>	47
4.2.1	Temperatur	47
4.2.2	Waktu Tahan	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	67
5.2	Saran	67
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN		73
UCAPAN TERIMA KASIH		77
BIODATA PENULIS		79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram fasa Fe-Fe ₃ C.....	3
Gambar 2.2	Diagram fasa biner Fe-Mn.....	7
Gambar 2.3	<i>Precipitation hardening</i> pada baja paduan Al-Cu	8
Gambar 2.4	Diagram fasa Fe, 13 %Mn-C <i>austenitic manganese steel</i>	10
Gambar 2.5	Pengaruh <i>quenching</i> temperatur terhadap sifat kekerasan baja hadfield	11
Gambar 2.6	Tiga tahapan dalam proses <i>quenching</i>	12
Gambar 2.7	Deformasi indenter kekerasan. (a) <i>modeling clay</i> . (b) <i>low carbon steel</i>	16
Gambar 2.8	Pengujian vickers.....	17
Gambar 2.9	Mekanisme mikroskop optik.....	18
Gambar 2.10	Prinsip Kerja <i>X-Ray Diffraction</i>	19
Gambar 2.11	Skema interaksi antara bahan dan elektron di dalam SEM	20
Gambar 3.1	Diagram alir	22
Gambar 4.1	Diagram fasa Fe, 13 %Mn-C <i>austenitic manganese steel</i>	25
Gambar 4.2	Hasil pengujian XRD pada <i>austenitic manganese steel</i> (a) 950°C, (b) 1000°C dan (c) 1050°C.....	26
Gambar 4.3	Hasil struktur mikro perlakuan <i>solution treatment</i> (a) 1000°C dan (b) 1050°C	27
Gambar 4.4	Hasil pengujian sifat kekerasan pada proses perlakuan panas <i>solution treatment</i>	28
Gambar 4.5	Hasil struktur mikro pada perbesaran 200X : (a) struktur mikro Mn 8,6 % (b) struktur mikro Mn 11 % (c) struktur mikro Mn 13,5 %.....	29
Gambar 4.6	Grafik nilai kekerasan terhadap penambahan prosentase unsur mangan.....	30

Gambar 4.7 Nilai kekerasan pada baja mangan dengan temperatur austenisasi pada proses <i>solution treatment</i> 950°C, 1000°C 1050°C.	31
Gambar 4.8 Struktur mikro baja mangan hasil perlakuan panas pada ketiga spesimen.....	32
Gambar 4.9 Hasil struktur mikro pada perbesaran 50X : (a) Tanpa perlakuan (b) <i> Holding</i> 30 menit (c) <i> Holding</i> 60 menit (d) <i> Holding</i> 120 menit : dengan menggunakan etsa gliseria.	34
Gambar 4.10 Hasil pengujian kekerasan pada spesimen	35
Gambar 4.11 Struktur mikro <i>as-cast</i> pada baja mangan.....	37
Gambar 4.12 Perlakuan panas pada temperatur 1100 °C ditahan 2 jam pendinginan air diagitasi	38
Gambar 4.13 Perlakuan panas bertahap pada 700°C ditahan 3 jam dinaikan ke temperatur 1000°C ditahan 1,5 jam pendinginan air diagitasi	39
Gambar 4.14 Perlakuan panas bertahap pada 600°C ditahan 10 jam dinaikan ke temperatur 980°C ditahan 2 jam pendinginan air diagitasi	40
Gambar 4.15 Hasil nilai kekerasan pada spesimen.....	41
Gambar 4.16 Hasil nilai impak pada spesimen.....	43
Gambar 4.17 Hasil struktur mikro pada spesimen perbesaran 200X : (a) Ketebalan 2 in perlakuan panas pada temperatur 1050°C, <i>holding time</i> selama 3 (b) Ketebalan 4 in hasil pengecoran (<i>as-cast</i>)	45
Gambar 4. 18 Nilai kekerasan dari spesimen.....	46
Gambar 4.19 Hasil struktur mikro dari spesimen <i>as-cast</i>	47
Gambar 4.20 Hasil Struktur mikro spesimen <i>aging</i> temperatur 250°C dengan waktu tahan 60 menit	48
Gambar 4.21 Hasil Struktur mikro spesimen <i>aging</i> temperatur 450°C dan 550°C dengan waktu tahan 60 menit	49

Gambar 4.22	Hasil pengujian kekerasan pada spesimen perlakuan <i>aging</i>	50
Gambar 4.23	Hasil pengujian <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) pada spesimen perlakuan <i>aging</i> dengan temperatur (a) 550°C dan (b) 600°C.....	51
Gambar 4.24	Hasil pengujian struktur mikro pada spesimen perlakuan <i>aging</i> dengan temperatur (a) 500°C dan (b) 650°C.....	52
Gambar 4.25	Hasil pengujian kekerasan pada spesimen	53
Gambar 4.26	Perkembangan struktur mikro pada pemanasan 1050°C dengan waktu tahan selama 1 jam – <i>water quench</i>	54
Gambar 4.27	Perkembangan struktur mikro pada pemanasan 400°C dengan waktu tahan selama 2 jam – <i>water quench</i>	55
Gambar 4.28	Perkembangan struktur mikro pada pemanasan 450°C dengan waktu tahan selama (a) 30 menit dan (b) 60 menit – <i>water quench</i>	56
Gambar 4.29	Perkembangan struktur mikro pada pemanasan 500°C dengan waktu tahan selama (a) 30 menit dan (b) 45 menit – <i>water quench</i>	56
Gambar 4.30	Perkembangan struktur mikro pada pemanasan 550°C dengan waktu tahan selama (a) 15 menit dan (b) 30 menit – <i>water quench</i>	57
Gambar 4.31	Perkembangan struktur mikro pada pemanasan 550°C dengan waktu tahan selama 45 menit – <i>water quench</i>	58
Gambar 4.32	Perkembangan struktur mikro pada pemanasan 600°C dengan waktu tahan selama (a) 10 menit dan (b) 20 menit – <i>water quench</i>	59

Gambar 4.33	Variasi nilai kekerasan dengan temperatur aging dan waktu tahan pada spesimen uji.....	60
Gambar 4.34	Hasil pengujian kekerasan pada spesimen penelitian	62
Gambar 4.35	Hasil pengujian struktur mikro pada spesimen perlakuan <i>aging</i> dengan temperatur 700°C dengan waktu tahan (a) 1 jam, (b) 2 jam dan (c) 3 jam	63
Gambar 4.36	Hasil struktur mikro proses aging pada temperatur 700 °C dengan perbesaran 400X : (a) <i> Holding</i> 1 jam (b) <i> Holding</i> 2 jam (c) <i> Holding</i> 3 jam	63
Gambar 4.37	Hasil struktur mikro proses aging pada temperatur 600°C dengan perbesaran 400X : (a) <i> Holding</i> 1 jam (b) <i> Holding</i> 2 jam (c) <i> Holding</i> 3 jam	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat mekanik pada penambahan karbon austenitic manganese steel	6
Tabel 3.1 Metode penelitian pada <i>paper review</i>	23
Tabel 4.1 Sifat mekanik ASTM A128 Grade B-4	41
Tabel 4.2. Variasi waktu tahan, temperatur dan dimensi ketebalan pada spesimen	44
Tabel 4.3 Variabel penelitian yang dilakukan	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Austenitic manganese steel atau biasa juga disebut sebagai baja hadfield mempunyai kandungan unsur mangan antara 10-14% dan karbon 1,0-1,4%. Saat ini *austenitic manganese steel* banyak dipergunakan untuk peralatan-peralatan yang mampu menahan beban impact yang berat ataupun untuk komponen-komponen yang mengalami gesekan pada saat beroperasi (Tasker, 2017).

Austenitic manganese steel merupakan material yang dignakan untuk membuat komponen *jaw plate* dari mesin *jaw crusher* yang berfungsi untuk menghancurkan batuan dan mineral yang terdapat di daerah pertambangan. Pemakaian komponen *jaw plate* sering mengalami permasalahan di lapangan, yaitu umur pakai yang tidak sesuai dengan rancangan desain. Sehingga menyebabkan kegagalan komponen seperti yang terjadi di beberapa industri pertambangan dan *asphalt mixing plant* (AMP) (Pratomo, 2016)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Olawale,dkk pada tahun 2013, ditemukan nilai optimal jumlah tonase batu yang dapat dihancurkan sebelum terjadinya kegagalan oleh komponen *jaw plate* adalah sebesar 7800 tonase. Pada kenyataanya di lapangan masih banyak yang tidak memenuhi nilai optimal jumlah tonase tersebut dengan nilai rata-rata 4501 tonase.

Parameter yang paling berpengaruh terhadap kegagalan *komponen jaw plate* salah satunya adalah proses perlakuan panasnya. Proses perlakuan panas sendiri memiliki variabel penting didalamnya, salah satunya adalah temperatur dan waktu tahan pemanasan. Sehingga pada review jurnal ini akan membahas pengaruh parameter perlakuan panas tersebut terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro untuk bahan komponen *jaw plate* yakni *austenitic manganese steels*.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam review jurnal ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh temperatur pada proses artificial aging terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro austenitic manganese steel ?
2. Bagaimana waktu tahan pada proses artificial aging terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro austenitic manganese steel ?

1.3 Tujuan Review Jurnal

Adapun tujuan dalam review jurnal ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh temperatur pada proses artificial aging terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro austenitic manganese steel.
2. Menganalisis pengaruh waktu tahan pada proses artificial aging terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro austenitic manganese steel.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam review jurnal ini adalah sebagai berikut :

1. *Cooling rate* pada setiap proses perlakuan solution treatment dan *artificial aging* dianggap sama.
2. Waktu *delay time* pada proses *quenching* dianggap sama.

1.5 Manfaat Review Jurnal

Review jurnal ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Untuk pengembangan ilmu pengetahuan di bidang metalurgi khususnya di lingkungan Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS.
2. Memberikan refrensi untuk penelitian selanjutnya.

Besi dan baja sering digunakan sebagai pilihan utama pada bahan industri karena sifat-sifatnya yang beraneka ragam. Bahan tersebut memiliki sifat dari yang paling lunak sampai keras, tajam seperti pisau pemotong atau dapat dibentuk dengan dimensi apapun yang dapat dilakukan melalui proses pengecoran. Dari unsur besi kita dapat merekayasa struktur logam dan sifat mekanik yang diinginkan, oleh karena itu besi dan baja disebut sebagai bahan yang kaya akan sifat-sifat (Surdia, 1985).

2.1.1 Baja Paduan

Baja paduan merupakan baja yang memiliki kadar karbon yang sama dengan baja lunak, tetapi terdapat penambahan sedikit unsur-unsur paduan. Penambahan unsur ini dapat meningkatkan sifat mekanik baja berupa kekuatan baja tanpa harus mengurangi sifat keuletannya. Baja paduan sangat banyak digunakan untuk material kapal, jembatan, roda kereta api, ketel uap, tangki-tangki dan permesinan.

a. Baja Paduan Rendah (*Alloy Steel*)

Low alloy steel atau baja paduan dengan kadar unsur paduan rendah (kurang dari 10%), mempunyai kekuatan dan ketangguhan lebih tinggi daripada baja karbon dengan kekuatan yang sama. *Hardenability* dan sifat tahan korosi pada umumnya lebih baik. Banyak digunakan sebagai baja konstruksi mesin.

b. Baja Paduan Tinggi

High alloy steel baja paduan dengan unsur paduan tinggi, mempunyai sifat khusus tertentu, baja tahan karat (*stainless steel*), baja perkakas (*tool steel*) (Avner, 1974).

2.1.2 Austenitic Manganese Steel

Austenitic manganese steel atau baja mangan adalah salah satu jenis baja paduan yang memadukan sifat mekanik berupa ketangguhan dan keuletan yang tinggi dengan kapasitas pengerasan regangan yang tinggi. Seiring berkembangnya jaman berbagai baja karbon dan baja paduan menjadi bervariasi dan

memiliki keunggulan sifat mekanik yang lebih baik dari baja mangan, tetapi baja mangan tetap menjadi pilihan utama dikarenakan sifat mekanik berupa ketangguhan yang tinggi. Bahkan, baja mangan adalah satu - satunya paduan yang dapat bertahan dalam kondisi layanan parah yang ditemukan pada peralatan peremukan besar yang digunakan dalam penambangan logam dan penggalian batu (Tasker, 1982).

Austenitic manganese steel masih banyak digunakan secara luas dengan variasi komposisi dan perlakuan panas yang berbeda-beda. ASTM A-128 merupakan standard engineer code yang hanya mengizinkan komposisi baja ini memiliki unsur karbon berkisar 1.0 sampai 1.4% dan unsur mangan dari 10 sampai 14%. Pada umumnya baja mangan ini dijual secara komersil dengan komposisi unsur mangan yang jarang mencapai 12% hingga 13%. Hal ini dikarenakan faktor penekanan biaya produksi (Alyaz, 2003).

2.2 Karbon (C)

Karbon merupakan salah satu unsur yang penting didalam *austenitic manganese steel*. pada umumnya rasio standar karbon dan mangan pada baja mangan adalah $Mn/C=10/1$ yang dimana apabila unsur mangan (Mn) 12% maka unsur karbon (C) 1.2%. Penambahan unsur karbon(C) pada suatu baja akan meningkatkan sifat mekanik berupa kekuatan luluh dan ketahanan aus (Havel, 2017). Kandungan unsur karbon tinggi diatas 1.25% akan membentuk baja yang memiliki sifat getas karena adanya pembentukan karbida pada batas butir ataupun bidang kristalografi pada baja. karbida selalu terbentuk pada semua tipe *as-cast* dengan karbon (C) diatas 1% saat proses pendinginan lambat maupun proses *quenching* yang tidak sempurna. Ketika unsur karbon dalam baja dinaikkan akan terjadi penurunan sifat mekanik berupa kekuatan tarik dan keuletan (Alyaz, 2003). Berikut merupakan sifat mekanik pada penambahan karbon austenitic manganese steel pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat mekanik pada penambahan karbon austenitic manganese steel (Tasker, 1982)

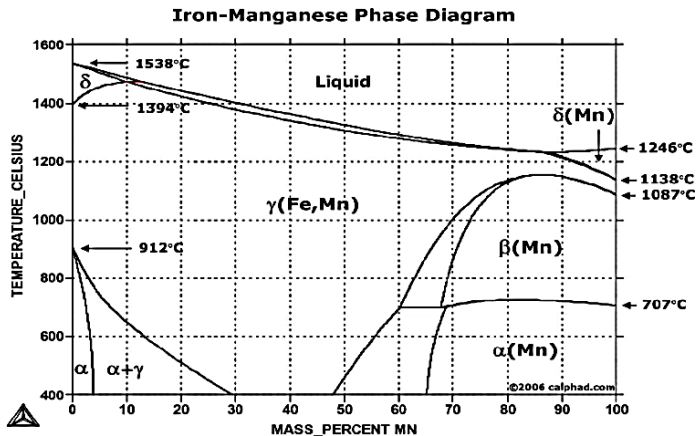
<i>ASTM A128 Grade</i>	<i>Carbon Content (%)</i>	<i>150 mm Section size</i>			
		<i>Yield Strength (Mpa)</i>	<i>Tensile Strength (Mpa)</i>	<i>Elongation (%)</i>	<i>Charpy (J)</i>
B1	1.00	-	-	-	-
B2	1.15	307	480	22	125
B3	1.20	322	505	19	98
B4	1.30	353	510	12	50
C	1.20	408	550	13	47
D	0.80	-	-	-	-
E1	0.90	310	542	43	139
E1	1.15	353	484	23	132
E2	1.25	416	600	14	38
F	1.30	374	529	5	13
F-modified	0.90	325	421	12	41

2.3 Mangan

Mangan memiliki unsur dengan simbol, Mn yang berasal dari Bahasa latin, magnes dengan memperlihatkan sifat magnetik dari pyrolusit. Memiliki 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).

Mangan adalah unsur penstabil austenit karena membantu mempertahankan struktur austenitik sepenuhnya pada temperatur kamar. Peningkatan komposisi mangan pada suatu paduan akan cenderung meningkatkan sifat kelarutan nitrogen dan hidrogen. Batas komposisi mangan dalam austenitic manganese steel mendekati 10% (Havel, 2017).

Mangan dengan komposisi 10%-14% pada austenitic manganese steel tidak mempengaruhi sifat mekanik berupa kekuatan luluh, tetapi mempengaruhi sifat mekanik berupa kekuatan tarik dan keuletan. Untuk *austenitic manganese steel* dengan komposisi dibawah 10% akan terjadi penurunan sifat kekuatan tarik, sehingga komposisi 11% unsur mangan merupakan standar minimum kandungan mangan pada baja *austenitic manganese steel* sedangkan nilai komposisi maksimum mangan adalah 20% (Panchal, 2016). Gambar 2.2 dibawah ini merupakan diagram fasa Fe-Mn.



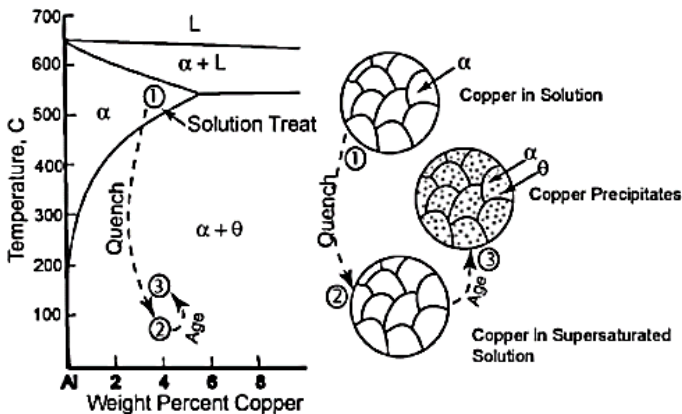
Gambar 2.2 Diagram fasa biner Fe-Mn (Kubaschewski, 1982)

2.4 Perlakuan Panas

Perlakuan panas merupakan proses pemanasan atau pendinginan yang waktu perlakuannya telah diatur pada suatu material dengan komposisi tertentu agar mendapatkan sifat yang diinginkan pada material tersebut. Proses perlakuan panas yang biasa diterapkan pada baja mangan austenitik yaitu *precipitation hardening*. *Precipitation hardening* melibatkan pembentukan gugus atom terlarut yang koheren, yang di mana atom-atom yang terlarut berkumpul ke dalam suatu gugus tetapi masih memiliki

bentuk struktur kristal yang sama dengan fasa pelarut. hal ini mengakibatkan terjadinya ketidakcocokan ukuran antara atom pelarut dan terlarut.

