



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR –TL184834

REVIEW

**PENGARUH KOMPOSISI TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN
STRUKTUR MIKRO AUSTENITIC MANGANESE STEEL**

**Edwin Evan Halim
NRP. 02511640000115**

**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 KOMPOSISI TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO AUSTENITIC
MANGANESE STEEL**

EDWIN EVAN HALIM
NRP. 02511640000115

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 PENGARUH KOMPOSISI TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO AUSTENITIC
MANGANESE STEEL**

EDWIN EVAN HALIM
NRP. 02511640000115

Advisor
Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.
Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING
DEPARTMENT
Faculty of Industrial and Systems Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**REVIEW PENGARUH KOMPOSISI TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO AUSTENITIC
MANGANESE STEEL**

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:

EDWIN EVAN HALIM

NRP 02511640000115

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

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



SURABAYA
Juli 2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

REVIEW PENGARUH KOMPOSISI TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO AUSTENITIC MANGANESE STEEL

Nama : Edwin Evan Halim
NRP : 02511640000115
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing : Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.
Co-Pembimbing : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

Abstrak

Baja *austenitic manganese steel* merupakan baja paduan dengan kandungan mangan sebesar 11%-14%. Baja ini sering digunakan di industri pertambangan maupun *Asphalt Mixing Plant* (AMP). Seringkali kegagalan terjadi karena tidak sesuai dengan standar ASTM A-128. Sifat mekanik tersebut dapat dipengaruhi oleh kandungan yang terdapat pada baja tersebut. Ada berbagai unsur yang mempengaruhi baja tersebut, salah satunya yaitu mangan itu sendiri, dimana mangan tersebut merupakan unsur penstabil austenit, oleh karena itu diharapkan mangan yang cukup dapat membuat fasa austenit lebih stabil di temperatur ruang. Unsur lain yang tak kalah penting yaitu krom, molybdenum, dan vanadium. Pada review jurnal ini, didapatkan hasil yang optimal untuk unsur mangan sebanyak 10-15%, kemudian vanadium dengan unsur sebanyak 0-2%, dan molybdenum sebanyak 0-2%.

Kata Kunci : *Austenitic Manganese Steel, krom, Mangan, Vanadium, Molybdenum*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**REVIEW PENGARUH KOMPOSISI TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO AUSTENITIC
MANGANESE STEEL**

Student Name : Edwin Evan Halim
NRP : 02511640000115
Department : Material Engineering
Advisor : Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.
Co-Advisor : Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

Abstract

Austenitic manganese steel is a steel that contains 11%-14% manganese. This steel is broadly used for mining industries and asphalt mixing plant industries. Mostly, failures happen because the mechanical properties don't correspond with the standards itself, which is ASTM A-128, where the optimal hardness for this steel is around 209-215 HB. Mechanical properties are affected by the element of the manganese steel itself, for example is manganese. Manganese is an element that stabilize austenite phase on room temperature, which is expected to be able to get austenite phase on room temperature. Other important element that affects the mechanical properties are Chrome, Vanadium, and Molybdenum. In this paper review, the optimal manganese steel is at 10-15% range, vanadium is optimal at 0-2% range, and molybdenum is optimal at 0-2% range.

Keywords : *Austenitic Manganese Steel, Chrome, Manganese, Vanadium, Molybdenum*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan YME yang telah melimpahkan berkat-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:

1. Tuhan YME yang memberikan ilmu, kesempatan, kesehatan, dan kelancaran dalam tugas akhir
2. Ayah, dan ibu 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



Edwin Evan Halim
02511640000115

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
Abstrak	vii
Abstract.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan <i>Review</i> Jurnal	2
1.5 Manfaat <i>Review</i> Jurnal	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Baja</i>	5
2.2 Mangan (Mn).....	6
2.3 Austenitic Manganese Steel	6
2.4 Perlakuan Panas	8
2.4.1 Solution Treatment	9
2.4.2 Tempering	9
2.4.3 Quenching	10
2.5 Sand Casting	11
2.6 Pengujian	11
2.6.1 Uji Kekerasan (<i>Hardness Test</i>).....	11
2.6.2 Uji Metalografi	14
2.6.3 Pengujian Impact	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	17
3.2 Metode Penelitian	19
3.3 Ruang Lingkup Pembahasan Jurnal	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis dan Pembahasan.....	21

4.1.1	Pengaruh Unsur <i>Mangan</i> dan <i>Chrome</i>	21
4.1.2	Pengaruh unsur Vanadium.....	31
4.1.3	Pengaruh unsur Molybdenum.....	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA		57
LAMPIRAN.....		61
UCAPAN TERIMA KASIH.....		65
BIODATA PENULIS.....		67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengaruh penambahan mangan (Mn) pada diagram fasa Fe-Fe ₃ C	6
Gambar 2.2	Contoh cetakan pasir yang digunakan pada proses pengecoran	11
Gambar 2.3	Deformasi indentor kekerasan. (a) <i>Modeling clay</i> . (b) <i>Low carbon steel</i> (ASM Handbook Vol 8, 2000)	12
Gambar 2.4	Pengujian vickers (ASM Handbook Vol 8, 2000)	13
Gambar 2.5	Ukuran dan bentuk obyek perbesaran	14
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	18
Gambar 4.1	Nilai kekerasan I-1 (Mn 12,8%), I-2 (Mn 16,1%), dan I-3 (18,4%)	23
Gambar 4.2	Nilai kekerasan pada baja mangan dengan temperatur austenisasi 950 °C, 1000 °C, dan 1050 °C	24
Gambar 4.3	Hasil pengujian kekerasan penelitian Alyaz	25
Gambar 4.4	Struktur mikro produk cor 1 Mn 10% Cr 1,7%, etsa nital, perbesaran 200x	25
Gambar 4.5	Struktur mikro produk cor 2 Mn 10% Cr 3,5% etsa nital, perbesaran 200x	26
Gambar 4.6	Struktur mikro produk cor 3 Mn 13,5%, etsa nital, perbesaran 200x	26
Gambar 4.7	Struktur mikro baja mangan hasil <i>heat treatment</i> pada Sampel A (Mn 5,87%), sampel B (Mn 9,42%), sampel C (Mn 15,28%)	28
Gambar 4.8	Hasil mikrostruktur sampel I-1 (Mn 12,8%)	30
Gambar 4.9	Hasil mikrostruktur sampel I-3 (Mn 18,4%)	30
Gambar 4.10	Hasil struktur mikro <i>hadfield steel</i> kondisi <i>as-cast</i>	32
Gambar 4.11	Hasil struktur mikro <i>hadfield steel</i> kondisi <i>heat-treated</i>	32

Gambar 4.12	Hasil struktur mikro <i>hadfield steel</i> dengan tambahan <i>High-Vanadium</i> kondisi <i>as-cast</i>	33
Gambar 4.13	Hasil struktur mikro <i>hadfield steel</i> dengan tambahan <i>High-Vanadium</i> kondisi <i>heat-treated</i>	33
Gambar 4.14	Hasil uji kekerasan Penelitian Moghaddam	34
Gambar 4.15	Hasil uji ketangguhan Penelitian Moghadda	34
Gambar 4.16	Hasil pengujian kekerasan Penelitian Mahlami	36
Gambar 4.17	Hasil pengujian ketangguhan penelitian Mahlami	37
Gambar 4.18	Hasil mikrostruktur sampel 1	38
Gambar 4.19	Hasil mikrostruktur sampel 2	39
Gambar 4.20	Hasil mikrostruktur sampel 3	39
Gambar 4.21	Hasil mikrostruktur <i>hadfield steel</i>	40
Gambar 4.22	Hasil struktur mikro alloy 1 dengan 1,7% V	41
Gambar 4.23	Hasil struktur mikro alloy 2 dengan 1,4% V	41
Gambar 4.24	Hasil struktur mikro alloy 3 dengan 4,5% V	42
Gambar 4.25	Hasil struktur mikro alloy 4 dengan 7,9% V	42
Gambar 4.26	Hasil Pengujian kekerasan dan ketangguhan	43
Gambar 4.27	Hasil pengujian tarik seluruh sampel	44
Gambar 4.28	Hasil Pengujian <i>tensile</i> material 16-18Mn & 16-18 Mn 2 Mo	45
Gambar 4.29	Hasil pengujian elongasi material 16-18 Mn & 16-18 Mn 2 Mo	46
Gambar 4.30	Hasil mikrostruktur sampel Mo.0 (Mo 0%)	47
Gambar 4.31	Hasil mikrostruktur sampel Mo.2 (Mo 0,21%)	47
Gambar 4.32	Hasil mikrostruktur sampel Mo.4 (Mo 0,43%)	48
Gambar 4.33	Hasil mikrostruktur sampel Mo.6 (0,62%)	48
Gambar 4.34	Hasil mikrostruktur sampel 1 (Mo 0%)	49
Gambar 4.35	Hasil mikrostruktur sampel 2 (Mo 1,3%)	50
Gambar 4.36	Perbandingan antar jurnal pengaruh mangan terhadap kekerasan	51