Ketidakcocokan tersebut mengakibatkan terjadinya dislokasi, sehingga ketika dislokasi tersebut terjebak oleh zat terlarut yang koheren akan membentuk paduan yang mengeras dan menguat. Kekuatan tinggi dihasilkan oleh endapan dispersi halus yang terbentuk selama proses presipitasi. Semakin tinggi temperatur pemanasan maka semakin tinggi tingkat presipitasi dan kekerasan maksimum akan dicapai dalam waktu yang singkat. Dapat dilihat Gambar 2.3 merupakan salah satu contoh proses perlakuan panas pada baja paduan Cu-Al.



Gambar 2.3 *Precipitation hardening* pada baja paduan Al-Cu (ASM Handbook Vol 9, 2000)

Precipitation hardening terdiri dari tiga langkah yaitu *solution treatment*, *quenching* dan *aging*. *Solution treatment* adalah proses pemanasan paduan ke temperatur yang memungkinkan atom-atom paduan untuk larut ke dalam suatu larutan sehingga menghasilkan larutan padat yang homogen dari satu fasa. *Quenching* adalah proses mendinginkan larutan dan membekukan atom dalam larutan dengan cepat sehingga atom-atom unsur

paduan tidak memiliki waktu untuk berdifusi keluar dari larutan. *Aging* adalah proses dimana partikel terlarut berdifusi keluar dari larutan untuk menjadi gugus yang merusak dan memberikan kekuatan pada suatu material. (ASM Handbook Vol 4, 2000).

2.4.1 *Solution Treatment*

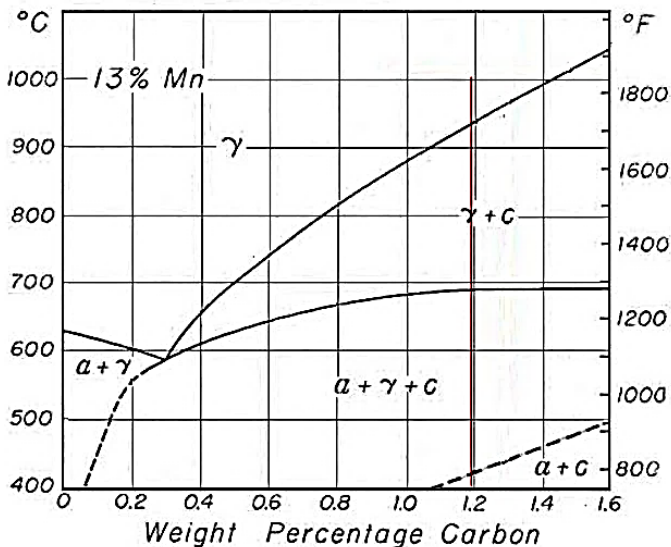
Presipitasi karbida pada baja pada umumnya terbentuk pada temperatur 500 - 800 °C, sehingga untuk melakukan eliminasi presipitasi karbida yang terbentuk pada austenitic manganese steel dapat dilakukan dengan proses *solution treatment* dan *quench* atau yang lebih dikenal dengan *quench annealing*. *Solution treatment* yang dimaksudkan bertujuan untuk melarutkan unsur padu seperti Cu, Mn, dan Mg menjadi larutan padat dengan cara memanaskan paduan pada temperatur dan waktu tertentu. Selain itu juga dapat terjadi pembentukan suatu fasa larutan pada paduan tersebut (Avner, 1974).

Tujuan utama dari *solution heat treatment* adalah mendapatkan *supersaturated solid solution*. Temperatur *solution heat treatment* sedikit di bawah eutektik *melting point*, sangatlah penting untuk menghindari *brittle intrgranular eutectic network*. *Insoluble phase* termasuk impuritas tidak terpengaruh oleh *solution heat treatment*. *Supersaturation* hasil dari proses *quenching* pada temperatur kamar dapat keluar dengan presipitasi zat terlarut secara bertahap, selama proses transisi pada temperatur tinggi difusi dari atom terlarut menyebabkan dislokasi dan distorsi pada kisi kristal sehingga membuat konsentrasi pada *subcritical crystal nuclei*. (J. Gilbert Kaufman 2004).

Solution treatment adalah salah satu proses perlakuan panas yang dilakukan dengan memanaskan baja austenitik sampai 1000 - 1100 °C dan perlakuan panas ini hanya bisa dilakukan untuk material baja austenitik saja. Pada temperatur tersebut semua karbida larut kembali dan austenit menjadi homogen, kemudian dilakukan proses pendinginan cepat dengan media pendingin air. Untuk benda yang tipis/kecil pendinginan udara sudah cukup cepat. Sehingga pada pendinginan cepat ini menyebabkan tidak

terjadinya presipitasi karbida yang terbentuk (Thelning, 1984) Presipitasi adalah penyebaran partikel secara halus dan merata pada suatu fasa paduan (Kalpakjian, 2010)

Tampak pada Gambar 2.4 pada temperatur 500 - 800 °C masih menunjukkan terbentuknya fasa karbida sedangkan pada temperatur diatas 1000 - 1100 °C semua karbida larut dan membentuk fasa austenit yang homogen.

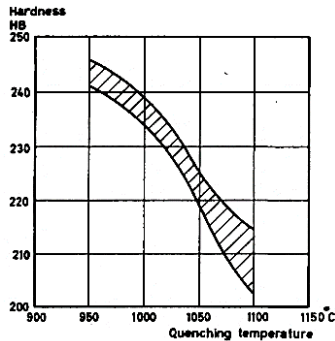


Gambar 2.4 Diagram fasa Fe, 13 %Mn-C austenitic manganese steel (Thelning, 1984)

2.4.2 Quenching

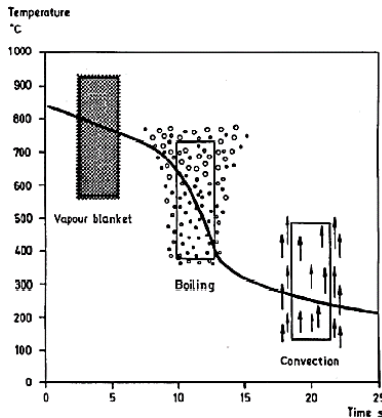
Quenching adalah proses pendinginan cepat yang dilakukan untuk mendapatkan struktur martensitik. Laju pendinginannya lebih cepat dari laju pendinginan kritis baja (*CCR*) sehingga diharapkan hasil akhirnya 100% martensit. Biasanya *quenching* dilakukan dengan mencelupkan benda kerja ke dalam media pendingin berupa *liquid* setelah diaustenisasi. Media pendingin yang umum digunakan adalah oli, air, dan larutan

garam (*brine*) dengan konsentrasi 5-10% (Thelning, 1984). Gambar 2.5 merupakan pengaruh *quenching* temperatur terhadap sifat kekerasan *austenitic manganese steel*.



Gambar 2.5 Pengaruh *quenching* temperatur terhadap sifat kekerasan baja hadfield (Thelning, 1984)

Ketika benda kerja di-*quench* ke dalam media pendingin, ada tiga tahapan yang terjadi, yaitu: *vapor blanket stage*, *boiling stage*, dan *convection stage*. Tahapan-tahapan *quenching* ditunjukkan oleh Gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6 Tiga tahapan dalam proses *quenching* (Thelning, 1984).

Tahap *vapor blanket* terjadi saat benda kerja masuk ke dalam media pendingin. Temperatur benda yang sangat tinggi akan membuat *liquid* berubah menjadi uap dan membentuk lapisan film tipis yang melingkupi benda kerja. Pada tahap ini, laju pendinginan cenderung rendah karena lapisan film berperan sebagai insulator dan pendinginan terjadi secara radiasi (ASM Handbook Vol 4, 2000)

Saat temperatur *liquid* di sekitar benda kerja mencapai titik didih, uap yang terbentuk semakin banyak sehingga lapisan film terlepas. Permukaan benda akan bersentuhan langsung dengan *liquid*, sehingga laju pendinginannya menjadi lebih tinggi. Tahap ini disebut *boiling stage*. Tahapan terakhir adalah *convection stage*. Pada tahap ini, temperatur benda kerja mencapai titik didih *liquid*, dan perpindahan panas terjadi secara konveksi. Selisih temperatur benda kerja dengan *liquid* tinggal sedikit, sehingga laju pendinginannya rendah (Suherman, 2011).

2.4.3 *Artificial Aging*

Pengerasan dapat dicapai setelah melalui proses *solution treatment* dengan temperatur diatas temperatur kamar atau *precipitation heat treatment* atau biasa disebut sebagai *artificial*

aging. Pengerasan atau *hardening* dapat diartikan sebagai perubahan dalam struktur *metallurgical* yang mengakibatkan peningkatan ketahanan terhadap deformasi (J. Gilbert Kaufman 2004).

Artificial aging adalah proses pemanasan kembali larutan padat jenuh ke suatu temperatur di bawah garis solvus dan dibiarkan pada temperatur tersebut selama jangka waktu tertentu. *Artificial aging* merupakan salah satu metode peningkatan kekuatan paduan. *Artificial aging* merupakan pemanasan kembali setelah dilakukan *solution treatment* dan *quenching*. *Artificial aging* dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada benda hasil coran maupun benda tempa.

Mekanisme penguatan presipitasi melibatkan pembentukan kelompok atom terlarut. Atom terlarut tersebut berkumpul memiliki struktur kristal yang sama dengan fasa pelarut. Konsep dalam *aging* adalah sebuah koherensi suatu kontinuitas kristal yang dimana jika atom terlarut kemudian berkerumun untuk memenuhi suatu kisi dalam struktur induk. kelompok atom yang berkerumun akan terlarut dan kelompok yang memiliki ukuran dan valensi berbeda cenderung mengalami tegang atau distorsi (DeGarmo, 2007).

2.4.4 *Tempering*

Tempering adalah proses pemanasan kembali baja yang sebelumnya telah di-*hardening* di bawah temperatur kritisnya kemudian didinginkan dengan laju tertentu. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan keuletan dan ketangguhan baja. Selain itu, juga untuk mengurangi tegangan sisa dan kekerasan baja (ASM, 1991). Menurut Totten (2007), ada 4 tahapan dalam tempering, yaitu:

1. Pada tahap pertama (100°C - 200°C), karbon berpresipitasi keluar dari martensit membentuk partikel karbida epsilon (ϵ).

2. Pada tahap kedua (200°C - 350°C), austenit sisa yang terdapat dalam baja akan terdekomposisi menjadi ferit dan sementit.
3. Pada tahap ketiga (250°C - 750°C), terjadi presipitasi sementit (Fe_3C) di dalam martensit. Pada baja paduan, terbentuk karbida M_3C ("M" merujuk pada unsur paduan tambahan seperti Cr, Mn, dll.). Dengan terbentuknya karbida, maka karbon dalam martensit akan habis dan struktur BCT-nya hilang
4. Tahap keempat biasanya terjadi pada baja paduan tinggi. Diatas 700°C akan terbentuk karbida yang lebih stabil seperti M_7C_3 dan M_{23}C_6 . Pada baja yang mengandung Cr, Mo, W, V, dan Ti, terbentuknya karbida ini akan menimbulkan *secondary hardening*.

2.5 Pengujian Sifat Mekanik

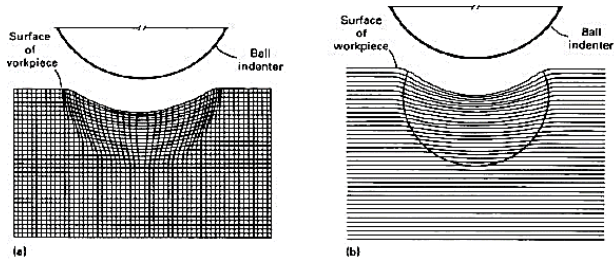
Pada setiap material memiliki karakteristik yang berbeda dengan memberikan ciri tersendiri. Pada benda dengan fungsi kerja berat, sifat mekanik merupakan hal yang perlu diutamakan. Dalam konteks sifat mekanik, perlu dimengerti struktur material solid. Pada struktur kristalin misalnya, kekerasan dan kekuatan sangat bergantung pada kemampuan material bidang kristalografi tahan terhadap *slip*. Terdapat tiga prinsip dalam kekuatan mekanik. Prinsip pertama adalah memberikan perlakuan supaya pada bidang kristal tahan terhadap pergeseran. Prinsip kedua dengan merekayasa kisi material pada *mechanical strain* ataupun distorsi. Pada polikristalin, bahwa ketidaksempurnaan kristal memberikan kekuatan. Prinsip ketiga yakni berkaitan dengan strukturmikro antara lain, melakukan deformasi plastik pada temperatur rendah yang membuat butir lebih pipih dan padat. Lalu, dengan mengurangi ukuran butir. Butir yang semakin halus punya kekuatan yang besar. Merekayasa fasa seperti fasa tunggal dan multi fasa yang berpengaruh terhadap sifat mekanik.

2.5.1 Uji Impak

Uji impak merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kekuatan, kekerasan, serta keuletan material. Oleh karena itu uji impak banyak dipakai dalam bidang pengujian sifat mekanik pada suatu material. Untuk menilai sifat mekanik material terhadap patah getas perlu adanya pengujian serta mempertimbangkan faktor-faktor dinamis yang dapat mempengaruhi patah getas antara lain kecepatan regang, takik, tebal pelat, tegangan sisa dan lain-lain. Ketangguhan (impak) merupakan salah satu sifat mekanik berupa ketahanan bahan terhadap beban kejut. Inilah yang membedakan pengujian impak dengan pengujian tarik dan kekerasan dimana pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan. Pengujian impak merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba (Handoyo, 2013).

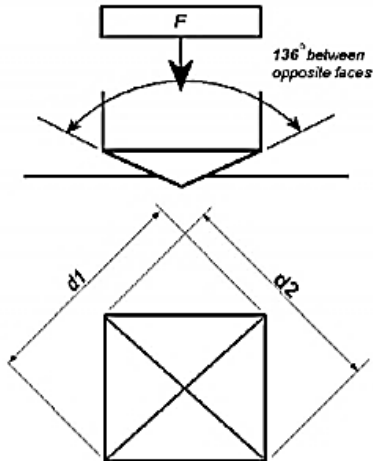
2.5.2 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dapat menjadi cara yang berguna untuk memperkirakan kekuatan mekanik dan karakteristik beberapa bahan. Oleh karena itu, pengujian kekerasan merupakan pengujian yang sangat diperlukan untuk mengevaluasi bahan dan memperkirakan sifat mekanik lainnya dari sifat kekerasan material tersebut. Dalam pengujian kekerasan terdapat berbagai bentuk indenter diantaranya datar, bola, atau berbentuk berlian. Pengujian ini dilakukan dengan melakukan penekanan beban ke permukaan material yang akan diuji, menyebabkan aliran plastis material di bawah indenter seperti yang diilustrasikan pada Gambar.2.7. Terbentuknya lekukan yang diakibatkan oleh penekanan indenter ini mengindikasikan bahwa resistensi terhadap lekukan atau kekerasan sebanding dengan kekuatan luluh material. Tekanan pada indenter adalah sekitar tiga kali kekuatan luluh tarik bahan.



Gambar 2.7 Deformasi indenter kekerasan. (a) *modeling clay*.
(b) *low carbon steel* (ASM Handbook Vol 8, 2000)

Metode uji kekerasan *vickers* terdiri dari indentasi bahan uji dengan indentasi berlian, dalam bentuk piramida kanan dengan dasar persegi dan sudut 136 derajat antara wajah yang berlawanan dikenakan beban 1 hingga 100 kgf seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.8. Beban penuh biasanya diterapkan selama 10 hingga 15 detik. Dua diagonal lekukan yang tersisa di permukaan material setelah penghilangan beban diukur menggunakan mikroskop dan rata-rata dihitung. Luas permukaan miring dari lekukan dihitung. Kekerasan *vickers* adalah hasil bagi yang diperoleh dengan membagi beban kgf dengan luas indentasi mm persegi seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.8 Pengujian vickers (ASM Handbook Vol 8, 2000)

$$HV = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} \quad HV = 1.854 \frac{F}{d^2} \text{ approximately} \quad (2.1)$$

Keterangan :

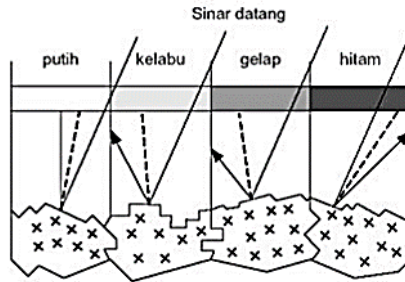
F = Beban (kgf)

d = Rata-rata diameter d_1 dan d_2

HV = *Vickers Hardness*

2.5.3 Uji Metalografi

Tujuan utama dari pengujian metalografi adalah untuk mengetahui komponen dan struktur logam dan paduannya menggunakan mikroskop cahaya (ASTM E3). Prinsip dari pengujian metalografi menggunakan mikroskop cahaya adalah adanya beda sudut pantul di tiap titik permukaan karena adanya perbedaan struktur. Perbedaan sudut pantul akan diterima oleh mata sebagai perbedaan gelap-terang pada permukaan spesimen seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.9.

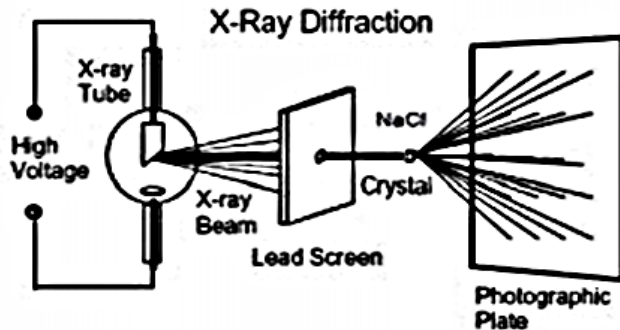


Gambar 2.9 Mekanisme mikroskop optik (Callister, 2009)

Dalam paduan logam, hasil dari uji metalografi berupa struktur mikro ditandai oleh jumlah fasa yang ada, proporsinya, dan distribusinya. Struktur mikro paduan tergantung pada variabel-variabel seperti elemen paduan yang ada, konsentrasinya, dan perlakuan panas yang diterima dari paduan tersebut seperti temperatur, waktu pemanasan, dan laju pendinginan hingga temperatur kamar (Callister, 2009)

2.5.4 Uji *X-Ray Diffraction* (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui fasa yang terbentuk dari spesimen yang diuji. Prinsip kerja yang dilakukan pada pengujian XRD adalah ketika suatu material dikenai sinar X, maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang, seperti yang terlihat pada Gambar 2.10 dibawah. Hal ini disebabkan karena penyerapan oleh material dan juga penghamburan atom-atom yang ada di 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 (Ginting, 2005).