Gambar 4.37	Perbandingan antar jurnal pengaruh vanadium terhadap kekerasan (HV).....	52
Gambar 4.38	Perbandingan antar jurnal pengaruh vanadium terhadap ketahanan <i>impact</i>	53
Gambar 4.39	Perbandingan antar jurnal pengaruh molybdenum terhadap elongasi (%)	54

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat mekanik pada penambahan karbon <i>austenitic manganese steel</i>8
Tabel 3.1	Tabel Referensi Jurnal19
Tabel 4.1	Tabel komposisi penelitian Pratomo21
Tabel 4.2	Hasil kekerasan produk Cor 1 (Mn 10%, Cr 1,7%), produk cor 2 (Mn 10%, Cr 3,5%), dan produk cor 3 (Mn 13,5%, Cr 0%)22
Tabel 4.3	Hasil <i>impact</i> produk Cor 1 (Mn 10%, Cr 1,7%), produk cor 2 (Mn 10%, Cr 3,5%), dan produk cor 3 (Mn 13,5%, Cr 0%)22
Tabel 4.4	Tabel komposisi penelitian Bahfie23
Tabel 4.5	Hasil perhitungan distribusi fasa-fasa pada Sampel A (Mn 5,87%), sampel B (Mn 9,42%), sampel C (Mn 15,28%).29
Tabel 4.6	Tabel komposisi penelitian E.G. Moghaddam31
Tabel 4.7	Tabel Hasil Pengujian Kekerasan dan Ketangguhan.....35
Tabel 4.8	Variasi Komposisi Penelitian Mai Khanh pham35
Tabel 4.9	Tabel variasi komposisi penelitian Mahlami36
Tabel 4.10	Tabel Variasi Komposisi Penelitian M. Mohammadnezhad.....43
Tabel 4.11	Tabel Variasi Komposisi Penelitian Razavi44

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mangan steel atau yang disebut juga *hadfield steel*, merupakan baja paduan yang mengandung sekitar 1,4% C dan 14% Mn yang memiliki sifat unik seperti ketangguhan tinggi, keuletan, dan tahan aus yang membuat baja jenis ini cocok untuk aplikasi di pertambangan, dan sektor pemecah mineral. Salah satu aplikasi mangan steel yaitu mesin *jaw crusher* (Falodun, 2019).

Mesin *jaw crusher* adalah mesin penghancur bongkahan material dan banyak digunakan di industri pertambangan di Indonesia untuk menghancurkan bongkahan mineral logam menjadi partikel-partikel yang lebih halus. Tekanan mekanik yang dihasilkan untuk menghancurkan bongkahan material adalah dengan menggunakan dua rahang, satu rahang yang tidak bergerak, dan satu rahang yang bergerak maju-mundur. Kedua rahang tersebut dilapisi oleh komponen yang tahan aus, yang disebut *jaw plate*. *Jaw plate* adalah komponen habis pakai (*consumable*). Hal tersebut disebabkan komponen ini bergesekan langsung dengan benda kerja yang keras. Komponen ini umumnya terbuat dari baja mangan. Komponen *jaw plate* yang digunakan untuk industri pertambangan di Indonesia umumnya diimpor dari China. Ada beberapa produsen lokal untuk membuat komponen ini, tetapi dikarenakan pengetahuan pembuatan baja mangan yang kurang memadai, menyebabkan komponen yang dihasilkan tidak memenuhi standar. Komposisi kimia dan perlakuan panas pencelupan air (*water quenching*) adalah dua faktor penting untuk menghasilkan baja mangan dengan sifat mekanis yang sesuai. Kandungan krom sangat berpengaruh kepada sifat baja mangan, terutama untuk meningkatkan ketahanan korosi dan ketahanan aus. Tetapi karena krom termasuk unsur pembentuk karbida yang kuat maka diperlukan temperatur tinggi saat proses austenitisasi, untuk melarutkan karbida yang terbentuk. Juga sifat mekanis baja mangan sangat tergantung kepada jumlah karbon dan mangan.

Pada tahun 2016, Sri Bimo Pratomo dkk melakukan penelitian terhadap *austenitic manganese steel* untuk aplikasi *jaw plate* yang diberikan perlakuan panas dengan variasi komposisi, dan *heat treatment*. Dari penelitian tersebut dapat diketahui bahwa hasil dengan komposisi C 1%, Si 0,8%, Mn 13,5%, dan tanpa chrome memiliki nilai kekerasan paling rendah namun impak paling tinggi.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam *review* jurnal ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh komposisi terhadap sifat mekanik *austenitic manganese steel*?
2. Bagaimana pengaruh komposisi terhadap struktur mikro *austenitic manganese steel*?

1.3 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah dalam *review* jurnal ini adalah sebagai berikut:

1. Lama *holding time* ketika *solution treatment* diabaikan

1.4 Tujuan Review Jurnal

Adapun tujuan dalam *review* jurnal ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh komposisi terhadap sifat mekanik *austenitic manganese steel*
2. Menganalisis pengaruh komposisi terhadap struktur mikro *austenitic manganese steel*

1.5 Manfaat Review Jurnal

Adapun manfaat dari *review* jurnal ini adalah untuk mengetahui pengaruh komposisi terhadap kekerasan, ketangguhan dan struktur mikro pada *austenitic manganese steels* untuk aplikasi *jaw plate* dengan metode *sand casting*. Serta dengan adanya *review* jurnal ini diharapkan menambah database terkait pengaruh komposisi pada material *austenitic manganese steels*. Selanjutnya

juga dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu teknologi khususnya di bidang Teknik Material dan Metalurgi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

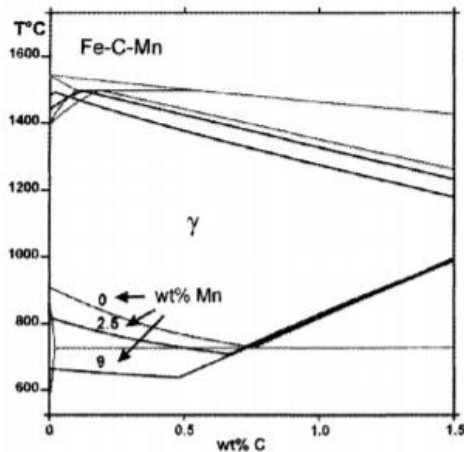
Baja merupakan paduan dari besi-karbon dan beberapa elemen paduan lain yang memiliki komposisi serta perlakuan panas yang berbeda. Secara garis besar, berdasarkan kandungan karbonnya, baja dibedakan menjadi baja karbon rendah, baja karbon menengah, dan baja karbon tinggi

1. Baja karbon rendah atau baja dengan kadar karbon $< 0,3\%$, sangat luas pemakaiannya, sebagai baja konstruksi umum, untuk baja profil rangka bangunan, baja tulangan beton, rangka kendaraan, mur, baut, pelat, pipa dan lain-lain. Strukturnya terdiri dari ferrit dan sedikit perlit. Sehingga baja ini kekuatannya relatif rendah, lunak, tapi keuletannya tinggi, mudah dibentuk dan dimachining. Baja ini dapat dikeraskan (kecuali dengan kekerasan permukaan).
2. Baja karbon menengah, dengan kadar karbon $0,3 - 0,7\%$ masih terdiri dari ferrit dan perlit juga, dengan perlit cukup banyak, sehingga baja ini lebih kuat dan keras, serta dapat dikeraskan, tetapi getas. Banyak digunakan untuk konstruksi mesin seperti poros, poros engkol, batang torak, roda gigi, pegas dan lain-lain yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi.
3. Baja Karbon Tinggi, dengan kadar karbon $0,7\%$, lebih kuat dan keras lagi, tetapi keuletan dan ketangguhannya rendah. Baja ini terutama digunakan untuk konstruksi mesin yang memerlukan kekuatan lebih tinggi, serta untuk perkakas.

Baja juga dapat dibedakan berdasarkan kandungan elemen paduannya. Baja karbon biasa (*plain carbon steels*) hanya mengandung pengotor selain karbon dan sedikit mangan. Untuk baja paduan, memiliki berbagai kandungan elemen paduan yang sengaja ditambahkan untuk mendapatkan sifat tertentu yang diinginkan. (Callister, 2007)

2.2 Mangan (Mn)

Mangan adalah elemen paduan utama dari paduan seri 3xxx. Paduan ini umumnya tidak dapat di *heat-treat* tetapi memiliki kekuatan sekitar 20% lebih dari paduan seri 1xxx. Karena persentase mangan hanya terbatas (naik sekitar 1,5%) dapat secara efektif ditambahkan ke aluminium, mangan digunakan sebagai elemen utama hanya dalam beberapa paduan. Namun, tiga di antaranya - 3003, 3X04, dan 3105 - banyak digunakan sebagai paduan untuk keperluan umum untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan yang tinggi. Aplikasi ini termasuk kaleng minuman, peralatan memasak, furnitur, rambu jalan raya, atap, dinding, dan aplikasi arsitektur lainnya (ASM Handbook Vol.2,2007). Pengaruh penambahan Mangan dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Pengaruh penambahan mangan (Mn) pada diagram fasa Fe-Fe₃C (Avner, 1974)

2.3 Austenitic Manganese Steel

Austenitic Manganese Steels 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 ekstrim yang ditemukan pada peralatan pemecah batu besar yang digunakan dalam penambangan logam dan penggalian batu (Tasker, 1982).

Austenitic Manganese Steels 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).

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). Sifat mekanik baja mangan *austenitic* dapat dilihat pada Tabel 2.1

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

ASTM A128	Carbon Content (%)	150 mm Section size			
		Grade	Yield Strength (Mpa)	Tensile Strength (Mpa)	Elongation (%)
B1	1	-	-	-	-
B2	1.15	307	480	22	125
B3	1.2	322	505	19	98
B4	1.3	353	510	12	50
C	1.2	408	550	13	47
D	0.8	-	-	-	-
E1	0.9	310	542	43	139
E1	1.15	353	484	23	132
E2	1.25	416	600	14	38
F	1.3	374	529	5	13
F- modified	0.9	325	421	12	41

2.4 Perlakuan Panas

Perlakuan panas merupakan pemrosesan termal pasca solidifikasi dalam bentuk pemanasan atau pendinginan untuk mencapai serangkaian sifat mekanik yang diinginkan. Pemilihan perlakuan panas untuk suatu material bergantung pada berbagai faktor, seperti aplikasi, dimensi dan stabilitas mikrostruktur, sifat

mekanik, sensitivitas terhadap degradasi lingkungan, dan sebagainya. (ASM *Handbook*, 2008).

2.4.1 Solution Treatment

Solution treatment merupakan sebuah proses perlakuan panas yang umum untuk banyak keluarga logam yang berbeda seperti aja paduan aluminium, *superalloy* berbasis nikel, paduan titanium, dan beberapa paduan berbasis tembaga. Tujuan dari *solution treatment* adalah untuk melarutkan fasa atau persipitat dan mendapatkan suatu fasa tunggal. *Solution treatment* merupakan perlakuan panas dengan memanaskan paduan hingga diatas garis solvus pada diagram fasa logam paduan. Perlakuan panas ini pada beberapa paduan dilakukan dengan memanaskan sampai terjadi fasa tunggal kemudian ditahan beberapa saat dan diteruskan dengan pendinginan cepat untuk menghindari terjadinya presipitasi selama pendinginan (ASM *Handbook* Vol. 4, 1992).

2.4.2 Tempering

Tempering merupakan sebuah proses yang mana baja yang sebelumnya sudah mengalami proses pengerasan akan dipanaskan hingga temperatur di bawah temperatur kritisnya kemudian didinginkan pada tingkat yang sesuai dengan tujuan meningkatkan ketangguhan dan keuletan tetapi juga untuk meningkatkan ukuran butir matriks. Selain itu, *tempering* dapat juga digunakan untuk menghilangkan tegangan sisa akibat pengerasan dan untuk mengurangi kekerasan baja. (ASM *Handbook* Vol 4, 1991).

Proses *tempering* pada pemanasan sampai temperatur tertentu dan didinginkan dengan lambat. Pemanasan dilakukan sampai temperatur yang diperlukan, biasanya antara 200-600°C tergantung pada keperluan. Makin tinggi temperatur pemanasan, makin besar penurunan kekerasan sedangkan keuletan bertambah (Alexander, 1990).

Tujuan utama dalam menambahkan elemen paduan dalam baja adalah untuk meningkatkan *hardenability*, yaitu kemampuan baja untuk dapat membentuk martensit pada pendinginan di atas laju pendinginan kritis. Pengaruh dari elemen paduan adalah dapat

menghambat terjadinya pelunakan dalam proses *tempering*, terutama pada temperatur *tempering* yang tinggi. Dengan demikian, untuk mencapai kekerasan yang diinginkan maka baja paduan harus ditemper pada temperatur yang lebih tinggi daripada baja karbon biasa. Elemen paduan dapat dibedakan menjadi *carbide forming* dan *non carbide forming*. Unsur-unsur seperti *nickel*, *silicon*, *aluminium*, *manganese* memiliki pengaruh yang tidak signifikan terhadap kekerasan setelah penemperan. Unsur *carbide forming* seperti *chromium*, *molybden*, *tungsten*, *vanadium*, *tantalum*, *titanium* dapat memperlambat proses pelunakan dengan membentuk paduan karbida. Namun pada temperatur, yang lebih tinggi, kekerasan akan menurun seiring dengan naiknya temperatur *tempering* (ASM Handbook Vol 4, 1991).

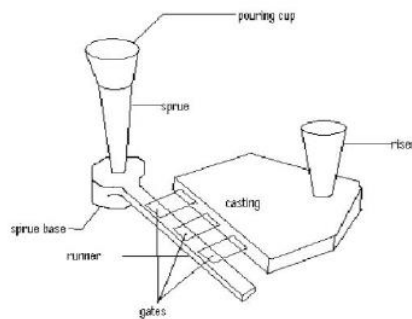
2.4.3 *Quenching*

Untuk menghasilkan struktur yang diinginkan dalam proses pengerasan, yaitu martensit maka austenit yang diperoleh harus didinginkan secara cepat, setidaknya dapat mencapai laju pendinginan kritis dari baja yang bersangkutan. Dalam proses pendinginan biasanya baja yang telah dipanaskan akan dicelupkan ke media pendingin berupa *liquid*. Selama proses *quenching*, panas dari benda kerja akan mengalir ke media pendingin, sehingga temperatur benda kerja akan menurun. Laju penurunan temperatur ditentukan oleh kecepatan aliran dari panas tersebut (Avner, 1974). Ketika material hasil pemanasan dicelupkan ke dalam media pendingin, *liquid* yang menyentuh permukaan benda kerja akan berubah menjadi uap dan membentuk film tipis yang menutupi seluruh permukaan benda kerja. Tahap ini disebut *vapour blanket stage*. Selanjutnya temperatur *liquid* di sekitar benda kerja mencapai titik didih, dan semakin banyak uap yang terbentuk sehingga *blanket* tidak mampu lagi menempel pada permukaan benda kerja. Dan akan terlepas membentuk gelembung-gelembung (mendidih). Begitu *blanket* terlepas, maka akan ada *liquid* baru yang mengisi dan segera berubah menjadi gelembung uap. Energi pembentukan uap diambil dari panas pada benda kerjanya. Tahap ini merupakan *boiling stage* dimana

memiliki laju pendinginan tertinggi. Kemudian tahap terakhir adalah *convection stage*. Pada tahap ini gelembung uap mulai menghilang. Perpindahan panas terjadi secara konveksi dan selisih temperatur antara *liquid* dan benda kerja tinggal sedikit, sehingga laju pendinginan sangat rendah (Suherman, 2011).

2.5 Sand Casting

Sand casting merupakan salah satu jenis pengecoran tertua dan paling sering digunakan. *Sand casting* juga merupakan pengecoran termudah. Dalam *sand casting* prosedur diawali hamper sama dengan seperti pengecoran yang lain. *Pattern*, atau replikasi dari produk akhir yang ingin dibentuk dibuat dengan bantuan mesin. Kemudian, campuran pasir dibuat dengan berbagai jenis campuran seperti air, lempung, dsb. kualitas hasil dari cetakan pasir ini kebanyakan bergantung pada cetakannya. Kemudian, *pattern* dikeluarkan dari cetakan setelah terbentuk pola. (Singha, 2015). Cetakan pasir yang umum digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



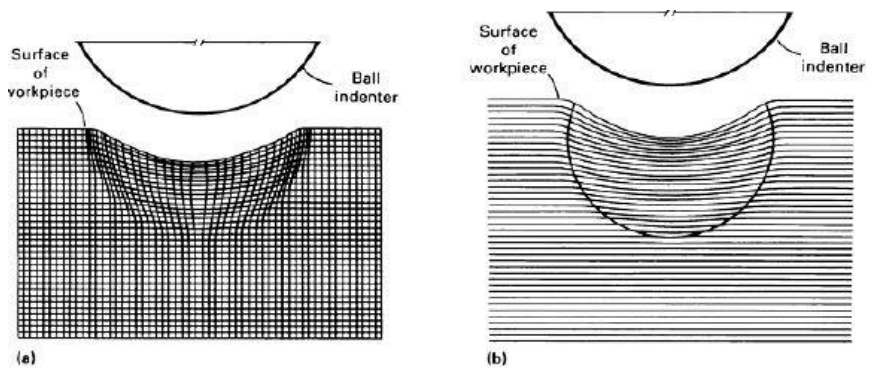
Gambar 2.2 Contoh cetakan pasir yang digunakan pada proses pengecoran (Nandagopal,2017)

2.6 Pengujian

2.6.1 Uji Kekerasan (*Hardness Test*)

Pengujian kekerasan adalah cara yang berguna untuk memperkirakan kekuatan mekanik dan karakteristik beberapa

material. Oleh karena itu, pengujian kekerasan merupakan pengujian yang sangat diperlukan untuk mengevaluasi sebuah material 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 2.3.