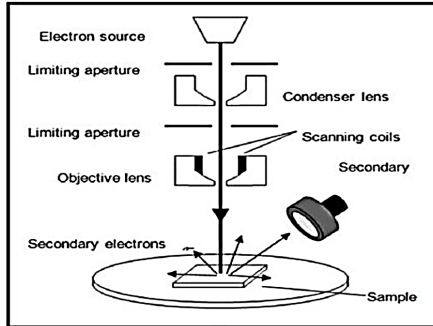
Gambar 2.10 Prinsip Kerja *X-Ray Diffraction*
(Kaufmann, 2004)

2.5.5 Uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Teknik karakterisasi konvensional yang berbasis pada panjang gelombang 650 nm keatas, seperti mikroskop optik pada analisis metalografi tidak memiliki resolusi yang cukup untuk mendapatkan informasi ilmiah yang diharapkan. Oleh karena itu diperlukan metode identifikasi dan karakterisasi lain yang dapat memberikan resolusi yang lebih tinggi sehingga dapat memberikan bantuan “penglihatan” bagi para peneliti untuk dapat mengamati apa yang terjadi di dalam dan sekitar interface antara bahan dengan lapisan oksida secara detil. Untuk keperluan tersebut, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dipahami sebagai teknik yang sesuai dan diakui oleh komunitas peneliti material dunia. Pada Gambar 2.11 menunjukkan skema interaksi antara bahan dan elektron di dalam proses pengujian SEM

SEM dapat memberikan kontras yang relatif rendah terlebih pada perbesaran tinggi. Oleh karena itu SEM harus dioperasikan dengan pengaturan parameter elektron seperti *high voltage*, *spot size*, bias dan *beam current* juga parameter optik seperti kontras dan fokus yang tepat sehingga diperoleh hasil gambar yang optimal dan tidak memberikan interpretasi ganda. Selain itu, proses pengambilan gambar dan analisis kimia dengan

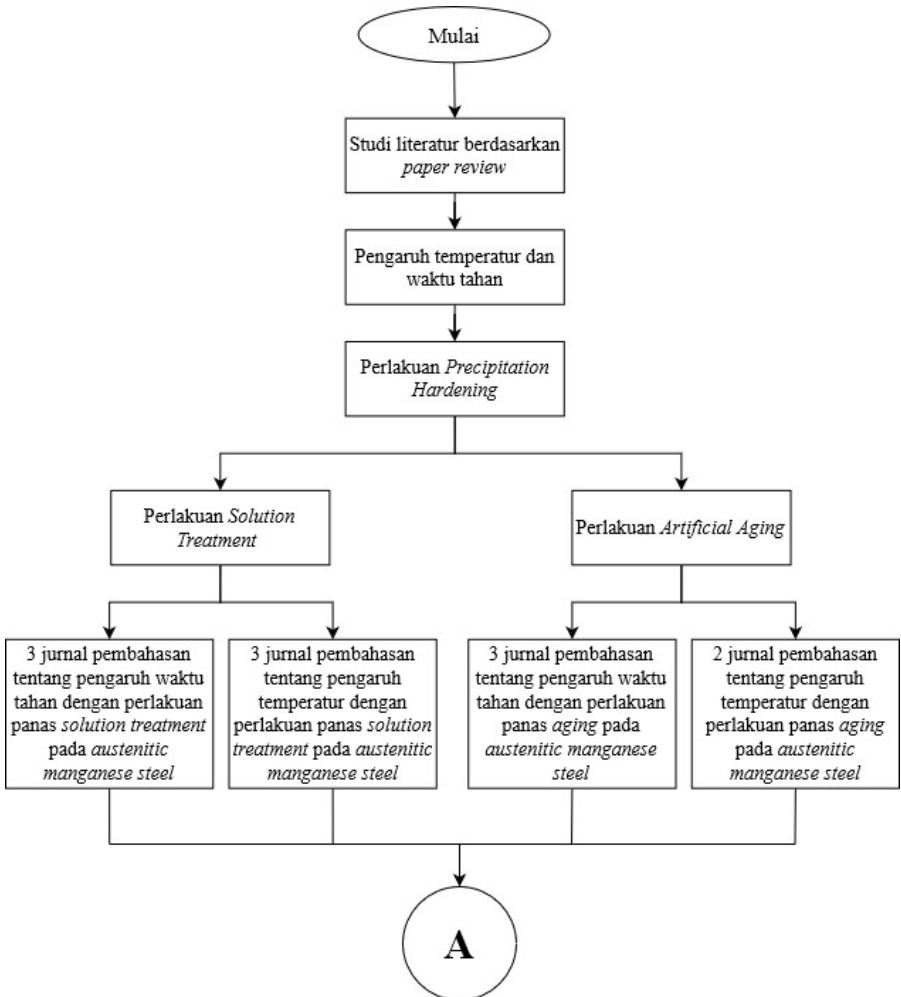
SEM sangatlah dipengaruhi oleh jenis spesimen (Sujatno et al, 2015).

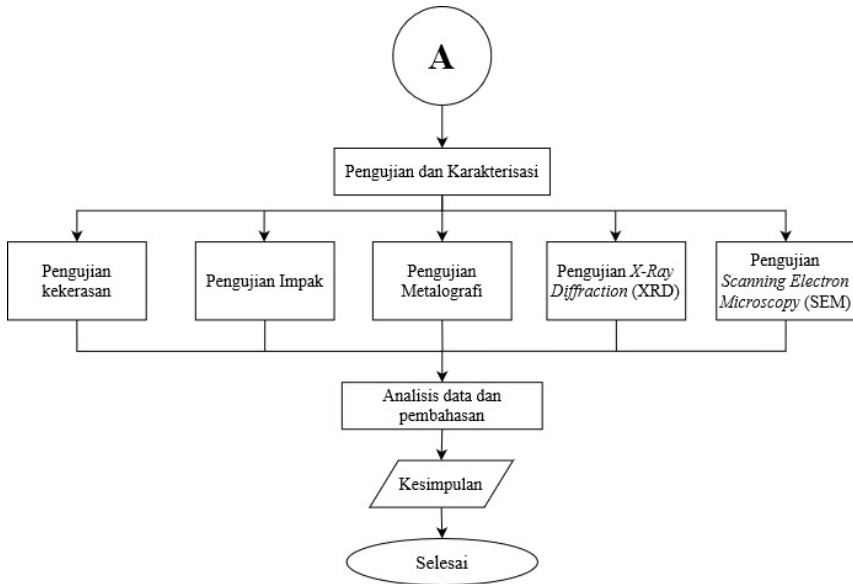


Gambar 2.11 Skema interaksi antara bahan dan elektron di dalam SEM (Sujatno et al, 2015)

BAB III METODOLOGI REVIEW JURNAL

3.1 Diagram Alir





Gambar 3.1 Diagram alir

3.2 Metode Review Jurnal

Dapat dilihat pada Tabel 3.1 merupakan metode penelitian pada paper review yang didapatkan dari berbagai referensi jurnal.

Tabel 3.1 Metode review jurnal

Referensi	Temperatur Pemanasan	Waktu Tahan Pemanasan	Kekerasan	Mikroskop Optik	Lain-lain
Solution Treatment					
(Nurjaman et al, 2017)	950°C 1000°C 1050°C	60 menit	√	√	XRD
(Santosa et al, 2018).	920°C	60 menit	√	√	
(Bahfie et al, 2018)	950°C 1000°C 1050°C	60 menit	√	√	
(Widyanto et al, 2007)	575°C-1050°C	3 jam	√	√	SEM
(Kurniawan et al, 2014)	1000°C	30 menit 60 menit 2 jam	√	√	
(Hidayat et al, 2018)	1100°C 700°C -1000°C 600°C -980°C	2 jam 3 jam-1,5 jam 10 jam-2 jam	√	√	Impak SEM
Artificial Aging					
(Chowrasia et al, 2019)	500°C 550°C 600°C 650°C	60 menit	√	√	SEM
(Fadhila, 2005)	400°C 450°C 500°C 550°C 600°C	2 jam 30 menit & 60 menit 30 menit & 45 menit 15 menit & 30 menit 10 menit & 20 menit		√	
(Aribo, 2010)	600°C 700°C	60 menit 2 jam 3 jam	√	√	
(Panchal, 2016)	600°C 700°C	60 menit 2 jam 3 jam	√	√	
(Ibitoye et al, 2009)	250°C 450°C 550°C	60 menit	√	√	

3.3 Ruang Lingkup Pembahasan Jurnal

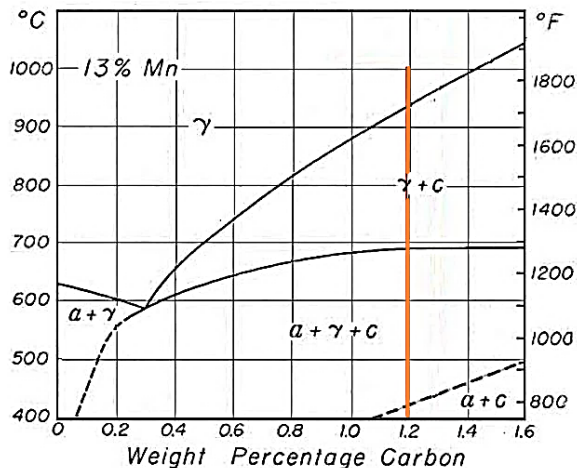
Pembahasan jurnal mengamati pengaruh variasi temperatur dan waktu tahan pada pemanasan perlakuan panas yang digunakan yakni solution treatment dan artificial aging. Dari proses perlakuan panas tersebut, didapatkan sifat mekanik dan struktur mikro yang paling optimal untuk digunakan dalam pembuatan *austenitic manganese steel*. Sifat mekanik yang dijadikan acuan adalah sifat kekerasan yang mewakili karakteristik baja mangan austenitik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Solution Treatment

Solution treatment adalah salah satu proses perlakuan panas yang dilakukan dengan memanaskan baja austenitik sampai 1000 - 1100 °C dan perlakuan panas ini hanya bisa dilakukan untuk material baja austenitik saja. Pada temperatur tersebut semua karbida larut kembali dan austenit menjadi homogen, kemudian dilakukan proses pendinginan cepat dengan media pendingin air. Untuk benda yang tipis atau kecil pendinginan udara sudah cukup cepat. Sehingga pada pendinginan cepat ini menyebabkan tidak terjadinya presipitasi karbida yang terbentuk (Thelning, 1984).

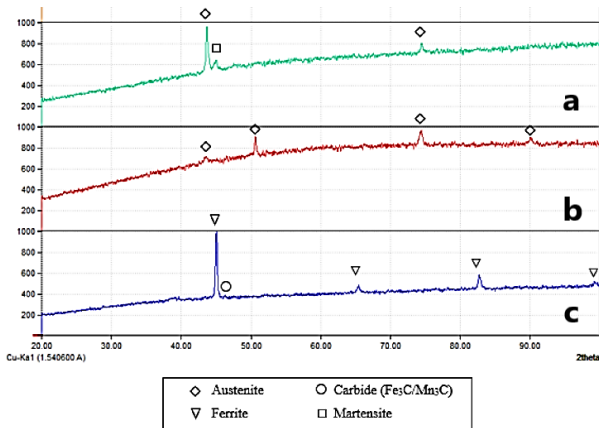


Gambar 4.1 Diagram fasa Fe, 13 %Mn-C *austenitic manganese steel* (Thelning, 1984).

4.1.1 Temperatur

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Nurjaman et al, 2017) mengamati pengaruh variasi temperatur *solution treatment austenitic manganese steel* terhadap sifat kekerasan dan struktur mikronya. Penelitian tersebut memvariasikan tiga temperatur

solution treatment yakni pada temperatur 950°C, 1000°C, dan 1050°C dengan waktu tahan satu jam dan menggunakan media pendingin air. Pada hasil pengujian XRD yang dilakukan pada *austenitic manganese steel* dengan temperatur *solution treatment* 950°C ditemukan pembentukan fasa ferit, hal ini dapat dilihat pada hasil pengujian XRD pada Gambar 4.2 a yang diambil dari data (Nurjaman et al, 2017).

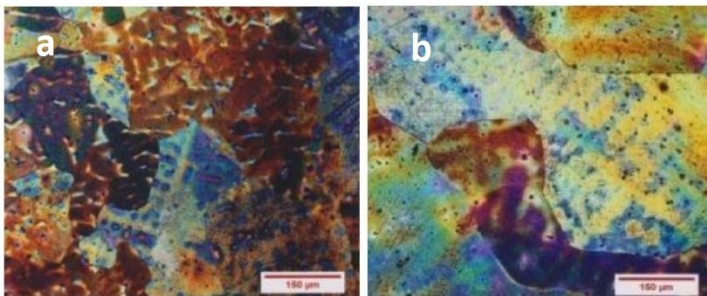


Gambar 4.2 Hasil pengujian XRD pada austenitic manganese steel (a) 950°C, (b) 1000°C dan (c) 1050°C (Nurjaman et al, 2017).

Pembentukan ferit terjadi karena pendinginan lambat setelah proses *solid solution treatment*. *Solid solution treatment* sendiri merupakan proses pelarutan karbida yang sering ditemukan dalam baja dengan kondisi *as-cast*. Matriks feritik ini menghasilkan kekerasan yang lebih rendah dari baja mangan austenitik ini. Hal ini dikarenakan sifat ferit lebih lunak dari austenit. Hasil fasa yang berbeda didapatkan pada pemanasan dengan temperatur 1000°C dan 1050°C. Hal ini dapat dilihat pada hasil pengujian XRD yang dilakukan oleh (Nurjaman et al, 2017) pada Gambar 4.2 b dan c. Pada temperatur tersebut semua karbida yang terbentuk selama pemanasan terlarut dalam sebuah fasa

matriks.austenit. Hal ini dikarenakan pada temperatur tersebut merupakan temperatur kritis dalam pembentukan fasa austenit. Pada Gambar 4.1 pada literatur (Thelning, 1984) terdapat garis merah yang menandakan bahwa pada temperatur 1000°C dan 1050°C merupakan temperatur austenisasi pada proses homogenisasi fasa pada perlakuan panas *solution treatment*.

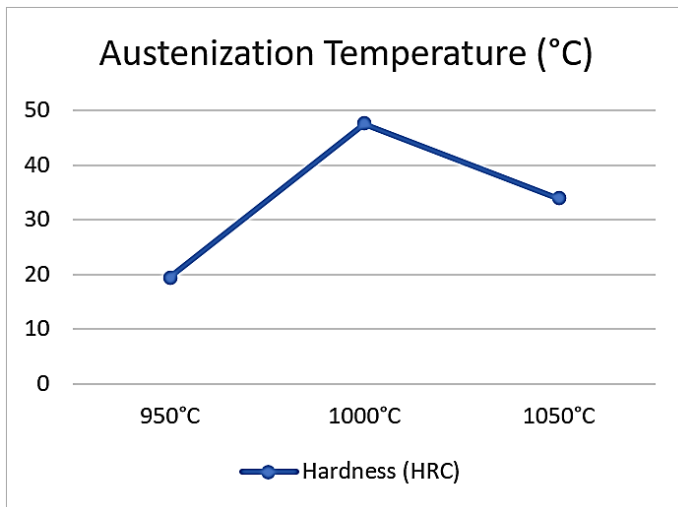
Sifat kekerasan pada fasa martensit lebih tinggi dari austenit dan ferit, karenanya kekerasan baja mangan austenit ini meningkat secara signifikan dengan pemanasan pada temperatur 1000°C. Adanya pembentukan martensit pada baja mangan ini terjadi karena kandungan karbon dalam komposisi suatu material baja tidak cukup untuk menstabilkan struktur austenit.



Gambar 4.3 Hasil struktur mikro perlakuan *solution treatment* (a) 1000°C dan (b) 1050°C (Nurjaman et al, 2017).

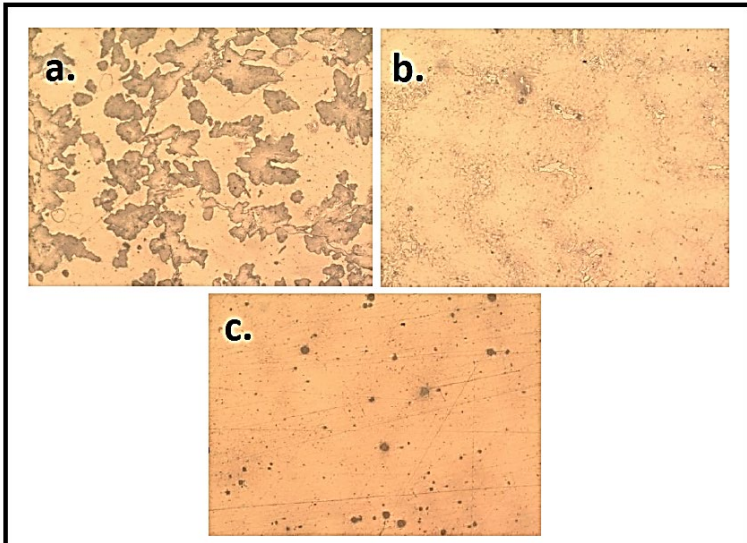
Unsur mangan dan karbon memainkan peranan penting untuk menstabilkan struktur austenit pada baja mangan. Baja mangan karbon tinggi umumnya memiliki struktur austenit penuh dapat dilihat pada Gambar 4.3 setelah dipanaskan pada 1050°C dan didinginkan dengan cepat dengan media air namun dari beberapa studi kasus yang ditemukan, struktur martensit masih ada meskipun baja mangan dipanaskan pada temperatur 1050°C. Struktur martensit yang terbentuk pada baja mangan disebabkan karena unsur karbon dan mangan tidak dapat menstabilkan fasa austenit pada temperatur tersebut. Namun, unsur martensit ini bisa terjadi karena adanya *transformation stress* dan *thermal stress*

yang dimana pada *transformation stress* terjadi perubahan volume kristal selama pembentukan fasa austenit. Sedangkan pada *thermal stress* terjadi perbedaan kecepatan pendinginan sehingga distribusi tegangan tidak merata. Pada Gambar 4.4 merupakan hasil pengujian sifat kekerasan pada *austenitic manganese steel* yang didapatkan dari penelitian (Nurjaman et al, 2017) dengan perbedaan temperatur perlakuan panas *solution treatment* dan media pendingin.



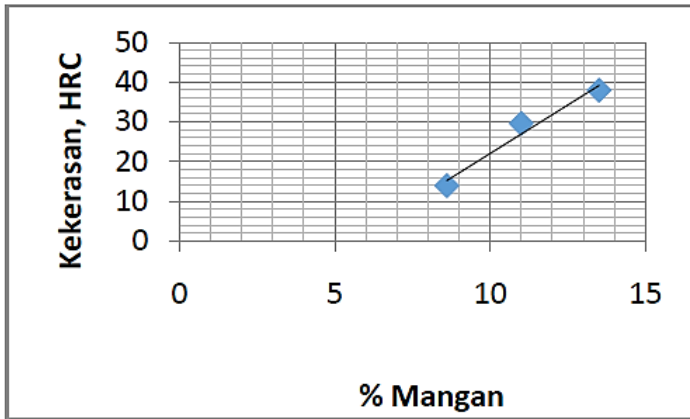
Gambar 4.4 Hasil pengujian sifat kekerasan pada proses perlakuan panas *solution treatment* (Nurjaman et al, 2017).