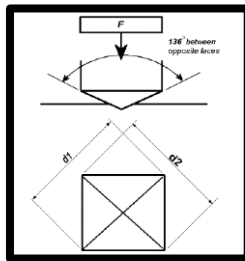
Gambar 2. 3 Deformasi indenter kekerasan. (a) *Modeling clay*. (b) *Low carbon steel* (ASM Handbook Vol 8, 2000)

Hal ini mengindikasikan bahwa resistensi terhadap lekukan atau kekerasan sebanding dengan kekuatan luluh material. Tekanan pada indenter adalah sekitar tiga kali kekuatan luluh tarik bahan. Hubungan tersebut telah dikembangkan untuk menghubungkan kekuatan luluh (YS) dengan kekerasan Vickers dengan rumus yang dapat dilihat pada Rumus 2.1.

$$YS \text{ (in kgf/mm}^2\text{)} = HV \text{ (0.1)}^{m-2} \quad (2.1)$$

Metode pengujian 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. 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. Contoh indentasi pengujian Vickers dapat dilihat pada Gambar 2.4. Rumus perhitungan kekerasan vickers dapat dilihat pada Rumus 2.2.



Gambar 2. 4 Pengujian vickers (ASM Handbook Vol 8, 2000)

$$HV = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} \quad HV = 1.854 \frac{F}{d^2} \text{ approximately} \quad (2.2)$$

Keterangan:

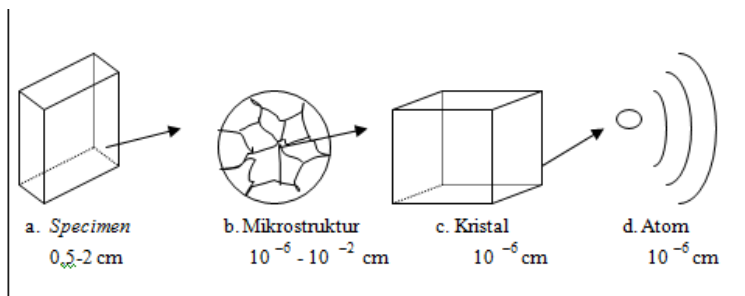
F = Beban (kgf)

D = Rata-rata diameter d_1 dan d_2

HV = *Vickers Hardness*

2.6.2 Uji Metalografi

Metalografi merupakan sebuah disiplin ilmu untuk memeriksa dan menentukan konstitusi dan struktur yang mendasari hubungan spasial antara konstituen dalam logam atau paduannya. Pemeriksaan struktur dapat dilakukan pada rentang skala pembesaran, mulai dari pemeriksaan visual atau pembesaran rendah 20x hingga perbesaran lebih dari 1.000.000x dengan mikroskop elektron. Metalografi juga dapat mencakup pemeriksaan struktur kristal dengan teknik seperti difraksi sinar-x. Namun, alat metalografi yang paling dikenal adalah mikroskop cahaya, dengan perbesaran mulai dari 50 hingga 1000 kali dan kemampuan untuk menyelesaikan struktur mikro 0,2 μm atau lebih besar. Ukuran dan bentuk obyek perbesaran ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Ukuran dan bentuk obyek perbesaran

Pada pengujian struktur mikro menggunakan mikroskop cahaya, perlu dilakukan pengetsaan pada material uji agar material tersebut terkorosi dan mudah untuk mengidentifikasi fasa yang terdapat pada material uji tersebut.

2.6.3 Pengujian *Impact*

Pengujian *Impact* charpy adalah sebuah standar pengujian laju regangan tinggi yang menentukan jumlah energi yang diserap oleh bahan selama terjadi patahan. Energi yang diserap adalah ukuran ketangguhan bahan tertentu. Metode ini sering digunakan

karena mudah untuk dipersiapkan dan dilakukan. Kemudian hasil pengujian dapat diperoleh dengan cepat dan murah.

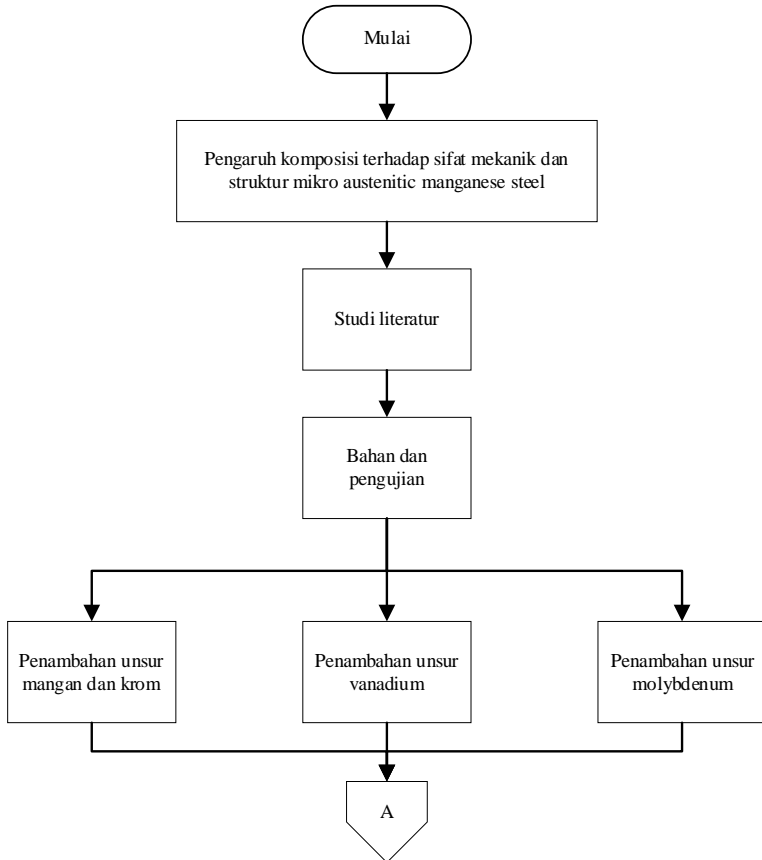
Tes ini dikembangkan pada tahun 1905 oleh Georges Charpy. Pengujian ini sangat penting untuk dilakukan untuk memahami masalah patah kapal selama perang dunia II. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kegetasan atau keuletan suatu material yang akan diuji dengan cara pembebanan secara tiba-tiba terhadap benda yang diuji secara statik.

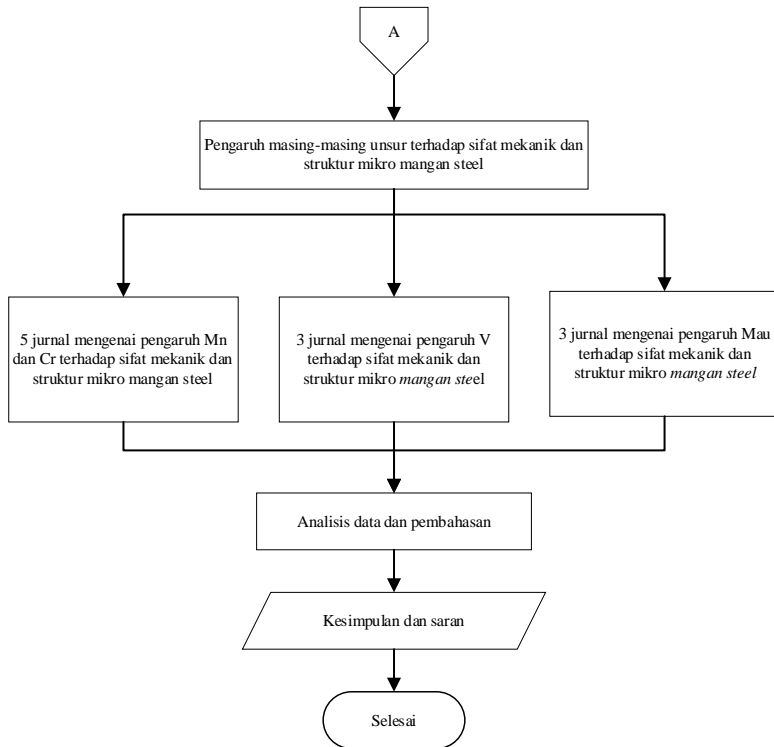
Dimana benda ini dibuat takik terlebih dahulu sesuai dengan standar ASTM E-23 05 dan hasil pengujian benda seperti bengkokan atau patahan sesuai dengan keuletan atau kegetasan terhadap benda uji tersebut.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3. 1** Diagram Alir Penelitian

3.2 Metode Penelitian

Tabel 3. 1 Tabel Referensi Jurnal

Referensi	Variasi Komposisi	Kekerasan	Mikroskop Optik	Lain-lain
(Bahfie,2019)	Mangan dan Krom	✓	✓	<i>Wear rate</i>
(Pratomo, 2016)	Mangan dan Krom	✓	✓	<i>Impact</i>
(Pham, 2019)	Mangan	✓	✓	
(Moghaddam, 2012)	Vanadium	✓	✓	<i>Impact</i>
(Pham, 2018)	Vanadium	✓	✓	<i>Impact</i>
(Mahlami,2017)	Vanadium	✓	✓	<i>Impact</i>
(Mohammadnezhad, 2013)	Molybdenum	✓	✓	<i>Impact</i>
(Razavi,2012)	Molybdenum		✓	<i>Tensile</i>
(Alyaz, 2003)	Molybdenum			<i>Tensile</i>

3.3 Ruang Lingkup Pembahasan Jurnal

Pembahasan jurnal mengamati pengaruh variasi komposisi terhadap sifat mekanik dan struktur mikro dari *austenitic manganese steel*. Dari variasi komposisi tersebut, akan didapatkan sifat mekanik yang optimal untuk *manganese steel* sesuai aplikasinya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data dan Pembahasan

4.1.1 Pengaruh Unsur *Mangan dan Chrome*

Mangan memegang setidaknya tiga peran dalam baja paduan, yang pertama yaitu sebagai *deoxidizer*, *desulphurizer*, dan sebagai elemen peningkat *hardenability*. Oleh karena itu, hadfield steel memiliki *hardenability* yang sangat baik karena adanya unsur mangan tersebut yang berkisar antara 11-14% sesuai ASTM A-128 (Tasker, 2017).

Krom merupakan unsur yang digunakan untuk ASTM A-128 grade C, dan merupakan cara termurah untuk meningkatkan titik luluh dari sebuah material. Namun, apabila krom mencapai 2%, akan mengakibatkan adanya penurunan daktilitas dan ketangguhan (Tasker, 2017).

Pada tahun 2016, Sri Bimo Pratomo melakukan penelitian dalam pengembangan material *jaw plate* yaitu baja mangan dengan memvariasi komposisi mangan dan krom dari baja mangan tersebut. Variasi komposisi yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Tabel komposisi penelitian Pratomo (Pratomo, 2016)

	Fe	C	Si	Mn	Cr
Produk cor 1	Sisa	1,7	0,8	10	1,7
Produk cor 2	Sisa	1,7	0,8	10	3,5
Produk cor 3	Sisa	1	0,8	13,5	0

Pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 dapat dilihat hasil kekerasan dan *impact* dari penelitian pratomo.

Tabel 4.2 Hasil kekerasan produk Cor 1 (Mn 10%, Cr 1,7%), produk cor 2 (Mn 10%, Cr 3,5%), dan produk cor 3 (Mn 13,5%, Cr 0%) (Pratomo, 2016)

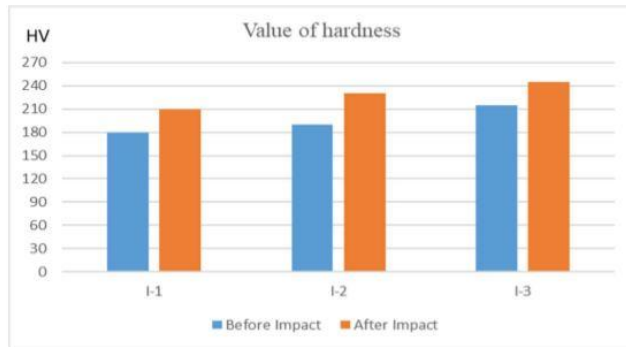
Produk cor 1 (HRC)	Produk cor 2 (HRC)	Produk cor 3 (HRC)
30	38	14

Tabel 4.3 Hasil *impact* produk Cor 1 (Mn 10%, Cr 1,7%), produk cor 2 (Mn 10%, Cr 3,5%), dan produk cor 3 (Mn 13,5%, Cr 0%) (Pratomo, 2016)

Produk cor 1 (Joule)	Produk cor 2 (Joule)	Produk cor 3 (Joule)
11,76	3,72	131,32

Dapat dilihat bahwa tanpa adanya krom, kekerasan yang didapat juga sangat menurun, sedangkan kebalikannya terjadi pada hasil *impact*. Adanya krom menurunkan ketangguhan dari material tersebut. Ini disebabkan adanya karbida krom yang terbentuk pada batas butir yang menyebabkan naiknya kekerasan dan turunnya ketangguhan dari material tersebut karena krom akan memperbanyak jumlah karbon yang terikat (sebagai karbida) yaitu dengan membentuk karbida krom. Produk cor 1 memiliki kekerasan 30 HRC dan ketangguhan 11,76 Joule, sedangkan produk cor 2 memiliki kekerasan 38 HRC dan ketangguhan 3,72 joule, lalu produk cor 3 memiliki kekerasan 14 HRC dan ketangguhan sebesar 131,32 J. Dapat dilihat, pada segi kekerasan, sampel produk cor 3 memiliki nilai kekerasan terendah dibanding sampel lain, dikarenakan komposisi mangan yang lebih banyak, yaitu 13,5%. Hal ini terjadi karena mangan merupakan unsur penstabil austenit, sehingga kekerasan dari sampel tersebut menurun. Seiring dengan menurunnya kekerasan, karena unsur austenite lebih stabil dengan kandungan mangan yang lebih banyak, mengakibatkan juga kekuatan *impact* yang lebih tinggi dibanding yang lain.

Sedikit berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Pham dimana ia memfokuskan pada variasi komposisi mangan saja yang hasil kekerasannya dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Nilai kekerasan I-1 (Mn 12,8%), I-2 (Mn 16,1%), dan I-3 (18,4%) (Pham, 2019)

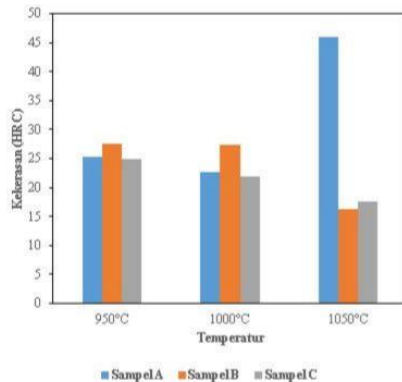
Dari penelitian milik Pham tahun 2019, dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya mangan, nilai kekerasan pun ikut naik. Hal ini diakibatkan karena mangan yang terlalu banyak sehingga akan mencapai titik jenuh dimana mangan tersebut akan membentuk karbida. Namun, pada penelitian Bahfie yang variasi komposisinya dapat dilihat pada Tabel 4.4 mendapatkan hasil kekerasan yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Tabel 4. 4 Tabel komposisi penelitian Bahfie (Bahfie, 2019)

sampel	Komposisi (% berat)				
	C	Mn	Si	Ni	Cr
A	1,21	5,87	0,421	0,485	2,16
B	1,31	9,42	0,932	0,0846	1,78
C	1,15	15,28	0,628	0,258	2,14

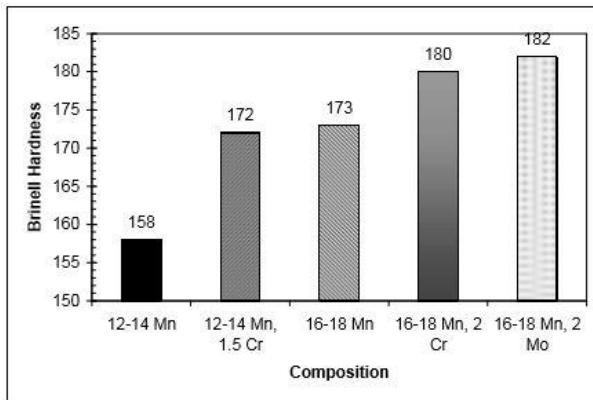
Dapat dilihat pada Gambar 4.2 bahwa kekerasan tertinggi pada temperatur 950°C dan 1000°C diraih dengan kandungan

mangan 9,42%. Sedangkan pada 1050 °C kekerasan tertinggi diraih oleh sampel dengan kandungan mangan 5,87%. Hal ini bisa terjadi diakibatkan oleh kurangnya kandungan mangan. Karena mangan merupakan unsur penstabil austenit. Dengan kandungan mangan 10%, baja menjadi *austenitic*.