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Santosa et al, 2018). Mengamati perkembangan mikrostruktur dan sifat kekerasan *austenitic manganese steel*. *Austenitic manganese steel* diberikan *solution treatment* pada temperatur 920°C dengan waktu tahan selama 60 menit dan variasi komposisi unsur mangan 8.6 %, 11 % dan 13,5 % dengan media pendingin air dan oli. Perlakuan panas diberikan untuk mendapatkan nilai kekerasan tertentu pada baja mangan.



Gambar 4.5 Hasil struktur mikro pada perbesaran 200X : (a) struktur mikro Mn 8,6 % (b) struktur mikro Mn 11 % (c) struktur mikro Mn 13,5 % (Santosa et al, 2018).

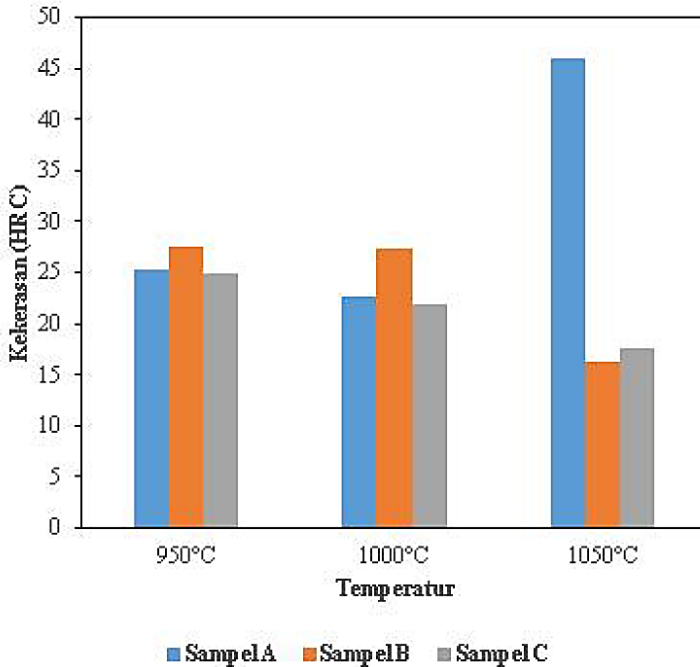
Perlakuan panas dengan didinginkan cepat menggunakan media pendingin air memberikan nilai kekerasan yang tinggi. Perbandingan nampak kontras pada pendinginan air dan pendinginan oli. Pada pendinginan air martensit yang terbentuk 90% sedangkan pada pendinginan oli martensit hanya terbentuk 40% lebih sedikit jika dibandingkan dengan pendinginan air. Pada Gambar 4.5 merupakan hasil struktur mikro pada spesimen dari penelitian (Santosa et al, 2018). Struktur mikro yang terjadi pada baja mangan austenitik adalah karbida kompleks, $\alpha + (\text{FeMn})_3\text{C}$. Dilihat dari hasil pengujian terhadap material *jaw plate* terjadi perubahan nilai kekerasan dengan bertambahnya prosentase mangan.. Dapat dilihat pada Gambar 4.6 merupakan hasil pengujian kekerasan pada penelitian yang dilakukan oleh (Santosa et al, 2018).



Gambar 4.6 Grafik nilai kekerasan terhadap penambahan prosentase unsur mangan (Santosa et al, 2018).

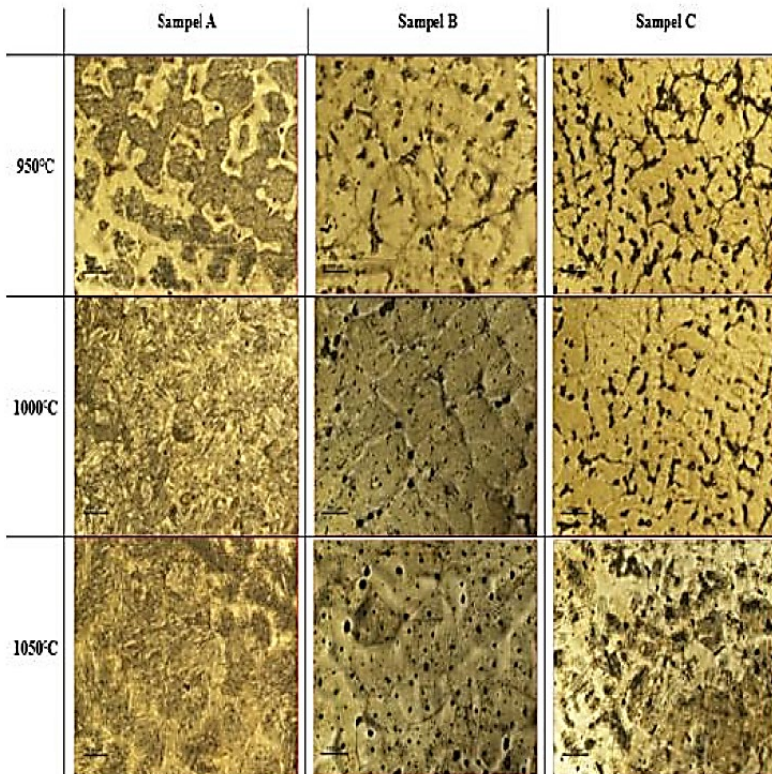
Pada penelitian yang dilakukan oleh (Bahfie et al, 2018). Mengamati perkembangan mikrostruktur dan sifat kekerasan *austenitic manganese steel*. *Austenitic manganese steel* diberikan *solution treatment* dengan variasi temperatur 950°C, 1000°C dan 1050°C dengan waktu tahan selama 60 menit dan variasi komposisi unsur mangan 5.87%, 9.42% dan 15.28%.

Baja yang memiliki komposisi unsur mangan lebih dari 11% termasuk baja mangan hadfield atau baja mangan austenitik. Komposisi unsur karbon yang terdapat dalam baja dapat meningkatkan nilai kekuatan dan kekerasan tetapi apabila komposisi unsur lebih dari 1,7% akan menurunkan nilai ketangguhan baja. Komposisi unsur silikon lebih dari 0,4% memiliki pengaruh dalam meningkatkan kekenyalan, ketahanan aus dan ketahanan terhadap panas. Komposisi unsur nikel pada baja berfungsi untuk memperbaiki kekuatan tarik dan menaikkan sifat ulet. Komposisi unsur kromium lebih 1,5% pada baja menghasilkan struktur yang lebih halus dan membuat sifat baja dikeraskan lebih baik (Mulyanti, 2011).



Gambar 4.7 Nilai kekerasan pada baja mangan dengan temperatur austenitasi pada proses *solution treatment* 950°C, 1000°C 1050°C (Bahfie et al, 2018).

Dapat dilihat pada Gambar 4.7 (Bahfie et al, 2018) spesimen A dengan kandungan unsur mangan sebesar 5.87%, seiring dengan naiknya temperatur austenitasi, didapatkan nilai kekerasan yang relatif mengalami kenaikan. Berdasarkan hasil analisis struktur mikro yang dilakukan (Bahfie et al, 2018), seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8, ukuran butir pada spesimen A semakin halus seiring dengan semakin meningkatnya temperatur austenitasi, dimana tampak presipitat karbida halus pada temperatur austenitasi 1050°C sehingga mampu meningkatkan kekerasan pada baja mangan.



Gambar 4.8 Struktur mikro baja mangan hasil perlakuan panas pada ketiga specimen (Bahfie et al, 2018).

Dapat dilihat hasil pengujian kekerasan yang dilakukan oleh (Bahfie et al, 2018) pada Gambar 4.7, nilai kekerasan baja mangan hasil proses pemanasan pada temperatur austenisasi pada spesimen B dan C dengan unsur mangan sebesar 9.42% dan 15.28%. relatif menurun seiring dengan semakin tingginya temperatur austenisasi. Hal tersebut dikarenakan larutnya karbida pada batas butir. Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan bahwa kenaikan temperatur austenisasi menyebabkan

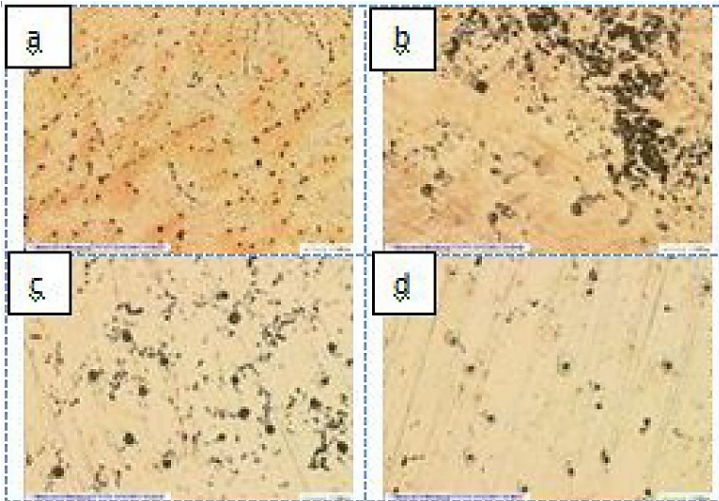
turunnya nilai kekerasan dan naiknya harga dampak akibat larutnya karbida dalam matriks.

Berdasarkan Gambar 4.8 (Bahfie et al, 2018), spesimen B dan spesimen C pada perlakuan panas dengan temperatur 1050°C nampak terlihat bahwa karbida yang tumbuh di dalam matriks semakin banyak dan semakin membesar, sebaliknya tidak tampak adanya karbida yang terbentuk di batas butir dikarenakan karbida tersebut larut ke dalam matriks. Hal tersebut menyebabkan menurunnya nilai kekerasan pada spesimen B dan C.

4.1.2 Waktu Tahan

Penelitian yang dilakukan oleh (Kurniawan et al, 2014) menganalisis pengaruh variasi *holding time* pada perlakuan panas *solution treatment* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada baja mangan AISI 3401. Pada penelitian tersebut baja mangan diberikan perlakuan panas pada temperatur 1000°C, kemudian diberikan empat variasi waktu tahan 30 menit, 60 menit, 120 menit diikuti dengan pendinginan cepat menggunakan media air dan tanpa perlakuan. Proses pemanasan *solution treatment* diatas temperatur austenitisasi yaitu pada temperatur 1000°C dengan menggunakan variasi empat *holding time* dan pendinginan cepat media air menghasilkan struktur mikro karbida yang terbentuk pada matrik austenit.

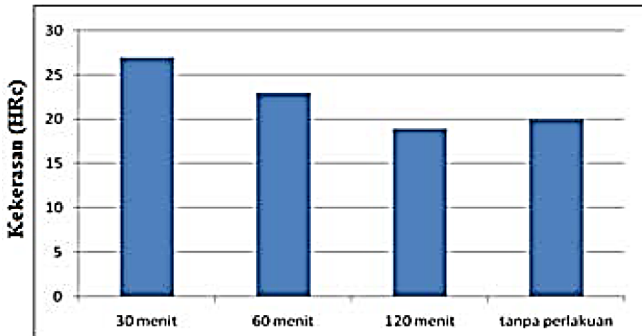
Dapat dilihat pada Gambar 4.9 hasil struktur mikro yang dilakukan oleh (Kurniawan et al, 2014) pada gambar (d) dihasilkan struktur mikro hampir mendekati full austenit dengan jumlah karbida yang sedikit. Karena pada perlakuan panas *solution treatment* pada temperatur 1000°C dengan waktu tahan 120 menit memberikan waktu yang cukup panjang bagi atom C yang berada pada karbida untuk berdifusi kedalam matrik fasa austenit sehingga banyak karbida yang terlarut.



Gambar 4.9 Hasil struktur mikro pada perbesaran 50X : (a) Tanpa perlakuan (b) *Holding 30 menit* (c) *Holding 60 menit* (d) *Holding 120 menit* : dengan menggunakan etsa gliseria (Kurniawan et al, 2014).

Pada proses pendinginan cepat dengan media pendingin berupa air berfungsi untuk memperlambat proses presipitasi karbida yang terbentuk setelah berada di temperatur austenitisasi. Sehingga akan terbentuk struktur mikro yang *full austenite* dan sifat *work hardening* pada baja mangan tidak menurun karena harga *work hardening* dipengaruhi dengan jumlah karbon yang larut pada austenit dan karbida yang tersebar. Tetapi hasil pendinginan cepat akan menyebabkan menurunnya nilai kekerasan. Hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian kekerasan pada Gambar 4.10 (Kurniawan et al, 2014)

Pada hasil pengujian kekerasan pada keempat spesimen, nilai kekerasan yang paling tinggi didapatkan dari uji kekerasan dengan waktu tahan 30 menit. Karena pada spesimen tersebut masih banyak terbentuknya karbida. Banyaknya persebaran karbida sangat mempengaruhi sifat kekerasan pada suatu baja mangan.



Gambar 4.10 Hasil pengujian kekerasan pada spesimen (Kurniawan et al, 2014).

Sedangkan pada waktu tahan 120 menit memiliki kekerasan paling rendah karena struktur mikro pada hasil perlakuan panas ini hampir berupa full austenite dan persebaran karbida yang terbentuk berjumlah sedikit pada matrik austenit sehingga kekerasannya rendah yaitu sebesar 19 HRC.

Penelitian yang dilakukan oleh (Hidayat et al, 2018) menganalisis pengaruh variasi temperatur *solution treatment* dan waktu tahan terhadap struktur mikro dan sifat mekanik pada *austenitic manganese steel* atau baja mangan. Pada penelitian tersebut baja mangan diberikan *preheating* terlebih dahulu pada temperatur 600°C dan 700°C dengan variasi waktu tahan 10 dan 3 jam sebelum proses *solution treatment*.

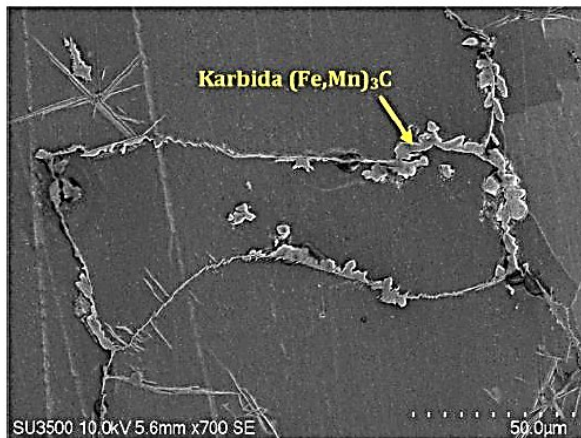
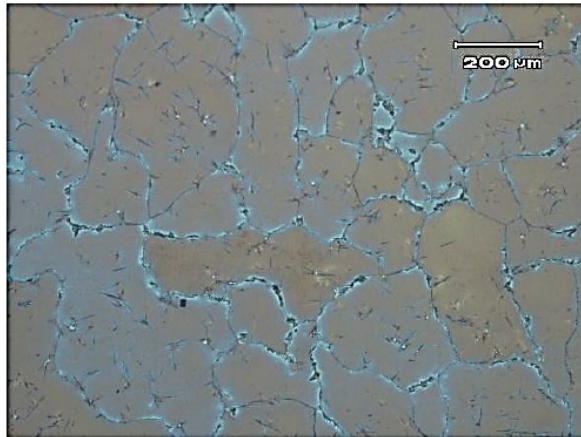
Pada proses *solution treatment*, spesimen dengan pemanasan temperatur 600°C dinaikkan ke temperatur 980°C yang kemudian ditahan selama 2 jam dan dilakukan proses *quenching* dengan media pendingin berupa air yang diagitasi. Sedangkan pada spesimen dengan temperatur 700°C, pemanasan dinaikkan ke temperatur 1000°C dengan waktu tahan 1,5 jam dengan media pendingin yang sama.

Pada penelitian ini, hasil pengujian struktur mikro dan sifat mekanik yang didapatkan dari kedua spesimen akan dibandingkan dengan hasil yang dimiliki oleh baja mangan tanpa

perlakuan atau *as-cast* dan baja mangan dengan perlakuan panas tanpa proses *preheating* pada temperatur 1100°C ditahan selama 2 jam dengan media pendingin air yang diagitasi.

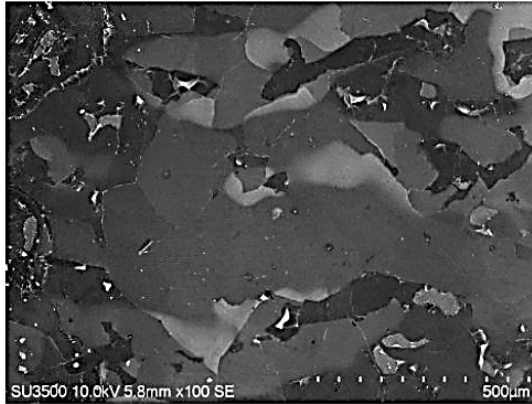
Untuk proses *quenching* dilakukan dengan menggunakan media pendingin berupa air dengan agitasi, hal ini bertujuan agar mendapatkan laju pendinginan yang cukup cepat untuk menghindari terbentuknya karbida. Temperatur *solution treatment* divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap pertumbuhan butir. Semakin rendah temperatur perlakuan panas *solution treatment* maka laju pertumbuhan butir semakin rendah. Dengan demikian diharapkan akan menghasilkan butir yang lebih halus.

Pada penelitian tersebut struktur mikro *as-cast* diamati menggunakan mikroskop optik dan pengujian SEM yang dilakukan oleh (Hidayat et al, 2018), diperoleh seperti yang ditunjukkan pada Gambar.4.11. Nampak karbida (Fe,Mn)₃C pada batas butir yang menyebabkan sifat getas pada material. Karbida yang terdapat pada material akan dihilangkan dengan perlakuan panas.



Gambar 4.11 Struktur mikro *as-cast* pada baja mangan (Hidayat et al, 2018).

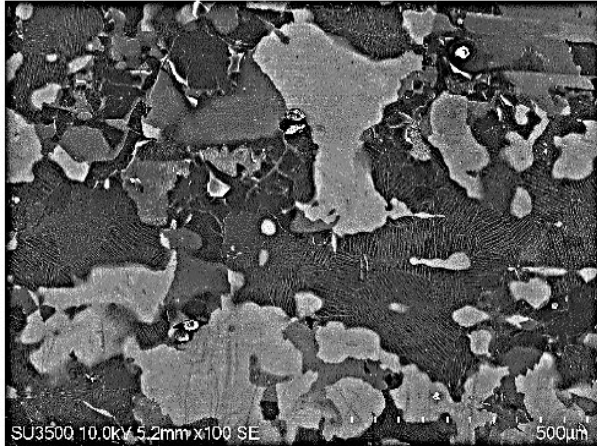
Dibandingkan dengan struktur mikro pada *as-cast* seluruh spesimen yang telah diberikan proses perlakuan panas tidak terbentuknya karbida. Pada Gambar. 4.12, 4.13 dan 4.14 (Hidayat et al, 2018) menunjukkan struktur mikro spesimen baja mangan yang telah diberikan proses perlakuan panas *solution treatment*, tanpa dan dengan perlakuan panas bertahap.