Gambar 4.2 Nilai kekerasan pada baja mangan dengan temperatur austenisasi 950 °C, 1000 °C, dan 1050 °C (Bahfie, 2019)

Pada tahun 2003 Alyaz melakukan pengujian kekerasan terhadap berbagai variasi komposisi mangan steel yang dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Hasil pengujian kekerasan penelitian Alyaz (Alyaz, 2003)

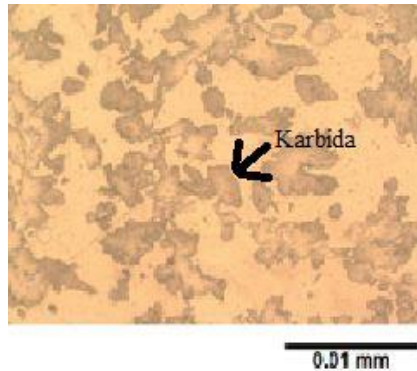
Dari Gambar 4.3 terlihat bahwa krom meningkatkan kekerasan dari mangan steel, hasil tersebut sesuai dengan penelitian milik Pratomo pada tahun 2016.

Berlanjut pada efek mangan dan krom terhadap mikrostruktur, hasil mikrostruktur penelitian Pratomo untuk masing-masing sampel pada tahun 2016 dapat dilihat pada Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan Gambar 4.7.

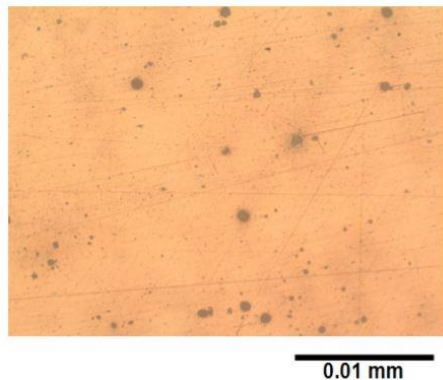


0.01 mm

Gambar 4.4 Struktur mikro produk cor 1 Mn 10% Cr 1,7%, etsa nital, perbesaran 200x (Pratomo, 2016)



Gambar 4.5 Struktur mikro produk cor 2 Mn 10% Cr 3,5% etsa nital, perbesaran 200x (Pratomo, 2016)

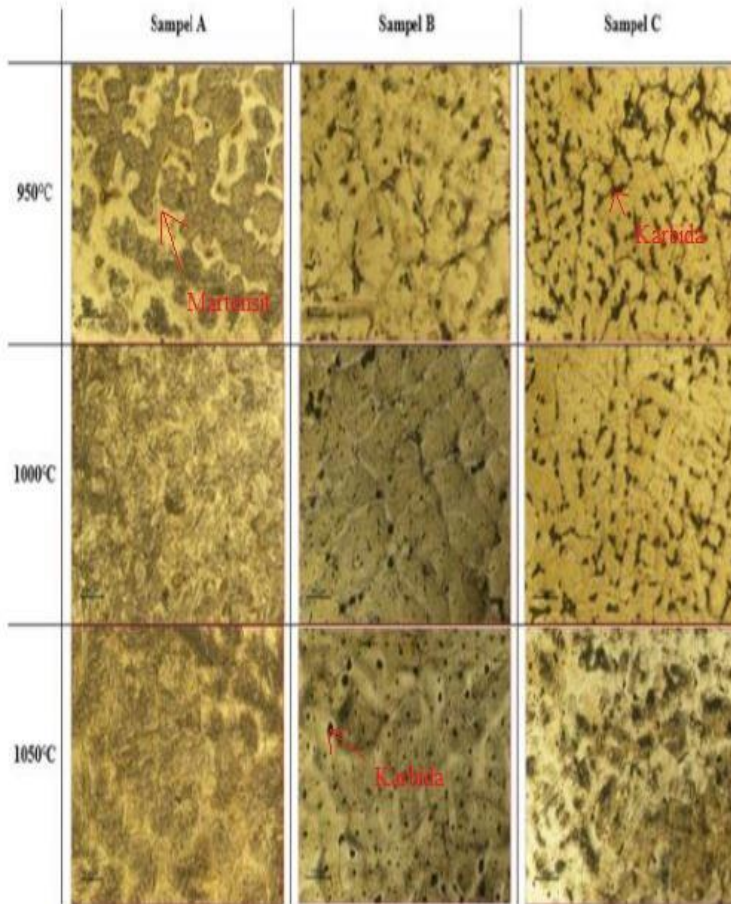


Gambar 4.6 Struktur mikro produk cor 3 Mn 13,5%, etsa nital, perbesaran 200x (Pratomo, 2016)

Dari hasil ketiga sampel tersebut, dapat dilihat Gambar 4.5 yaitu sampel 2 dengan Mn 10% dan Cr 3,5% bahwa adanya karbida yang terbentuk yaitu merupakan karbida dari kandungan krom. Dibandingkan dengan sampel 1 dan 3 dimana tidak terlihatnya karbida yang muncul pada mikrostrukturnya. Dari segi struktur mikro sampel-sampel tersebut dapat dilihat pada gambar 4.4,

Gambar 4.5, dan Gambar 4.6. Struktur mikro tersebut didapat dengan menggunakan etsa nital 5% menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 200x. Dari pengamatan mikrostruktur produk cor 1, terdapat butir-butir austenite yang berwarna terang, dan karbida yang berwarna hitam. Dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 bahwa produk cor 1 dan produk cor 2 memiliki kurang lebih struktur mikro yang sama hanya saja pada produk cor 2 terlihat adanya karbida *interdendritic (accicular)*. Pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa produk cor 3 memiliki karbida yang lebih sedikit dibanding produk cor 1 dan 2. Dapat dilihat juga perbandingan antara produk cor 1 dan produk cor 2 dengan produk cor 3 dimana produk cor 3 memiliki fasa austenite yang lebih banyak dibanding kedua sampel tersebut dikarenakan dengan kandungan mangan yang lebih banyak, membuat fasa austenite lebih stabil.

Kemudian pada penelitian milik Bahfie pada tahun 2019 hasil mikrostrukturnya dapat dilihat pada Gambar 4.7, serta Tabel perhitungan distribusi fasa pada masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 4.5

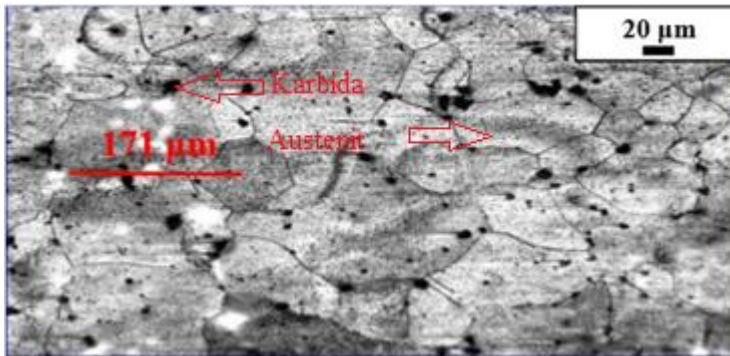


Gambar 4.7 Struktur mikro baja mangan hasil *heat treatment* pada Sampel A (Mn 5,87%), sampel B (Mn 9,42%), sampel C (Mn 15,28%). (Bahfie, 2019)

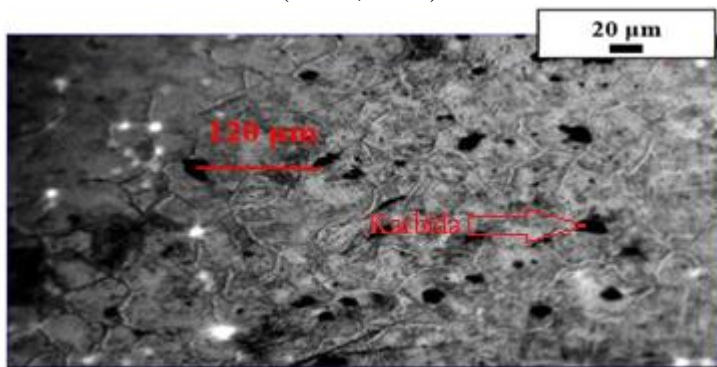
Tabel 4. 5 Hasil perhitungan distribusi fasa-fasa pada Sampel A (Mn 5,87%), sampel B (Mn 9,42%), sampel C (Mn 15,28%).
(Bahfie, 2019)

sampel	Temperatur	persentase fase martensit (%)	Persentase presipitat karbida (%)
A	950	52,43	-
	1000	48,08	-
	1050	49,19	-
B	950	-	21,84
	1000	-	24,84
	1050	-	27,33
C	950	-	40,24
	1000	-	17,45
	1050	-	28,37

Dari Tabel 4.5 dapat dianalisis bahwapada sampel A, fasa martensit yang terbentuk mengalami penurunan dan optimal pada temperatur 1000 °C dimana kondisi ini sesuai dengan Gambar 4.7. Hal ini terjadi karena kurangnya mangan pada baja mangan sehingga fasa yang terbentuk bukanlah austenite, melainkan martensit. Sampel B terlihat bahwa presipitasi karbida meningkat seiring dengan naiknya temperatur austenisasi, sedangkan hal sebaliknya terjadi pada sampel C. Kandungan mangan yang tinggi dan serta temperatur austenisasi yang tinggi akan membuat fasa austenit semakin stabil dengan tingkat kelarutan karbon yang semakin tinggi. Sehingga karbida yang larut ke dalam matriks akan semakin menstabilkan fasa austenit setelah dilakukannya *quenching* Kemudian, dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 hasil mikrostruktur sampel I-1 dan I-3 milik Pham pada tahun 2019.



Gambar 4.8 Hasil mikrostruktur sampel I-1 (Mn 12,8%) (Pham, 2019)



Gambar 4.9 Hasil mikrostruktur sampel I-3 (Mn 18,4%) (Pham, 2019)

Dari hasil mikrostruktur pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 dimana masing-masing memiliki memiliki ukuran butir yang berbeda. Terlihat disitu bahwa fasa yang dihasilkan yaitu austenite dengan adanya sedikit karbida pada batas butir. Ukuran butir yang terhitung pada sampel I-1 yaitu sebesar 171 μm , sedangkan untuk sampel I-3 yaitu sebesar 120 μm . Dengan mengecilnya batas butir pada sampel I-3, menyebabkan kekerasan yang meningkat. Hal ini terjadi karena ukuran butirnya semakin kecil, yang menyebabkan

juga naiknya kekerasan dari material tersebut karena batas butir yang berperan menghambat dislokasi menjadi banyak, sehingga membutuhkan *Force* lebih untuk menggerakkan dislokasi hingga *failure*, oleh karena itulah kekerasan meningkat. Fasa tunggal austenite merupakan fasa yang ideal untuk baja mangan, dikarenakan sifatnya yang tangguh. Sehingga, semakin sedikit karbida yang ada, semakin baik sifat mekanik dari baja mangan tersebut. Hal ini mendukung hasil kekerasan yang diuji oleh Pham.

4.1.2 Pengaruh unsur Vanadium

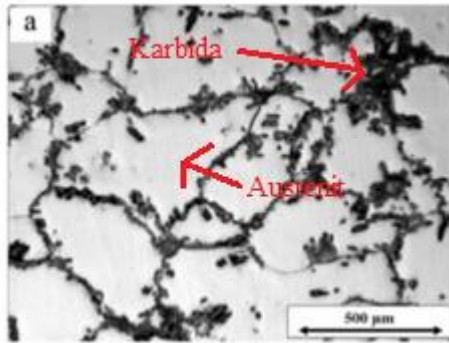
Pada tahun 2012, E.G. Moghaddam dkk meneliti pengaruh vanadium terhadap struktur mikro dan sifat mekanik dari mangan steel. Komposisi pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4. 6 Tabel komposisi penelitian E.G. Moghaddam

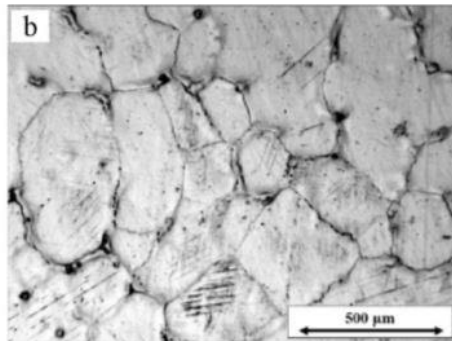
Materials	Fe	C	Mn	Si	S	P	Al	Cr	V
HV-AMS-1	Ba se	2, 6	12, 9	0, 69	0,0 54	0,0 25	0, 1	0, 34	9,9
HV-AMS-2	Ba se	2, 8	12, 95	0, 61	0,0 67	0,0 19	0, 14	0, 31	9,9 1
HV-AMS-3	Ba se	3	13, 1	0, 59	0,0 47	0,0 38	0, 11	0, 27	10, 04
HV-AMS-4	Ba se	3, 3	12, 9	0, 67	0,0 63	0,0 4	0, 93	0, 29	10, 15
Hadfield Steel	Ba se	1, 21	12, 8	0, 66	0,0 8	0,0 39	0, 09	0, 09	-

Kemudian, hasil mikrostruktur baja mangan standar dapat dilihat pada Gambar 4.10. Terlihat bahwa adanya pengurangan jumlah karbida pada batas butir seperti pada Gambar 4.11. Sedangkan pada baja mangan dengan tambahan *High-*

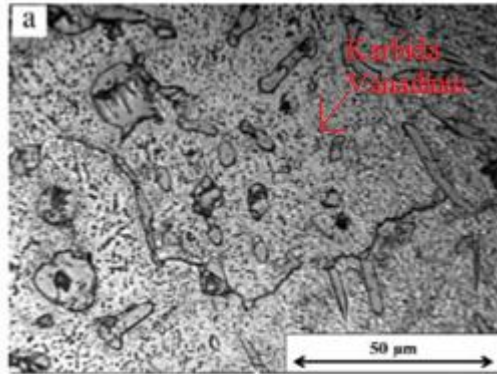
Vandium, tidak terlihat adanya perbedaan pada mikrostrukturnya baik tanpa perlakuan panas, maupun dengan perlakuan panas.



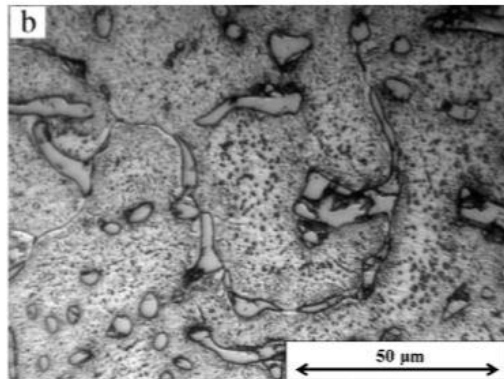
Gambar 4.10 Hasil struktur mikro *hadfield steel* kondisi *as-cast* (Moghaddam, 2012)



Gambar 4.11 Hasil struktur mikro *hadfield steel* kondisi *heat-treated* (Moghaddam, 2012)



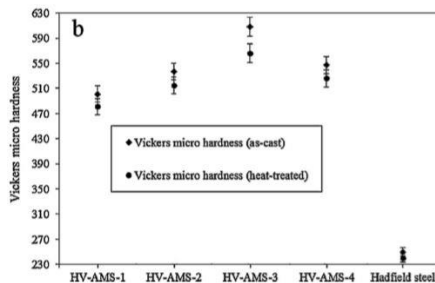
Gambar 4.12 Hasil struktur mikro *hadfield steel* dengan tambahan *High-Vanadium* kondisi *as-cast* (Moghaddam, 2012)



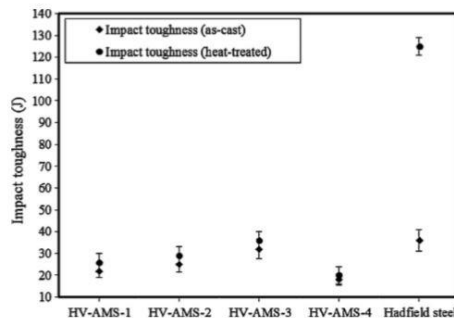
Gambar 4.13 Hasil struktur mikro *hadfield steel* dengan tambahan *High-Vanadium* kondisi *heat-treated* (Moghaddam, 2012)

Lalu, dilakukan juga pengujian kekerasan serta ketangguhan dari high-vanadium mangan steel dan mangan steel tersebut yang dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15. Terlihat bahwa

kekerasan baja mangan dengan tambahan kandungan vanadium memiliki kekerasan yang jauh lebih tinggi dibanding dengan baja mangan biasa tanpa tambahan unsur vanadium. Untuk pengujian ketangguhan, dapat dilihat pada Gambar 4.15 bahwa perlakuan panas tidak terlalu berpengaruh terhadap ketangguhan baja dengan kandungan vanadium, sedangkan baja biasa mengalami kenaikan jauh dengan adanya perlakuan panas, karena karbida-karbida yang ada pada baja mangan tersebut terdispersi ketika diberi perlakuan panas.



Gambar 4. 14 Hasil uji kekerasan Penelitian Moghaddam (Moghaddam, 2012)



Gambar 4. 15 Hasil uji ketangguhan Penelitian Moghaddam (Moghaddam, 2012)

Sama halnya yang terjadi dengan penelitian Pham pada Tahun 2018 dimana ketangguhan tertinggi dimiliki oleh sampel tanpa adanya Vanadium. Namun sedikit beda pada kekerasan dimana kekerasan tertinggi didapat oleh vanadium sebanyak 1,02%. Hal tersebut terjadi karena pada penelitian milik Moghaddam, Vanadium yang digunakan yaitu sebanyak 9% keatas, sedangkan pada penelitian Pham hanya 1,02% hingga 1,99% vanadium saja yang digunakan, sehingga kekerasan tidak terlalu jauh berbeda. Terlihat bahwa sampel 1 dengan tanpa adanya tambahan vanadium memiliki kekerasan yang lebih rendah dibanding dengan sampel 2 yang terdapat karbida vanadium. Sedangkan sampel 3 memiliki kekerasan yang paling rendah yaitu 149 HB. Hal itu disebabkan oleh karena kandungan vanadium yang lebih dari 1%, yang mengakibatkan karbida yang terbentuk bukan *cubic lattice* dan memiliki kekerasan yang rendah. Kemudian melihat hasil ketangguhan, sampel 2 memiliki ketangguhan yang paling tinggi. Hal tersebut dikarenakan pada sampel 1 tidak adanya karbida vanadium yang menghambat melebarinya austenit. Butir pada sampel 1 lebih kasar, sehingga membuat ketangguhannya menurun.