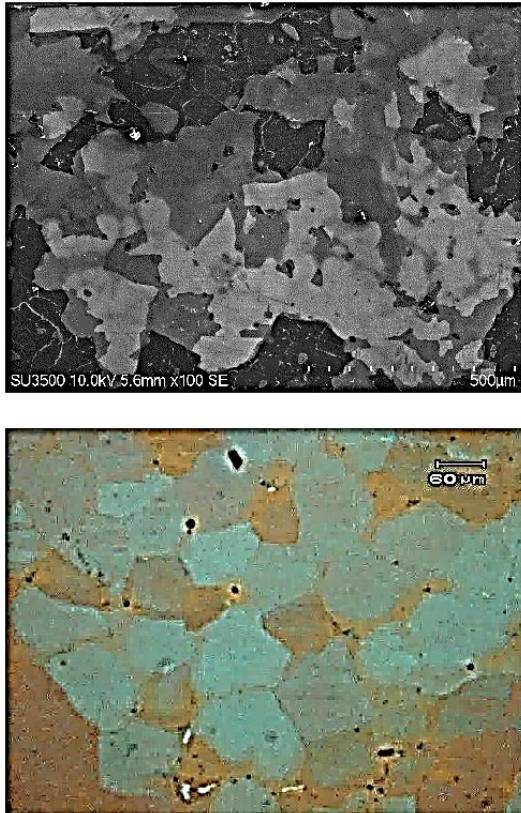
Gambar 4.12 Perlakuan panas pada temperatur 1100 °C ditahan 2 jam pendinginan air diagitasi (Hidayat et al, 2018).

Nampak terlihat pada Gambar 4.14 (Hidayat et al, 2018) ukuran butir pada spesimen perlakuan panas bertahap dengan temperatur 600°C lebih halus dibandingkan dengan spesimen lainnya. Pada penelitian tersebut pengukuran butir dihitung dengan menggunakan metode *intercept*. Pada ukuran butir spesimen perlakuan panas dengan temperatur sebesar 1100°C tanpa proses *preheating* adalah 151 mikron, perlakuan panas dengan proses

preheating pada temperatur 700°C sebesar 70 mikron dan pada temperatur 600°C sebesar 68 mikron.



Gambar 4.13 Perlakuan panas bertahap pada 700°C ditahan 3 jam dinaikan ke temperatur 1000°C ditahan 1,5 jam pendinginan air diagitasi (Hidayat et al, 2018).



Gambar 4.14 Perlakuan panas bertahap pada 600°C ditahan 10 jam dinaikan ke temperatur 980°C ditahan 2 jam pendinginan air diagitasi (Hidayat et al, 2018).

Pada hasil pengujian struktur mikro didapatkan ukuran butir yang lebih halus pada spesimen dengan perlakuan panas bertahap pada temperatur 600°C. Kemudian spesimen tersebut diberikan pemanasan *solution treatment* lebih rendah dibandingkan yang lain yaitu 980°C dengan demikian proses pertumbuhan butir tidak terlalu besar. Pemberian pemanasan awal mendukung terpenuhinya keseragaman temperatur sampai ke

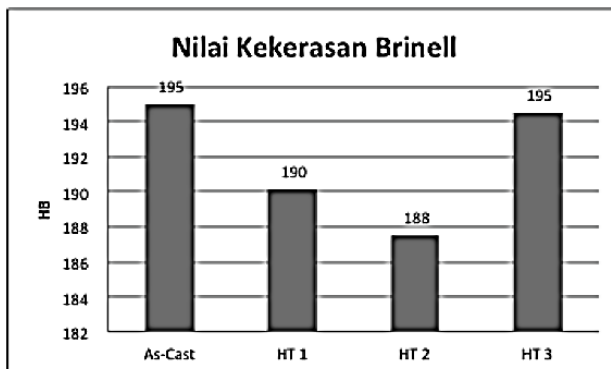
bagian tengah pada saat austenisasi. Dengan demikian target struktur austenit 100 % dapat tercapai.

Berdasarkan Tabel 4.1 pada ASTM A128 *Grade B-4* ditemukan bahwa nilai kekerasan baja mangan dengan *water quench* berkisar 208 HB atau bila dikonversi ke Rockwell menjadi 95 HRB. Sedangkan untuk hasil nilai impak dari baja mangan sebesar 134 J.

Tabel 4.1 Sifat mekanik ASTM A128 Grade B-4 (ASTM A128, 2003).

Sample	Tensile Strength (Mpa)	Proof Stress (Mpa)	Percentage Elongation (%)	Percentage Reduction In Area (%)	Hardness (HB)	Impact Strength (J)
As-Cast	725	352	37.0	33.0	215	117
Water Quenched	705	345	40.0	34.5	209	134
Martempering	680	330	45.5	37.4	201	138

Dapat dilihat pada Gambar.4.15 (Hidayat et al, 2018) menunjukkan hasil nilai kekerasan masing-masing spesimen. Hasil nilai kekerasan tidak terlalu berbeda jauh berkisar dalam rentang 188-195 HB. Nilai tersebut termasuk lunak dikarenakan struktur mikro utamanya adalah austenit.



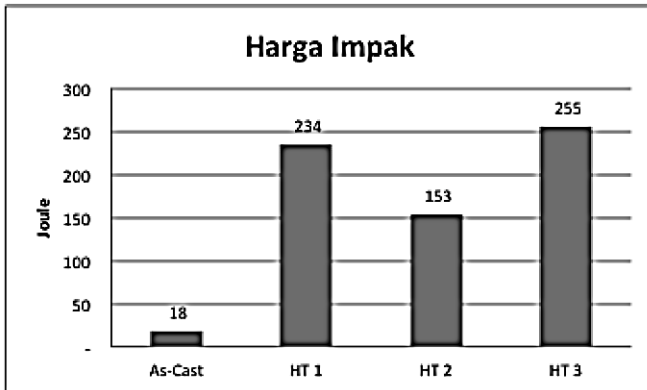
Gambar 4.15 Hasil nilai kekerasan pada spesimen (Hidayat et al, 2018)

Proses perlakuan panas dilakukan dengan menerapkan perlakuan panas bertahap. Variasi perlakuan sebagai berikut:

1. Spesimen - *as-cast*: Tanpa perlakuan panas
2. Spesimen - HT 1 : Perlakuan panas pada 1100°C ditahan 2 jam – pendinginan air diagitasi
3. Spesimen - HT 2 : Perlakuan panas bertahap pada 700°C ditahan 3 jam – dinaikan ke temperatur 1000°C ditahan 1,5 jam - pendinginan air diagitasi
4. Spesimen - HT 3 : Perlakuan panas bertahap pada 600°C ditahan 10 jam – dinaikan ke temperatur 980°C ditahan 2 jam - pendinginan air diagitasi

Untuk spesimen *as-cast* memiliki nilai yang lebih tinggi dikarenakan adanya karbida yang terbentuk sementara nilai spesimen pada perlakuan panas bertahap dengan temperatur 600°C relatif lebih tinggi karena struktur mikronya lebih halus.

Pada Gambar 4.16 (Hidayat et al, 2018) menunjukkan hasil pengujian impak pada penelitian tersebut. Didapatkan kenaikan nilai impak dengan diberikannya proses homogenisasi. Nilai impak yang rendah terdapat pada spesimen *as-cast* terkait dengan keberadaan karbida pada batas butir yang menyebabkan sifat getas pada material. Nilai tertinggi dimiliki spesimen dengan perlakuan panas bertahap pada temperatur 600°C yaitu sebesar 255 Joule, nilai yang tinggi tersebut dihasilkan karena struktur mikro yang terbentuk 100 % austenit dengan besar butir yang lebih halus.



Gambar 4.16 Hasil nilai impak pada spesimen (Hidayat et al, 2018).

(Widyanto et al, 2007).melakukan penelitian tentang metode perlakuan panas untuk *austenitic manganese steel* dengan memakai parameter temperatur dan waktu *holding* pemanasan dengan menambahkan pengaruh dimensi di dalam melakukan proses *solution treatment*. Pada proses pengecoran baja mangan ini diperoleh spesimen balok dengan dimensi ketebalan yang bervariasi yakni balok 2 in, 3 in, 4 in dan 5 in.

Proses perlakuan panas *solution treatment* yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan proses *step heating*, yaitu memanaskan benda kerja secara bertahap mulai dari temperatur kamar hingga temperatur 575°C dan ditahan pada temperatur tersebut selama 1 - 3 jam (HT1). Kemudian dilanjutkan hingga temperatur pemanasan mencapai 1050°C (HT2) dan ditahan pada temperature tersebut disesuaikan dengan ketebalan masing-masing spesimen, ditunjukkan pada Tabel 4.2 Setelah itu spesimen didinginkan cepat dengan media pendingin air.

Tabel 4.2 Variasi waktu tahan, temperatur dan dimensi ketebalan pada spesimen (Widyanto et al, 2007).

Ketebalan (in)	<i>Holding time</i>	<i>Holding time</i>
	575°C	1050°C
2 in	3 jam	3 jam
3 in	3 jam	4 jam
4 in	3 jam	5 jam
5 in	3 jam	6 jam

Austenitic manganese steel memiliki fasa *full austenit* pada temperatur di atas 900°C. Namun perlu diperhatikan bahwa pada saat pengambilan spesimen dari *furnace* hingga menyentuh permukaan air pada saat proses *rapid quench* terdapat waktu tunda (*delay*) yang mempengaruhi penurunan temperatur spesimen sehingga bila temperatur spesimen sebelum menyentuh permukaan air sudah berada di bawah temperatur 900°C dapat menyebabkan terbentuknya karbida. Untuk itu temperatur pemanasan perlu dinaikkan hingga 1050°C untuk mencegah terjadinya peristiwa di atas.

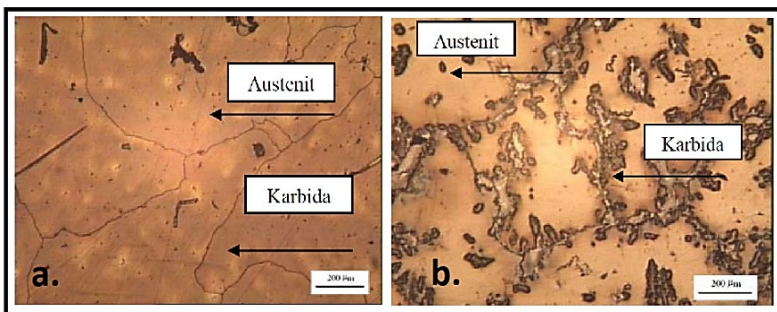
Pemanasan spesimen hingga temperature 1050°C mempengaruhi kecepatan presipitasi karbida dan mempermudah difusi atom karbon sehingga dapat terlarut ke dalam fasa austenit lebih cepat bila dibandingkan dengan pemanasan pada temperatur 900°C. Namun apabila temperatur pemanasan terlalu tinggi akan menyebabkan terjadinya dekarburisasi yang terlalu berlebihan sehingga dapat menurunkan nilai kekerasan pada permukaan spesimen dan ketahanan aus spesimen. Waktu penahanan (*holding time*) bertujuan untuk menghomogenkan fasa yang terbentuk di setiap bagian spesimen.

Menurut (Avery, 1990) diperlukan waktu penahanan selama 2 jam untuk memanaskan spesimen tarik dengan diameter 1 in pada temperatur 1038°C. Dimensi spesimen tarik pada penelitian yang dilakukan memiliki diameter 17 mm. Sehingga waktu penahanan dipilih selama 100 menit dengan pertimbangan

waktu selama 38 menit untuk proses homogenisasi, 56 menit untuk presipitasi karbida dan 6 menit untuk mendifusikan atom karbon ke dalam fasa austenit.

Pada proses *step heating* 1 (HT1), spesimen dipanaskan dari temperatur kamar hingga temperatur 575°C di dalam *furnace*, kemudian dilakukan *holding* pada temperatur tersebut selama 3 jam. *Austenitic manganese steel* memiliki nilai koefisien ekspansi thermal yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan baja karbon. Sehingga, apabila pemanasan dilakukan dengan cepat dapat menimbulkan terjadinya retak pada batas butir yang disebabkan oleh *thermal stress*. Oleh karena itu diperlukan pemanasan bertahap untuk mencegah terjadinya *thermal shock*.

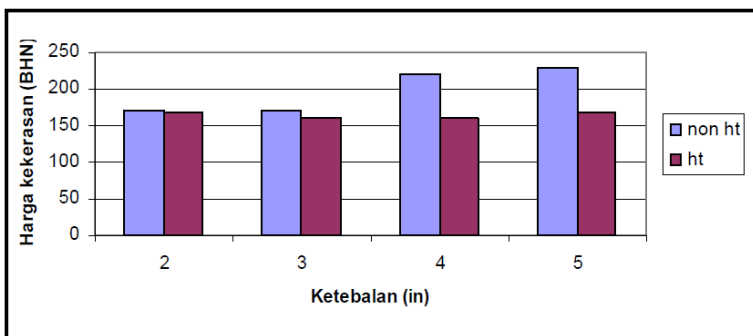
Dapat dilihat pada Gambar 4.17 a. dari struktur mikro spesimen dengan ukuran 2 in proses perlakuan panas pada temperatur 1050°C , *holding time* selama 3 jam tampak matriknya berupa fasa austenit. Sedangkan pada Gambar 4.17 b. Merupakan struktur mikro spesimen dengan ukuran 4 in hasil proses pengecoran, sebelum mengalami proses perlakuan panas (*as-cast*). Dari struktur mikro tersebut didapati terbentuknya dua fasa yaitu fasa austenit sebagai matriks dan karbida sebagai presipitat yang mengendap pada batas butir maupun di dalam butir austenit.



Gambar 4.17 Hasil struktur mikro pada spesimen perbesaran 200X : (a) Ketebalan 2 in perlakuan panas pada temperatur 1050°C , *holding time* selama 3 jam (b) Ketebalan 4 in hasil pengecoran (*as-cast*) (Widyanto et al, 2007).

Dari Gambar 4.17 (Widyanto et al, 2007) dapat diamati adanya karbida kontinyu yang terbentuk di batas butir austenit akibat pemisahan paksa atau segregasi unsur mangan dan karbon yang menyisih saat pembekuan. Karbida non-kontinyu terdapat di dalam butir austenit akibat fenomena segregasi unsur-unsur, yang akhirnya terjebak di lengan-lengan dendrit. Karena itulah karbida yang berada di dalam butir ini tidak kontinyu. Karbida ini memiliki sifat keras dan getas. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada batas butir karena segregasi di batas butir lebih besar jika dibandingkan dengan yang di dalam butir.

Dilihat dari hasil uji kekerasan spesimen pada Gambar 4.18 (Widyanto et al, 2007) dengan 4 variasi ketebalan spesimen, ditemukan adanya penurunan nilai kekerasan setelah proses *heat-treatment*. Hal ini disebabkan karena waktu perlakuan panas *solution treatment* yang diperlukan untuk menguraikan karbida telah tercapai. Nilai penurunan pada spesimen ukuran 4 in dan 5 in mengalami penurunan yang sangat drastis berkaitan dengan proses penguraian karbida yang lebih sempurna.



Gambar 4. 18 Nilai kekerasan dari spesimen (Widyanto et al, 2007).

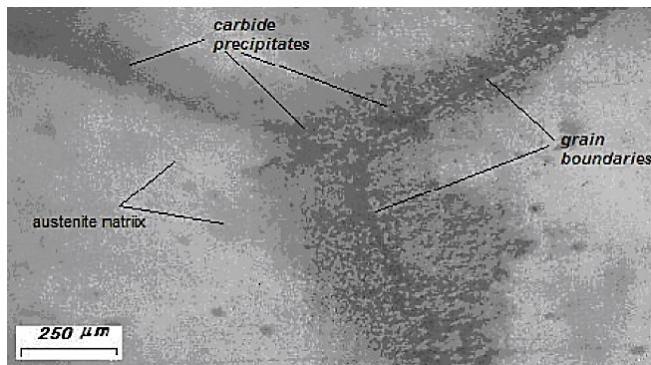
Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pembuatan produk dengan bahan *austenitic manganese steel* dapat diterapkan dengan ketebalan hingga 5 in yang kemudian diberikan

proses perlakuan panas yang sesuai untuk menghasilkan sifat mekanik material yang diinginkan.

4.2 *Artificial Aging*

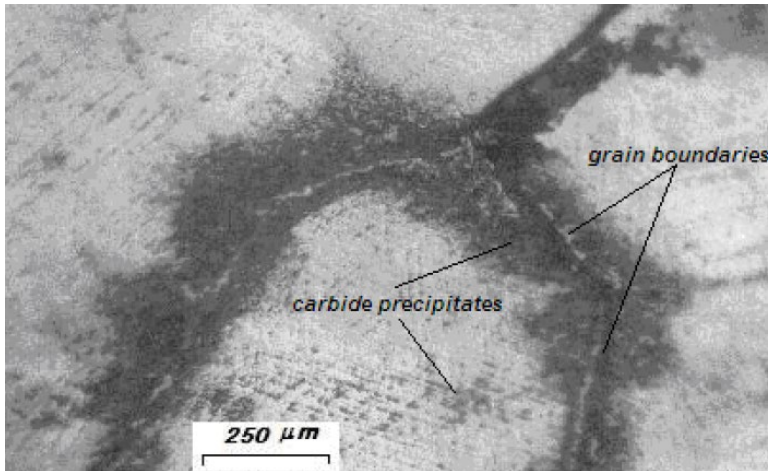
4.2.1 Temperatur

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Ibitoye, 2007) menganalisis perkembangan struktur mikro *austenitic manganese steel* yang diberikan proses *solution treatment* pada temperatur 1040°C dengan waktu tahan 60 menit kemudian didinginkan cepat (*water quenching*). Kemudian dilanjutkan dengan melakukan proses *aging* pada spesimen dengan variasi temperatur 250°C, 450°C dan 550°C dengan *holding time* selama 60 menit pada pendinginan lambat (*air cooling*). Dalam kondisi *as-cast*, sulit untuk mendapatkan fasa *full austenite* yang cukup terbebas dari pembentukan karbida di batas butir di dalam baja mangan austenitik. Adanya pembentukan karbida ini sangat mempengaruhi nilai kekuatan dan keuletan pada setiap kondisi *as-cast*. Karbida terbentuk hampir di semua baja mangan austenitik yang mengandung unsur karbon lebih dari 1,0% C, terlepas dari tingkat pendinginan cetakan.



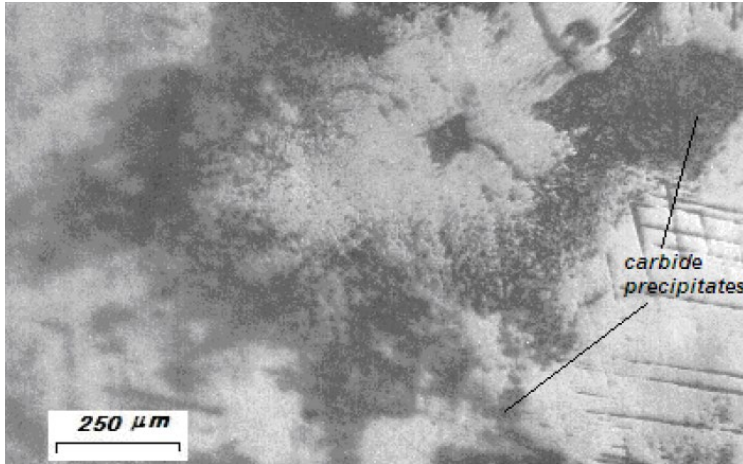
Gambar 4.19 Hasil struktur mikro dari spesimen *as-cast* (Ibitoye, 2007)

Dari Gambar 4.19 (Ibitoye et al, 2007) dapat diamati adanya presipitasi karbida pada batas butir ausenit. Namun, pada butir matriks ausenit tidak ditemukan adanya karbida yang terdispersi.



Gambar 4.20 Hasil Struktur mikro spesimen *aging* temperatur 250°C dengan waktu tahan 60 menit (Ibitoye et al, 2007)

Dari Gambar 4.20 (Ibitoye et al, 2007) menunjukkan adanya presipitasi karbida pada batas butir dan butir matriks fasa ausenit. Dengan melakukan pemanasan kembali suatu material yang telah melalui proses *quenching* akan mengurangi kegetasan suatu material. Namun, hal ini dipengaruhi juga oleh media pendingin yang diterapkan ketika melakukan proses *quenching*.

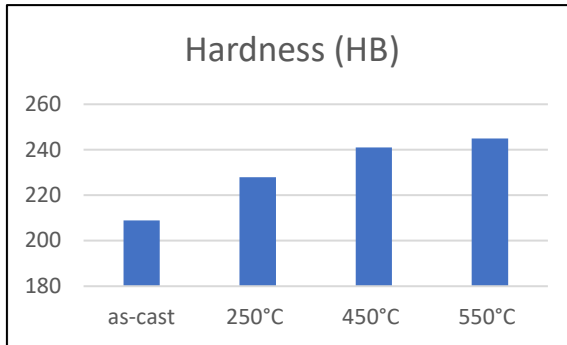


Gambar 4.21 Hasil Struktur mikro spesimen aging temperatur 450°C dan 550°C dengan waktu tahan 60 menit (Ibitoye et al, 2007)

Dari Gambar 4.21 (Ibitoye et al, 2007) dapat diamati adanya perkembangan presipitat karbida yang semakin besar dan mengisi batas butir dan matriks fasa austenit. Pada temperatur 450°C-550°C jurnal menyatakan tidak adanya perubahan signifikan pada presipitat karbida sehingga penelitian tersebut hanya menggunakan satu hasil struktur mikro pada temperatur 450°C. Selama proses perlakuan *aging*, unsur karbon dan mangan mengalami presipitasi dan menyebar ke sepanjang batas butir dan butir fasa matriks austenit. Volume presipitasi ini semakin banyak dengan adanya peningkatan temperatur pemanasan perlakuan *aging*. Sehingga, ketika didinginkan perlahan dengan media *air cooling* karbon jenuh dan mangan pada batas butir dan matriks austenit terendapkan dan keluar sebagai karbida mangan, Mn_3C .

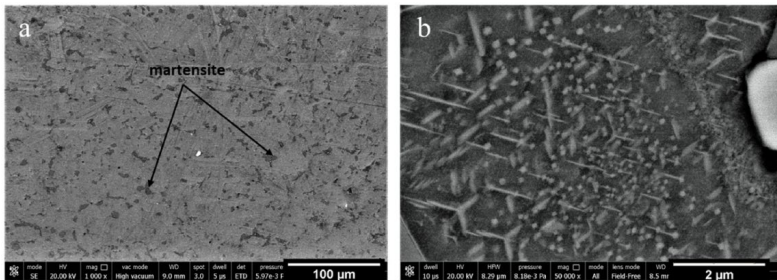
Pada Gambar 4.22 menunjukkan hasil pengujian kekerasan yang dilakukan oleh (Ibitoye et al, 2007) didapatkan peningkatan nilai kekerasan ketika spesimen diberikan perlakuan *aging* dengan ditingkatkannya temperatur. Hal ini dikarenakan ketika temperatur perlakuan *aging* dinaikkan akan terjadi

peningkatan fraksi volume karbida pada batas butir dan matriks fasa austenit



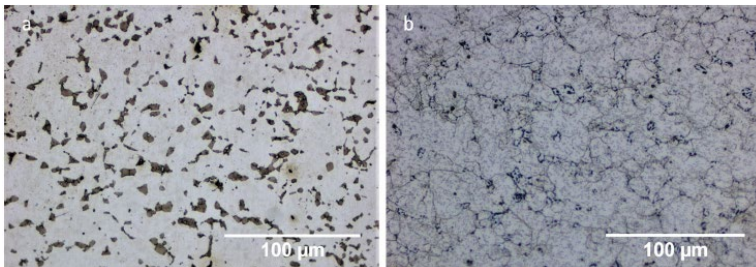
Gambar 4.22 Hasil pengujian kekerasan pada spesimen perlakuan *aging*

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Chowrasia et al, 2019) mengamati pengaruh variasi temperatur perlakuan *aging* yang diberikan pada *austenitic manganese steel* terhadap perubahan fasa pada struktur mikro dan sifat kekerasan. Penelitian tersebut memvariasikan temperatur *aging* sebesar 550°C hingga 650°C dengan interval 50°C dan waktu tahan selama 1 jam yang kemudian didinginkan dengan menggunakan media pendingin air. Sebelum melakukan proses *aging*, peneliti memberikan perlakuan panas solution treatment pada spesimen dengan temperatur austenisasi sebesar 1050°C dengan waktu tahan selama 1 jam yang kemudian didinginkan cepat dengan menggunakan media air es. Ketika baja dipanaskan kembali untuk proses austenitisasi dan didinginkan cepat dalam air es, beberapa fasa austenit pada baja mangan bertransformasi menjadi fasa martensit tetapi tidak menghilangkan fasa austenit didalamnya.



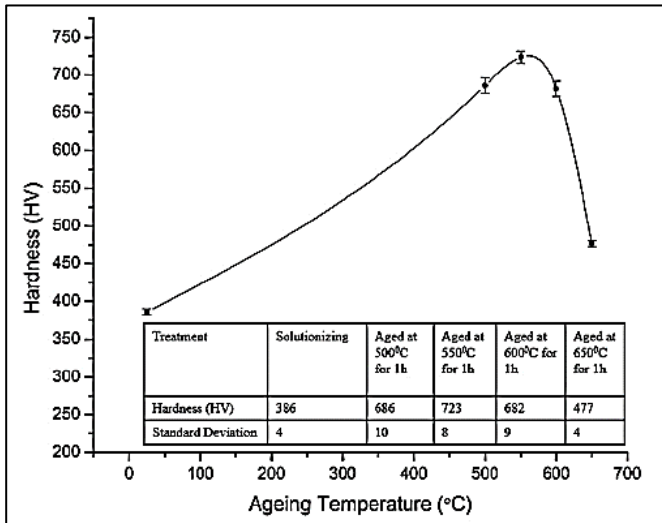
Gambar 4.23 Hasil pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada spesimen perlakuan *aging* dengan temperatur (a) 550°C dan (b) 600°C (Chowrasia et al, 2019).

Dapat dilihat pada Gambar 4.23 (a) hasil pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) yang dilakukan oleh (Chowrasia et al, 2019) menunjukkan adanya pembentukan dupleks austenit martensit struktur pada perlakuan *aging* dengan temperatur 550°C. Dikarenakan perbesaran lensa optik yang terlalu rendah pada hasil pengujian SEM yang dilakukan terhadap spesimen perlakuan *aging* dengan temperatur 550°C tidak dapat memperlihatkan morfologi martensit, namun pada hasil pengujian tersebut sudah mewakili bahwa pada proses pendinginan setelah perlakuan akan terbentuk struktur fasa martensit dengan jumlah yang cukup banyak. Sedangkan pada perbesaran lensa optik yang lebih tinggi Gambar 4.23 (b) hasil pengujian *Scanning Elektron Microscopy* (SEM) pada spesimen perlakuan *aging* dengan temperatur 600°C yang dilakukan oleh (Chowrasia et al, 2019) menunjukkan adanya pembentukan fasa martensit menyerupai jarum dengan jumlah yang cukup banyak pada matriks fasa austenit.



Gambar 4.24 Hasil pengujian struktur mikro pada spesimen perlakuan *aging* dengan temperatur (a) 500°C dan (b) 650°C (Chowrasia et al, 2019).

Dapat pada Gambar 4.24 hasil struktur mikro yang dilakukan oleh (Chowrasia et al, 2019) ketika spesimen baja mangan diberi perlakuan *aging* dengan temperatur lebih tinggi dari 500°C, fasa martensit yang terbentuk akan mengalami transformasi terbalik (*inverse*) menjadi fasa austenit. Selama proses perlakuan *aging*, presipitat dari karbida dan intermetalik lain terbentuk sesuai dengan komposisi unsur yang dikandung baja. Pada pendinginan ke temperatur ruangan akan terjadi proses transformasi parsial austenit ke martensit, dengan demikian menghasilkan struktur mikro yang terdiri dari austenit dan martensit.



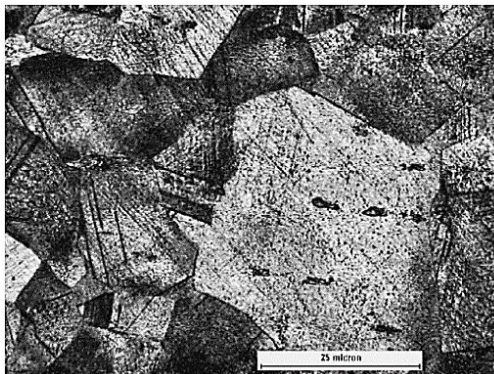
Gambar 4.25 Hasil pengujian kekerasan pada spesimen (Chowrasia et al, 2019)

Dapat dilihat pada Gambar 4.25 hasil pengujian kekerasan yang dilakukan oleh (Chowrasia et al, 2019) adanya kenaikan kekerasan senilai 686 HV setelah perlakuan *aging* pada temperatur 500°C. Nilai kekerasan meningkat lebih lanjut ketika temperatur perlakuan *aging* dinaikkan menjadi 550°C dengan nilai puncak 723.HV. Perilaku pengerasan ini dapat dikaitkan dengan adanya dislokasi pembentukan presipitat martensit. Semakin tinggi kepadatan dislokasi presipitat semakin signifikan kontribusinya terhadap pengerasan baja. Pada perlakuan *aging* diatas temperatur 600°C nilai kekerasan jatuh ke nilai 477 HV. Penurunan drastis ini disebabkan adanya penguatan *coarsening* partikel yang terdislokasi pada struktur mikro. *Coarsening* partikel sendiri dikendalikan baik oleh difusi zat terlarut ke bawah gradien konsentrasi antara partikel-partikel dengan ukuran berbeda, atau oleh sulitnya asimilasi atom-atom zat terlarut pada antarmuka partikel yang sedang tumbuh. *Coarsening* partikel yang dimaksud adalah fasa austenit yang berada pada struktur mikro baja mangan.

4.2.2 Waktu Tahan

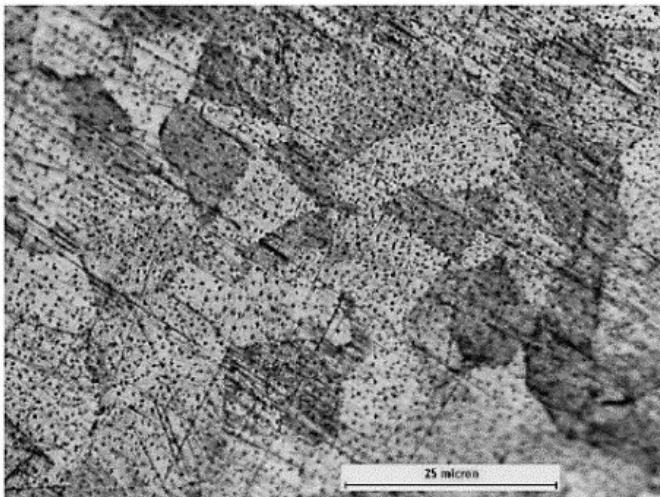
(Fadhila, 2005) melakukan penelitian pada perkembangan struktur mikro *austenitic manganese steel-3401*. *Austenitic manganese steel* diberikan *solution treatment* pada temperatur 1050°C selama 1 jam dengan pendinginan cepat media pendingin air yang menyebabkan adanya larutan padat karbida mengendap dalam butir fasa austenit atau juga bisa disebut presipitasi dengan melakukan proses *aging* pada fasa austenit dan terjadi dispersi parsial austenit.

Waktu dan temperatur proses *aging* sangat berpengaruh terhadap area yang terdispersi dalam fasa austenit. Proses *Aging* dilakukan pada temperatur variasi 400°C hingga 600°C dengan interval 50°C dan waktu tahan yang berbeda. Pemeriksaan struktur mikro pada spesimen yang sudah melalui proses *aging* menunjukkan bahwa pembentukan austenit dimulai dengan presipitasi besi dan karbida mangan dibatas butir kemudian secara progresif meluas ke butir. Pada penelitian struktur mikro baja mangan ini menggunakan mikroskop penganalisa gambar optik (Leica DMLM dengan RGB Kamera video TV model JVC TK1270E).



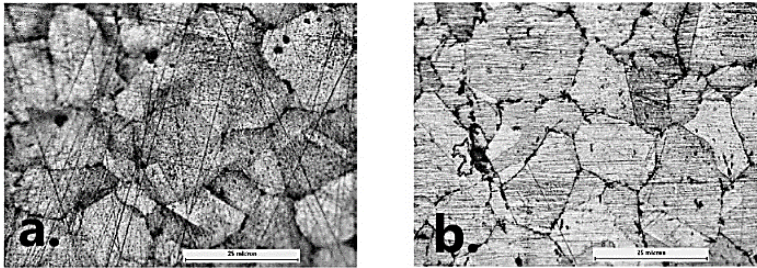
Gambar 4.26 Perkembangan struktur mikro pada pemanasan 1050°C dengan waktu tahan selama 1 jam – *water quench* (Fadhila, 2005)

Dapat dilihat pada Gambar 4.26 (Fadhila, 2005) struktur mikro *austenitic manganese steel* ketika dipanaskan hingga 1050°C kemudian diikuti oleh proses pendinginan yang cepat dengan *water quench* menunjukkan adanya pertumbuhan butir fasa austenit. Pada temperatur tersebut merupakan temperatur austenisasi pada proses homogenisasi fasa pada perlakuan panas *solution treatment*.



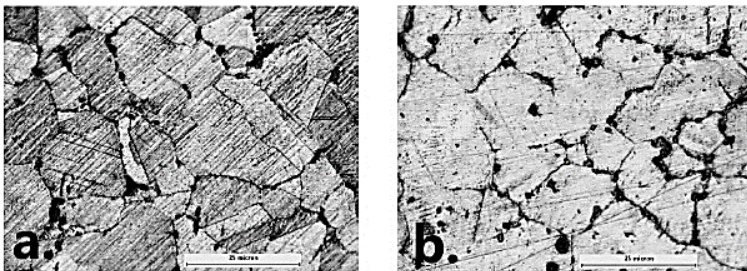
Gambar 4.27 Perkembangan struktur mikro pada pemanasan 400°C dengan waktu tahan selama 2 jam – *water quench* (Fadhila, 2005).

Gambar 4.27 (Fadhila, 2005) menunjukkan struktur mikro dari *austenitic manganese steel* setelah dipanaskan hingga 1050°C selanjutnya dipanaskan pada temperatur 400°C dengan waktu penahanan selama 2 jam diikuti oleh pendinginan cepat dalam air. Pada struktur mikro pada spesimen tersebut terbentuk butir austenit yang serupa dengan Gambar.4.26 tetapi dengan presipitasi yang lebih padat melintasi butir karena pengaruh waktu tahan yang lebih lama.



Gambar 4.28 Perkembangan struktur mikro pada pemanasan 450°C dengan waktu tahan selama (a) 30 menit dan (b) 60 menit – *water quench* (Fadhila, 2005).

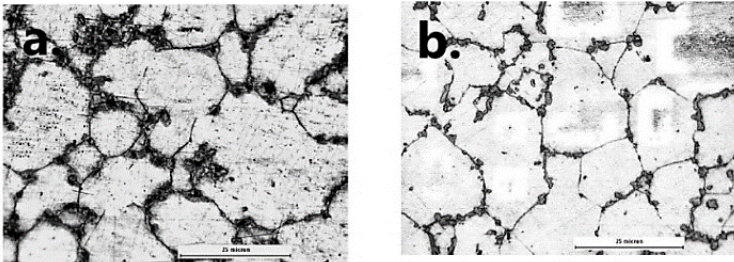
Pada Gambar 4.28 (Fadhila, 2005) menunjukkan struktur mikro austenitik manganese steel setelah diberikan perlakuan panas 1050°C selanjutnya dipanaskan kembali menjadi 450°C dengan dua variasi waktu tahan selama 30 menit dan 60 menit diikuti dengan pendinginan cepat dengan media air. Pada gambar tersebut membuktikan bahwa proses difusi pada baja mangan austenitik sangat dipengaruhi oleh perubahan temperatur.



Gambar 4.29 Perkembangan struktur mikro pada pemanasan 500°C dengan waktu tahan selama (a) 30 menit dan (b) 45 menit – *water quench* (Fadhila, 2005).

Pada Gambar 4.29 (Fadhila, 2005) menunjukkan struktur mikro *austenitic manganese steel* setelah diberikan perlakuan panas 1050°C selanjutnya dipanaskan kembali menjadi

500°C dengan dua variasi waktu tahan selama 30 menit dan 45 menit diikuti dengan pendinginan cepat dengan media air. Jika dibandingkan temperatur 450°C dengan interval waktu tahan yang sama selama 30 menit, ketika temperatur dinaikkan menjadi 500°C menunjukkan adanya proses difusi dalam batas butirnya. Pendinginan yang cepat membuat beberapa senyawa yang mengendap dalam batas butir yang bisa jadi mengandung karbida tersebar kembali ke butir atau matriks. Proses difusi senyawa ke batas butir mungkin telah menyebabkan terjadinya pembentukan fasa yang baru.



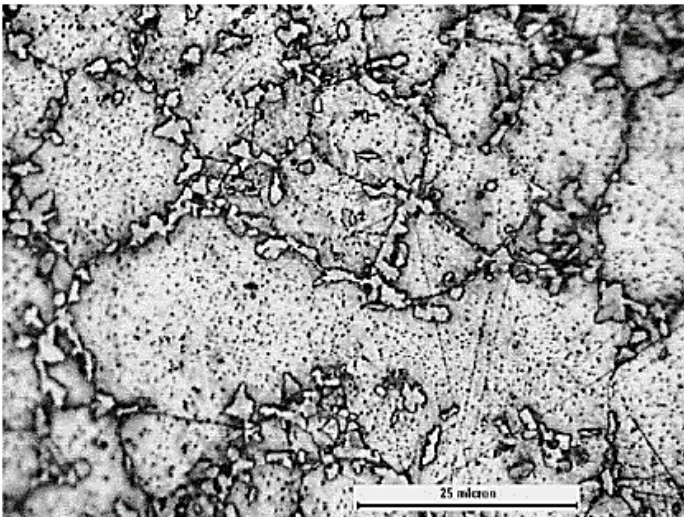
Gambar 4.30 Perkembangan struktur mikro pada pemanasan 550°C dengan waktu tahan selama (a) 15 menit dan (b) 30 menit – *water quench* (Fadhila, 2005).

Pada Gambar 4.30 (Fadhila, 2005) menunjukkan struktur mikro austenitik manganese steel setelah diberikan perlakuan panas 1050°C selanjutnya dipanaskan kembali menjadi 550°C dengan dua variasi waktu tahan selama 15 menit dan 30 menit diikuti dengan pendinginan cepat dengan media air. Dengan meningkatkan temperatur proses *aging*, akan lebih banyak presipitat yang terbentuk di batas butir.

Pada laju pendinginan yang sama, kemampuan karbida terdispersi dalam butiran setelah pendinginan tergantung pada temperatur perlakuan panas, dan presipitasi dalam batas butir yang membentuk fasa baru. Percobaan proses *aging* menunjukkan

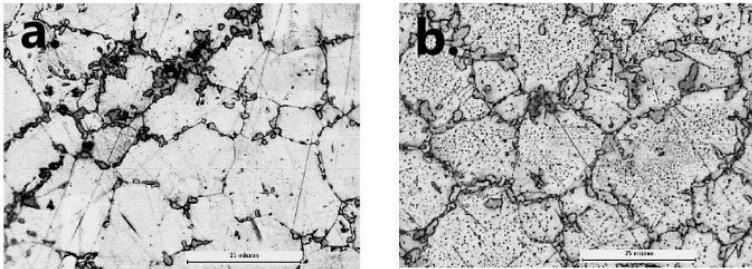
adanya dekomposisi fasa baru. Fasa baru diperkirakan sebagai fasa ferit dalam diagram fasa Fe-Mn murni.

Gambar 4.31 (Fadhila, 2005) menunjukkan struktur mikro dari *austenitic manganese steel* setelah dipanaskan hingga temperatur 1050°C selanjutnya dipanaskan pada temperatur 550°C dengan waktu penahanan selama 45 menit diikuti oleh pendinginan cepat dengan media air.



Gambar 4.31 Perkembangan struktur mikro pada pemanasan 550°C dengan waktu tahan selama 45 menit – *water quench* (Fadhila, 2005).

Fasa austenit penuh atau *full austenite* merupakan fasa yang diinginkan ketika melakukan perlakuan panas pada baja mangan austenit. Namun hal ini sangat sulit tercapai karena pada dasarnya setiap baja yang diberikan perlakuan panas tidak lepas dari karbida. Hal ini sangat berhubungan dengan adanya unsur pembentuk karbida seperti karbon, kromium, molibdenum, vanadium dan titanium didalam suatu komposisi baja.



Gambar 4.32 Perkembangan struktur mikro pada pemanasan 600°C dengan waktu tahan selama (a) 10 menit dan (b) 20 menit – *water quench* (Fadhila, 2005).

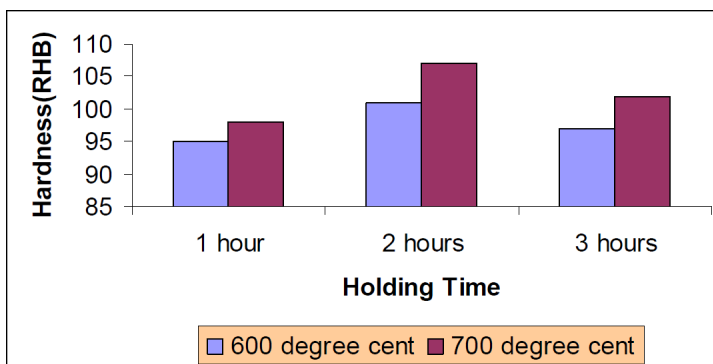
Gambar 4.32 (Fadhila, 2005) menunjukkan struktur mikro dari *austenitic manganese steel* setelah dipanaskan hingga temperatur 1050°C selanjutnya dipanaskan pada temperatur 600°C dengan dua variasi waktu penahanan selama 10 dan 20 menit diikuti oleh pendinginan cepat dengan media air. Struktur mikro pada gambar diatas menggambarkan fenomena difusi yang terjadi lebih jelas.

Pada perlakuan panas *austenitic manganese steel* yang diberikan pada temperatur 1050°C diikuti oleh proses pendinginan yang cepat menyebabkan terbentuknya larutan padat karbida yang mengendap dalam butiran murni fasa austenit. Dengan menahan fasa austenit ini, akan terjadi dispersi parsial austenit. Waktu dan temperatur pada proses *aging* akan mempengaruhi area dispersi dalam fasa austenit.

Pada hasil struktur mikro pada temperatur proses *aging* antara 400°C hingga 600°C dengan interval 50°C dengan variasi waktu penahanan. menunjukkan bahwa pembentukan austenit dimulai dengan terbentuknya presipitasi besi dan karbida mangan di batas butir, kemudian secara progresif diikuti proses difusi dalam batas butirnya sehingga memunculkan fasa baru. Penelitian ini membantu untuk memahami tentang perubahan yang terjadi dalam fasa dan perkembangan struktur mikro ketika suatu paduan baja mangan austenitik diberikan perlakuan panas berupa *aging*.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Aribo, 2010) mengamati pengaruh variasi temperatur *aging* dan waktu tahan yang diberikan pada *austenitic manganese steel* terhadap perubahan fasa pada struktur mikro dan sifat kekerasan. Peneliti tersebut memvariasikan temperatur *aging* sebesar 600°C dan 700°C dengan variasi waktu tahan 60, 120 dan 180 menit pada setiap spesimennya yang kemudian didinginkan dengan menggunakan media pendingin air. Sebelum melakukan proses *aging*, peneliti memberikan perlakuan panas *solution treatment* pada spesimen dengan temperatur austenisasi sebesar 1000°C selama 1 jam yang kemudian didinginkan cepat dengan menggunakan media air.

Perlakuan panas konvensional untuk *austenitic manganese steel* adalah *solution treatment* diikuti oleh pendinginan cepat, yang dibentuk sebelumnya dengan memanaskan baja di antara kisaran temperatur dari 1000°C hingga 1100°C, ditahan untuk waktu yang cukup tergantung pada ukuran baja dan kemudian didinginkan cepat dengan pendinginan dalam air. Proses ini memberikan sifat kekerasan pada baja mangan dengan nilai (Brinell) 200 HB hingga 250 HB atau dikonversikan sekitar (Rockwell) 93 hingga 101 HRB. Nilai kekerasan tersebut didapatkan berdasarkan ASTM A-128.

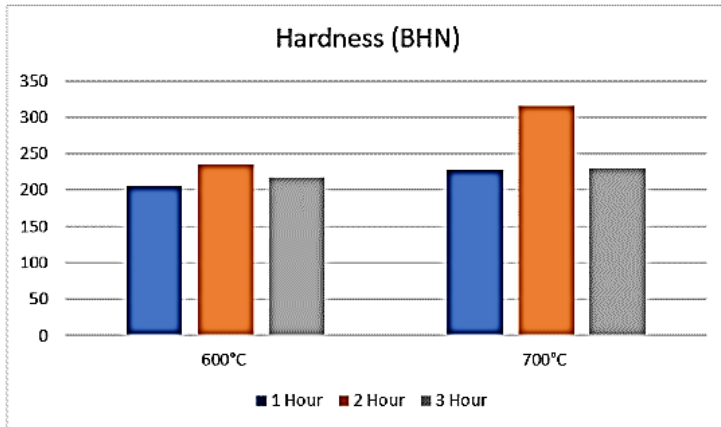


Gambar 4.33 Variasi nilai kekerasan dengan temperatur *aging* dan waktu tahan pada spesimen uji (Aribo, 2010).

Dapat dilihat pada Gambar 4.33 (Aribo, 2010) ketika baja mangan yang diberikan proses *aging* dengan temperatur 600°C menunjukkan adanya peningkatan dalam nilai kekerasan. Kekerasan meningkat seiring *holding time* meningkat dari jam pertama ke jam kedua tetapi kekerasan turun di jam ketiga. Sedangkan proses *aging* pada temperatur 700°C memiliki hasil yang mirip dengan yang disebutkan di atas, tetapi nilai kekerasan di jam kedua lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai kekerasan di jam kedua pada temperatur *aging* 600°C.

Jika dibandingkan dengan hasil pengujian kekerasan pada Gambar 4.34 pada penelitian yang dilakukan oleh (Panchal, 2016) meneliti pengaruh *aging* dengan variasi temperatur dan waktu tahan terhadap perubahan struktur mikro dan sifat kekerasan. Sebelum melakukan perlakuan *aging* pada baja mangan austenitik, peneliti memberikan perlakuan *solution treatment* dengan temperatur 1000°C selama 30 menit yang kemudian didinginkan cepat dengan media pendingin air.

Dapat dilihat pada Tabel 4.3 (Panchal, 2016) ketika baja mangan austenitik dengan perlakuan *aging* pada temperatur 600°C menunjukkan peningkatan dalam kekerasan. Kekerasan meningkat ketika jam penahanan meningkat dari jam pertama ke jam kedua tetapi kekerasan menurun pada jam ketiga. Perlakuan *aging* pada temperatur 700°C memiliki hasil yang mirip dengan yang disebutkan di atas, tetapi kekerasan pada jam kedua lebih tinggi dari perlakuan *aging* pada temperatur 600°C.

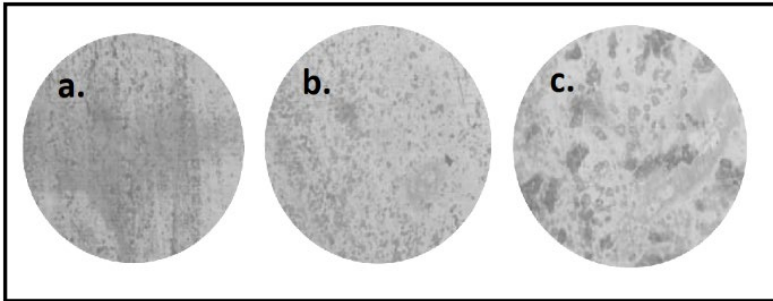


Gambar 4.34 Hasil pengujian kekerasan pada spesimen penelitian (Panchal, 2016).

Pada Gambar 4.35 (Panchal, 2016) perlakuan *aging* dengan temperatur 700°C menunjukkan adanya peningkatan kontinyu dalam pembentukan karbida sebagai inklusi dalam batas butir dan matriks fasa austenit. Sehingga, semakin meningkatnya pembentukan karbida semakin meningkatnya juga nilai kekerasan pada baja mangan. Struktur mikro pada perlakuan *aging* dengan temperatur 700°C, terbentuk karbida kecil dan sedikit didistribusikan dalam fase austenit setelah satu jam pertama. Setelah jam kedua karbida telah menyebar ke seluruh fasa austenit. Pada jam ketiga karbida telah tumbuh ke ukuran yang lebih besar tetapi masih tersebar dengan baik dalam matriks austenit.

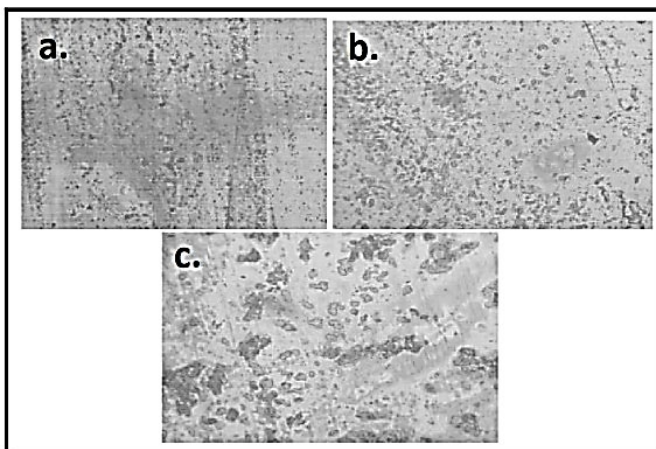
Tabel 4.3 Variabel penelitian yang dilakukan oleh (Panchal, 2016).

Temperature (°C)	600°C			700°C		
Sample	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Holding Time (Hours)	1	2	3	1	2	3



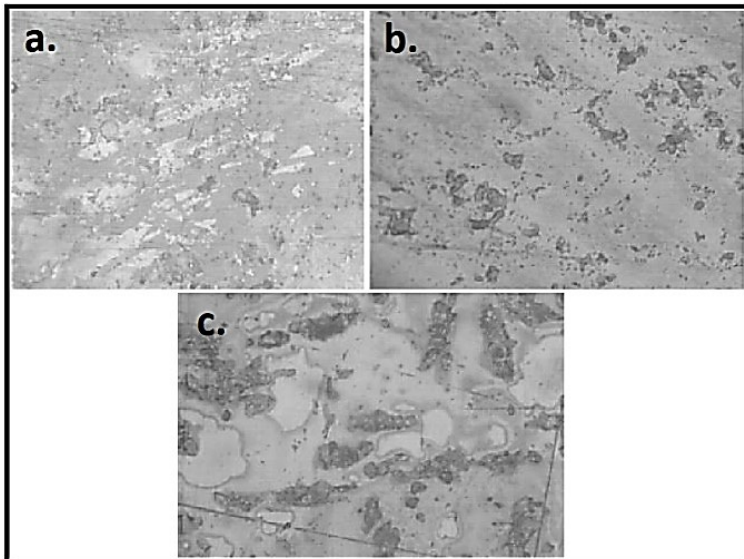
Gambar 4.35 Hasil pengujian struktur mikro pada spesimen perlakuan *aging* dengan temperatur 700°C dengan waktu tahan (a) 1 jam, (b) 2 jam dan (c) 3 jam (Panchal, 2016)

Dari kedua jurnal tersebut menyimpulkan bahwa nilai kekerasan terbaik dicapai ketika baja dipanaskan dengan perlakuan *aging* yaitu pada temperatur 700°C dengan waktu tahan selama 2 jam yang kemudian didinginkan cepat dengan media pendingin berupa air



Gambar 4.36 Hasil struktur mikro proses aging pada temperatur 700 °C dengan perbesaran 400X : (a) *Holding* 1 jam (b) *Holding* 2 jam (c) *Holding* 3 jam (Aribo, 2010).

Dapat dilihat pada Gambar 4.36 (Aribo, 2010) struktur mikro dari proses *aging* pada temperatur 700°C menunjukkan adanya peningkatan pembentukan karbida secara kontinu. Pada proses *aging* dengan waktu tahan selama 1 jam mulai terbentuk sedikit karbida pada fasa austenit. Setelah 2 jam waktu tahan, karbida telah menyebar ke seluruh fasa austenit. Pada waktu tahan tiga jam, karbida tumbuh ke ukuran yang lebih besar tetapi masih tersebar dengan baik dalam matriks austenit.



Gambar 4.37 Hasil struktur mikro proses aging pada temperatur 600°C dengan perbesaran 400X : (a) *Holding 1 jam* (b) *Holding 2 jam* (c) *Holding 3 jam* (Aribo, 2010).

Dapat dilihat pada Gambar 4.37 (Aribo, 2010) kecenderungan pembentukan karbida juga terjadi pada temperatur 600°C , tetapi untuk proses *aging* pada temperatur 600°C inklusi karbida tidak sebesar dan tersebar pada jam kedua seperti pada struktur mikro temperatur *aging* 700°C . Dapat digaris bawahi bahwa karbida tumbuh setelah 2 jam waktu tahan pada kedua

temperatur *aging*. Apabila ukuran karbida melebihi ukuran optimal yang secara efektif dapat menyebabkan peningkatan sifat kekerasan lebih lanjut.

Proses *aging* pada temperatur 700°C dengan waktu tahan selama dua jam memberikan baja mangan kekerasan yang optimal. Adanya inklusi karbida pada proses *aging* dapat meningkatkan kekuatan baja mangan. Apabila ukuran butir karbida yang terbentuk melebihi ukuran optimalnya pada saat inklusi karbida dapat menghambat pergerakan dislokasi pada fasa dan apabila pada proses inklusi karbida tidak diperbolehkan untuk berdifusi ke dalam batas butir maka dapat menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan pada baja.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari pengamatan jurnal adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh variasi temperatur perlakuan panas *precipitation hardening* pada struktur mikro baik itu dengan proses *solution treatment* dan *artificial aging* keduanya menunjukkan adanya pertumbuhan presipitat karbida (Fe, Mn)₃C, dengan matriksnya austenit. Pada proses *aging* bertujuan untuk meningkatkan nilai kekerasan pada baja mangan. Semakin meningkatnya temperatur pada proses perlakuan *solution treatment* semakin larut presipitat karbida ke dalam fasa pelarut matriks austenit sehingga semakin menurunkan nilai kekerasan suatu baja mangan. Semakin meningkatnya temperatur pada proses perlakuan *aging* semakin banyak presipitat karbida halus yang terdispersi pada batas butir dan matriks austenit sehingga dapat meningkatkan nilai kekerasan baja mangan austenitik.
2. Pengaruh variasi waktu tahan perlakuan panas *precipitation hardening* pada struktur mikro dengan proses *solution treatment* menunjukkan adanya proses difusi unsur karbon (C) yang berada pada presipitat karbida dan terlarutnya presipitat ke dalam matriks fasa austenit jika spesimen diberikan waktu tahan pemanasan yang lama. Apabila spesimen perlakuan *artificial aging* diberikan waktu tahan pemanasan yang lambat akan membuat presipitat karbida yang terdispersi pada batas butir dan matriks austenit membesar sehingga menurunkan nilai kekerasan pada baja mangan austenitik. Hal ini dinamakan sebagai *over aged*.

5.2 Saran

Adapun saran dari pengamatan jurnal adalah sebagai berikut:

1. Untuk memperoleh akurasi pada penelitian selanjutnya berbasis *experimental*, pengujian struktur mikro lebih banyak divariasikan agar lebih banyak data pendukung yang diperoleh.
2. Untuk memperoleh data yang valid pada penelitian berbasis *experimental*, fasilitas harus sangat memadai dikarenakan perlakuan panas pada *artificial aging* membutuhkan temperatur diatas rata-rata pada penggunaan alat *furnace* pada umumnya.
3. Dari kedua pengaruh variasi yang diberikan yakni temperatur dan waktu tahan, keduanya sangat terikat sehingga masing-masing variasi tersebut sangat penting dan tidak dapat dipisahkan dalam sebuah variabel proses perlakuan panas baja mangan austenitik
4. Untuk memperoleh sifat mekanik yang optimal dan sesuai dengan standar yang berlaku, pemberian temperatur pada pemanasan *solution treatment* dengan proses *step heating* dengan pemanasan awal sebesar 575°C ditahan selama 3 jam kemudian dinaikkan ke temperatur austenisasi sebesar 1050°C dengan waktu tahan pemanasan selama 60 menit pendinginan cepat media air. Sedangkan untuk proses perlakuan panas *artificial aging* diberikan pemanasan diantara temperatur 500°C hingga 550°C dengan waktu tahan pemanasan selama 60 menit dengan pendinginan cepat media air.

DAFTAR PUSTAKA

- _____.2000. **ASM Handbook Vol.4. Heat Treating.** ASM International Handbook Committee.
- _____.2000. **ASM Handbook Vol.8. Mechanical Testing and Evaluation.** ASM International Handbook Committee.
- _____.2000. **ASM Handbook Vol.9. Metallography and Microstructures.** ASM International Handbook Committee.
- Alyaz, Serhat. 2003. “Effect of Heat Treatment and Chemical Composition on Microstructure and Mechanical Properties of Hadfield Steels.” Turkey: Middle East Technical University.
- Aribo, S., Alaneme, K.K., Folorunso, D.O. dan F.O. Aramide. 2010. “Effect of Precipitation Hardening on Hardness and Microstructure of Austenitic Manganese Steel.” Nigeria: Federal University of Technology.
- ASTM. A – 128. **Standard Specification for Steel Castings, Austenitic Manganese.**
- ASTM. E – 140. **Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness.**
- Avery, H.S. 1990. *Austenitic Manganese Steel*, Metals Handbook, Vol 1, 10th ed, Properties and Selection Iron, Steel and High Performance Alloy, ASM International.
- Avner, S. H. 1974. **Introduction to Physical Metallurgy.** New York: Mc-Graw-Hill Book Company.
- Bahfie, F., Aleiya, Z., Milandia, A., Nurjaman, F. 2020. “The Effect of Manganese Content and Austenitization Temperature on The Microstructure and Mechanical Properties of Manganese Steel.” Banten: Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Callister, W. D. 2009. **Materials Science and Engineering an Introduction.** Hoboken: Jhon Willey & Sons,inc.

-
- Cardarelli, F. 2008. **Materials Handbook A Concise Desktop Reference Second Edition**. London: Springer.
- Chowrasia, Mukesh Kr., Akshay Kumar, M.K. Banerjee, dan U. Pandel. 2019. "Effect Aging on Structure and Properties of a Transformation-Induced Plasticity-Aided High-Manganese Steel." India: Malaviya National Institute of Technology.
- De Garmo, E.P. 2007. **Materials and Processes in Manufacturing Tenth Edition**. New York: Mac Milian Company.
- Ibitoye, S.A., Olawale, J.O. dan Shittu, M.D. 2009. "Mechanical Properties of Quench Hardened, Martempered and Tempered ASTM A 128 Grade B-4 Steel." Nigeria: Obafemi Awolowo University.
- Fadhila, Reza. 2005. "Characterize of Austenitic Manganese -3401 Microstructural Due to RCP." Medan: Universitas Negeri Medan.
- Hidayat, E., & Bandanadjaja, B. 2018. "Peningkatan Nilai Impak Baja Hadfield Mn 12 Melalui Proses Perlakuan Panas Homogenisasi Bertahap." *Jurnal Energi Dan Teknologi Manufaktur (JETM)*
- J. Gilbert Kaufman, E. L. 2004. **Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications**. United States of America: ASM International.
- Tasker, J., Austenitic Manganese steel-fact and fallacy. Intermountain Minerals Symposium. Vail; Colorado, 3-6 August, 1982 pp 3-19
- Kalpakjian, Serope. 2010. **Manufacturing Processes for Engineering Materials Sixth Edition**. New Jersey: Pearson Education Inc.
- Kubaschewski, O. 1982. **Iron-binary Phase Diagrams**. Berlin: Springer.
- Kurniawan, Bobby Endi dan Yuli Setiyorini. 2014. "Pengaruh Variasi Holding Time Pada Perlakuan Panas Quench Annealing Terhadap Sifat Mekanik dan Mikro Struktur
-

- Pada Baja Mangan AISI 3401." Surabaya: Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nurjaman, F., Bahfie, F., W Astuti and A Shofi. 2017. "The Effect of Solid Solution Treatment on The Hardness and Microstructure of 0.6%wt C-10.8%wt Mn-1.44%wt Cr Austenitic Manganese Steel." Lampung: Indonesian Institute of Sciences.
- Mulyanti, Juriah. 2011. "Pengaruh Kadar Mangan (Mn) dan Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Paduan Baja Mangan Austenit." Depok: Universitas Indonesia.
- Olawale. 2013. "Workhardening Behaviour and Microstructural Analysis of Failed Austenitic Manganese Steel Crusher Jaws." Nigeria: Obafemi Awolowo University Ile-Ife.
- Panchal, Keyur. 2016. "Life Improvement of Hadfield Manganese Steel Castings." India: Ghandhy College of Engineering & Technology.
- Pratomo, Sri Bimo., Husen, Taufiq., Mahaputra, dan Winda, Sri Jaman. 2016. "Penelitian dan Pengembangan Material Jaw Plate yang Terbuat Dari Baja Mangan Untuk Substitusi Impor." Bandung: Balai Besar Logam Dan Mesin.
- Santosa, Aa., dan Jimi, Muhamad. 2018. "Pengaruh Perbedaan Komposisi Mangan Pada Komponen Jaw Plate Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro." Karawang: Universitas Singaperbangsa Karawang.
- Sibarani, Ir. Humisar. 2012. "Pengaruh Temperatur Artificial Aging Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Pada Coran Paduan Al-Cu." Medan: Universitas HKBP Nommensen.
- Shigley, J.E. dan Mischke, C.R. 1996. Mechanical Engineering Design Fifth Edition. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Sujatno, Agus. Rohmad Salam, Bandriyana. dan Arbi Dimiyati. 2015. **Studi Scanning Electron Microscopy (SEM)**

Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. Banten: Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, PSTBM-BATAN.


Surdia, T., dan Saito, S. 1985. **Pengetahuan Bahan Teknik Edisi ke-4.** Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Thelning, Karl Erik. 1984. **Steel and Its Heat Treatment**, Oxford: Butterworth Heinemann.

Totten, George E. 2007. **Steel Heat Treatment Metallurgy and Technologies Second Edition.** USA: Taylor & Francis Group.

Widyanto, B.A., A. Sambas dan M. Permana. 2004. "Pengaruh Dimensi Pada Hasil Solution Treatment Baja Mangan Hadfield." Surabaya: Seminar Nasional Ilmu dan Teknologi Material, ITS Surabaya.

LAMPIRAN




A 128/A 128M – 93 (2003)

TABLE 1 Chemical Requirements

Grade ^A	Composition, %						
	Carbon	Manganese	Chromium	Molybdenum	Nickel	Silicon	Phosphorus
A ^B	1.05-1.35	11.0 min	...	...	...	1.00 max	0.07 max
B-1	0.9 -1.05	11.5-14.0	...	...	...	1.00 max	0.07 max
B-2	1.05-1.2	11.5-14.0	...	...	...	1.00 max	0.07 max
B-3	1.12-1.28	11.5-14.0	...	...	...	1.00 max	0.07 max
B-4	1.2 -1.35	11.5-14.0	...	...	...	1.00 max	0.07 max
C	1.05-1.35	11.5-14.0	1.5-2.5	...	...	1.00 max	0.07 max
D	0.7 -1.3	11.5-14.0	...	...	3.0-4.0	1.00 max	0.07 max
E-1	0.7 -1.3	11.5-14.0	...	0.9-1.2	...	1.00 max	0.07 max
E-2	1.05-1.45	11.5-14.0	...	1.8-2.1	...	1.00 max	0.07 max
F (J91340)	1.05-1.35	6.0-8.0	...	0.9-1.2	...	1.00 max	0.07 max

^A Section size precludes the use of all grades and the producer should be consulted as to grades practically obtainable for a particular design required. Final selection shall be by mutual agreement between manufacturer and purchaser.

^B Unless otherwise specified, Grade A will be supplied.



E 140 – 07

TABLE 5 Approximate Brinell-Rockwell B Hardness Conversion Numbers for Austenitic Stainless Steel Plate in Annealed Condition^{A,B}

Rockwell Hardness Number, B Scale (100-kgf, 1/16-in. (1.588-mm) ball) (HRB)	Brinell Hardness Number (3000-kgf, 10-mm ball) (HBS)
100	256
99	248
98	240
97	233
96	226
95	219
94	213
93	207
92	202
91	197
90	192
89	187
88	183
87	178
86	174
85	170
84	167
83	163
82	160
81	156
80	153
79	150
78	147
77	144
76	142
75	139
74	137
73	135
72	132
71	130
70	128
69	126
68	124
67	122
66	120
65	118
64	116
63	114
62	113
61	111
60	110

^A In table headings, kgf or gf refers to total test force.

^B Appendix X5 contains an equation converting determined Brinell hardness numbers to Rockwell B hardness numbers for austenitic steel plate in the annealed condition. Refer to 1.11 before using this conversion equation.


 E 140 – 07

TABLE 6 Approximate Rockwell Hardness Conversion Numbers for Austenitic Stainless Steel Sheet^{1,2}

Note: 1—These conversions are based on interlaboratory tests conducted on the following grades: Types 201, 202, 301, 302, 304, 304L, 305, 316, 316L, 321, and 347. Tempers ranged from annealed to extra hard for Type 301, with a smaller range of tempers for the other types. Test coupon thicknesses ranged from approximately 0.1 in. (2.5 mm) to 0.050 in. (1.27 mm).

Rockwell Hardness Number		Rockwell Superficial Hardness Number			
C Scale, 150-kgf Diamond Penetrator (HRC)	A Scale, 60-kgf, Diamond Penetrator (HRA)	15-N Scale, 15-kgf, Superficial Diamond Penetrator (HR 15-N)	30-N Scale, 30-kgf, Superficial Diamond Penetrator (HR 30-N)	45-N Scale, 45-kgf, Superficial Diamond Penetrator (HR 45-N)	
48	74.4	84.1	66.2	52.1	
47	73.9	83.6	65.2	50.9	
46	73.4	83.1	64.5	49.8	
45	72.9	82.6	63.6	48.7	
44	72.4	82.1	62.7	47.5	
43	71.9	81.6	61.8	46.4	
42	71.4	81.0	61.0	45.2	
41	70.9	80.5	60.1	44.1	
40	70.4	80.0	59.2	43.0	
39	69.9	79.5	58.4	41.8	
38	69.3	79.0	57.5	40.7	
37	68.8	78.5	56.6	39.6	
36	68.3	78.0	55.7	38.4	
35	67.8	77.5	54.9	37.3	
34	67.2	77.0	54.0	36.1	
33	66.6	76.5	53.1	35.0	
32	66.3	75.9	52.3	33.9	
31	65.8	75.4	51.4	32.7	
30	65.3	74.9	50.5	31.6	
29	64.8	74.4	49.6	30.4	
28	64.3	73.9	48.8	29.3	
27	63.8	73.4	47.9	28.2	
26	63.3	72.9	47.0	27.0	
25	62.8	72.4	46.2	25.9	
24	62.3	71.9	45.3	24.8	
23	61.8	71.3	44.4	23.6	
22	61.3	70.8	43.5	22.5	
21	60.8	70.3	42.7	21.3	
20	60.3	69.8	41.8	20.2	

B Scale, 100-kgf, 1/16-in. (1.588-mm) Ball (HRB)	A Scale, 60-kgf, Diamond Penetrator (HRA)	F Scale, 60-kgf, 1/16-in. (1.588-mm) Ball ¹ (HRF)	15-T Scale, 15-kgf, 1/16-in. (1.588-mm) Ball (HR 15-T)	30-T Scale, 30-kgf, 1/16-in. (1.588-mm) Ball (HR 30-T)	45-T Scale, 45-kgf, 1/16-in. (1.588-mm) Ball (HR 45-T)
100	61.5	(113.9)	91.5	80.4	70.2
99	60.9	(113.2)	91.2	79.7	69.2
98	60.3	(112.5)	90.8	79.0	68.2
97	59.7	(111.8)	90.4	78.3	67.2
96	59.1	(111.1)	90.1	77.7	66.1
95	58.5	(110.5)	89.7	77.0	65.1
94	58.0	(109.8)	89.3	76.3	64.1
93	57.4	(109.1)	88.9	75.6	63.1
92	56.8	(108.4)	88.6	74.9	62.1
91	56.2	(107.8)	88.2	74.2	61.1
90	55.6	(107.1)	87.8	73.5	60.1
89	55.0	(106.4)	87.5	72.8	59.0
88	54.5	(105.7)	87.1	72.1	58.0
87	53.9	(105.0)	86.7	71.4	57.0
86	53.3	(104.4)	86.4	70.7	56.0
85	52.7	(103.7)	86.0	70.0	55.0
84	52.1	(103.0)	85.6	69.3	54.0
83	51.5	(102.3)	85.2	68.6	52.9
82	50.9	(101.7)	84.9	67.9	51.9
81	50.4	(101.0)	84.5	67.2	50.9
80	49.8	(100.3)	84.1	66.5	49.9
79	49.2	99.6	83.8	65.8	48.9
78	48.6	99.0	83.4	65.1	47.9
77	48.0	98.3	83.0	64.4	46.8
76	47.4	97.6	82.6	63.7	45.8
75	46.9	96.9	82.3	63.0	44.8
74	46.3	96.2	81.9	62.4	43.8
73	45.7	95.6	81.5	61.7	42.8
72	45.1	94.9	81.2	61.0	41.8
71	44.5	94.2	80.8	60.3	40.7
70	43.9	93.5	80.4	59.6	39.7

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Pengerjaan tugas akhir di dedikasikan kepada seluruh elemen yang memberikan inspirasi kepada penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada

1. Papi, Mami, Mbak Shisty dan Mas Ari selaku keluarga tercinta penulis yang telah menjadi sumber motivasi dan inspirasi selama proses penyusunan tugas akhir, serta telah memberi dukungan baik secara moril maupun materil, dan tentunya doa yang tidak henti-hentinya disemogakan untuk kesehatan dan kelancaran penulis selama penyusunan laporan tugas akhir.
2. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS atas ilmu dan ajarannya yang membuat penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir.
3. Rekan seperjuangan *austenitic manganese steels* dan diskusi tugas akhir Bayu, Aria dan Edwin yang membuat beban tugas akhir serasa tidak dipikul sendirian karena punya rasa yang sama baik saat berhasil maupun gagal.
4. Teman-teman metal mentul yang selalu berbagi motivasi, wawasan dan jam bimbingan sehingga proses pengerjaan tugas akhir berjalan dengan lancar.
5. Seluruh mahasiswa teknik material dan metalurgi, terkhusus keluarga besar MT18 yang sudah memperlihatkan pemandangan masa kuliah yang selalu bisa dikenang.
6. Anggota dan pengurus HMMT FTI-ITS yang telah memberi banyak pembelajaran dan proses pendewasaan, serta selalu menciptakan lingkungan yang membangun selama kehidupan perkuliahan.
7. Para penghuni kosan Wisper 58 baik yang telah mendapat perkerjaan di luar sana, maupun rekan seperjuangan wisuda

122 yang banyak membantu penulis dalam menerima inspirasi dengan belajar bersama dan mencegah skip kelas.

8. Teman-teman yang datang dikala penulis sedang di atas dan pergi di saat penulis terpuruk yang menjadi salah satu sumber motivasi penulis dalam merencanakan visi kedepan.
9. Teman-teman yang setia menemani penulis ketika mengalami kegagalan dalam hidup yang mengajarkan pentingnya akan sebuah kegagalan sebagai racikan kesuksesan dalam kehidupan.
10. Teman-teman Gibah squad (Vito, Henokh, Daniel, Erasmus, Aria, Afni, Wira, Rio, Vian, Iqbal, Edwin dan Firman) yang selalu menampung aspirasi penulis setiap masa liburan maupun perkuliahan sekaligus menjadi tempat *brainstorming*.
11. Teman-teman Crazy Rich Rented yang selalu menampung aspirasi penulis dan penulis setiap selesai melaksanakan perkuliahan maupun sebelum perkuliahan sekaligus menjadi tempat bertukar pikiran.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 21 Agustus 1996, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dasar di SD Negeri Pucang 1 Sidoarjo. Lalu melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Al-Falah Deltasari Waru Sidoarjo, dan pendidikan menengah akhir di SMA Negeri 1 Sidoarjo. Penulis melanjutkan pendidikan Strata 1 di Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS pada tahun 2016-2020. Saat menempuh pendidikan Strata 1, penulis aktif di berbagai kegiatan baik akademik maupun non-akademik. Penulis tercatat pernah menjadi Grader Laboratorium Metalurgi bidang Teknik Pengecoran selama 4 bulan yaitu pada tahun 2019-2020. Penulis juga aktif di dalam beberapa organisasi ITS, antara lain: Staff Divisi *Analysis and Design ITS Material Advantage Chapter*. Penulis juga aktif dalam beberapa pelatihan di ITS, antara lain: LKMM Pra-TD, LKMM TD, BMS, dan PKTI-TD. Penulis juga memiliki pengalaman kerja praktik di PT Pertamina (Persero), Refinery Unit (RU) V di Balikpapan, Kalimantan Timur pada bulan Juli-Agustus tahun 2019 dengan mengambil judul penelitian “Analisis Kebocoran Pada *Bottom Plate Tank D-20-07-C Automotive Diesel Oil* di Area *Oil Movement* Utara PT Pertamina (Persero) RU V Balikpapan”. Tugas akhir yang diambil penulis yaitu pada bidang Metalurgi dengan judul “**Review Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Tahan *Artificial Aging Austenitic Manganese Steels* Terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro**”. Penulis dapat dihubungi melalui nomor 081231469515 atau melalui email rhezawibawa@gmail.com.