Tabel 4. 7 Tabel Hasil Pengujian Kekerasan dan Ketangguhan (Pham, 2018)

<i>Properties</i>	Sample 1	Sample 2	Sample 3
<i>Hardness, HB</i>	175	223	149
<i>Impact Toughness, J/cm²</i>	22	115	75

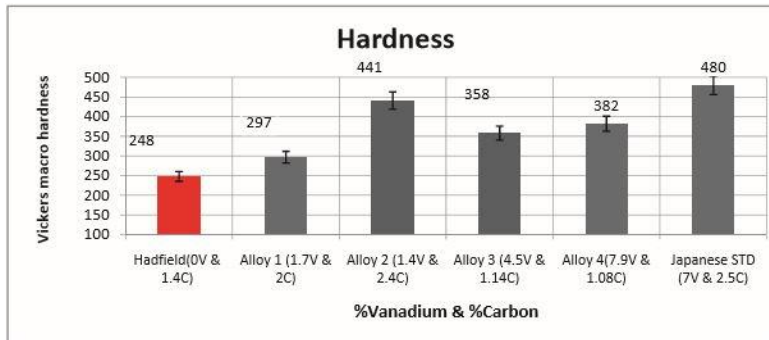
Tabel 4. 8 Variasi Komposisi Penelitian Mai Khanh pham (pham, 2018)

Sample	Fe	C	Mn	Cr	V
Sample 1	79,9	1,38	15,2	1,98	0
Sample 2	80,3	1,36	14,7	1,82	1,02
Sample 3	80,1	1,44	14,4	1,88	1,99

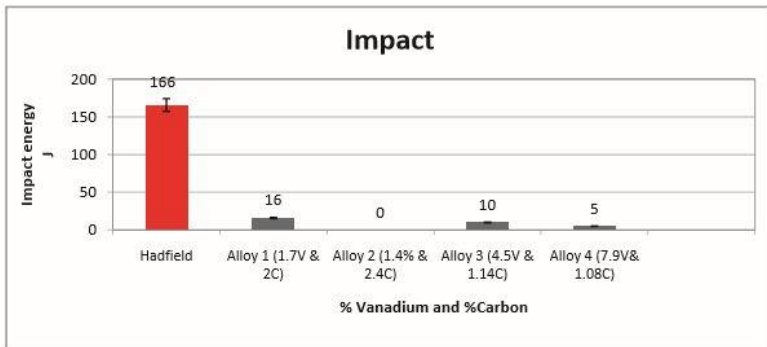
Sama halnya dengan penelitian milik mahlami pada tahun 2017 yang variasi komposisinya dapat dilihat pada Tabel 4.9, dan hasil kekerasan serta impact yang dapat dilihat pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17

Tabel 4. 9 Tabel variasi komposisi penelitian Mahlami (Mahlami, 2017)

	C	Mn	Si	Cr	V	S	P
Hadfield	1,25	14,02	0,69	0,28	-	0,05	0,05
Alloy 1	2	11	1,4	0,4	1,7	0,1	0,05
Alloy 2	2,4	11,33	1,7	0,5	1,4	0,05	0,05
Alloy 3	1,14	11	1	0,5	4,5	0,05	0,05
Alloy 4	1,038	10,5	0,8	0,5	7,9	0,05	0,05
Japanese Std	2,57	11	0,5	-	7	0,05	0,06



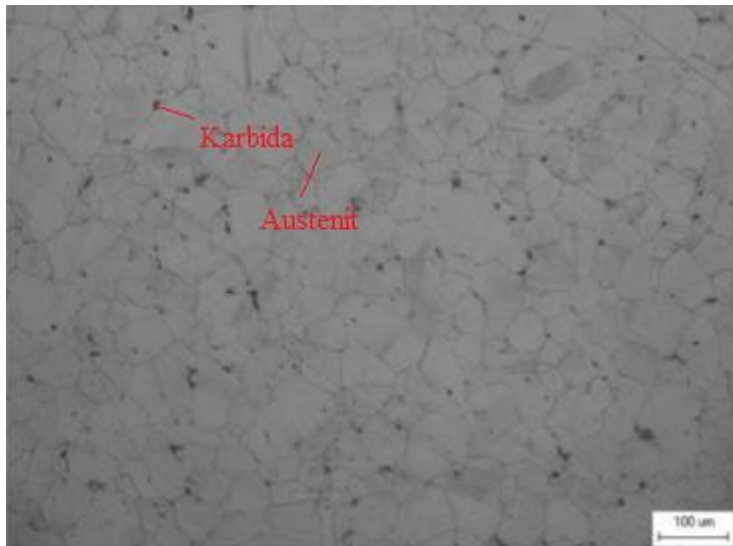
Gambar 4.16 Hasil pengujian kekerasan Penelitian Mahlami (Mahlami, 2017).



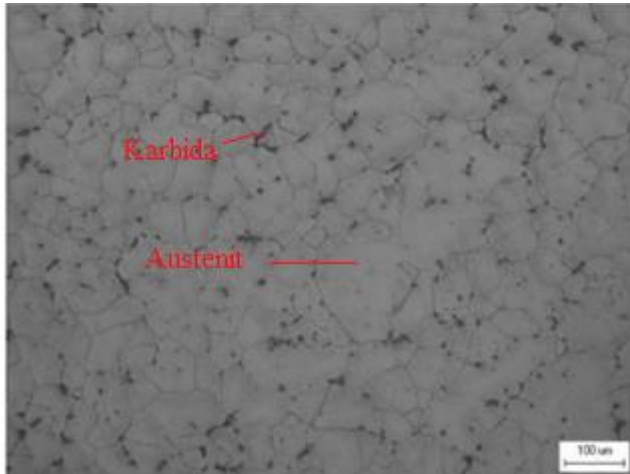
Gambar 4.17 Hasil pengujian ketangguhan penelitian Mahlami (mahlami, 2017).

Dari gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa ketangguhan tertinggi dimiliki oleh baja mangan biasa tanpa adanya vanadium, sedangkan kekerasan tertinggi didapat oleh baja mangan *japanese standard* dimana ada kandungan sebanyak 7% Vanadium. Seiring menurunnya kandungan vanadium, kekerasannya pun menurun. Terlihat pada Gambar 4.16 bahwa kekerasan kedua tertinggi terdapat pada *Alloy 2* dimana ia memiliki kandungan 1,4% V. *Alloy 1* memiliki unsur vanadium sebanyak 1,7% dan memiliki kekerasan sebesar 297 HV dimana kekerasannya ini terendah dibanding sampel-sampel lain. *Alloy 3* dan *Alloy 4* memiliki kekerasan yang tinggi dibanding sampel 1 dikarenakan kandungan vanadium yang jauh lebih banyak dibanding sampel 1. Pada pengujian ketangguhan, terlihat bahwa sampel 1 memiliki ketangguhan yang lebih baik dibanding sampel 3 dan 4 dikarenakan lebih sedikitnya kandungan vanadium yang meningkatkan kekerasan. Namun, apabila dibanding dengan baja mangan tanpa kandungan vanadium, hasilnya sangat jauh, karena pada baja mangan biasa tidak adanya karbida vanadium yang terbentuk. Hal ini membuktikan bahwa Vanadium meningkatkan kekerasan dan menurunkan ketangguhan dari baja mangan.

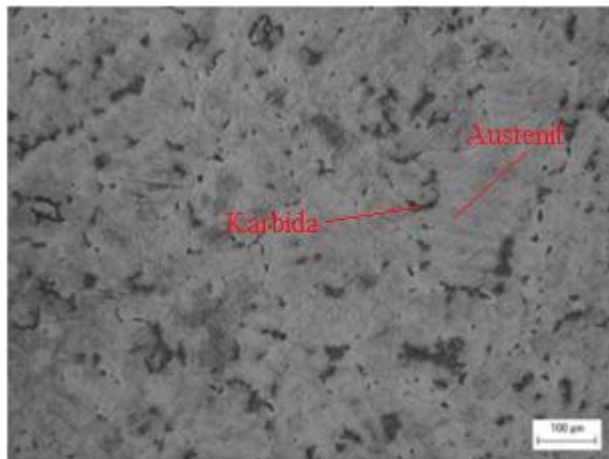
Dari hasil mikrostruktur penelitian milik Pham, sampel 1 dapat dilihat pada Gambar 4.18, sampel 2 dapat dilihat pada Gambar 4.19 dan sampel 3 dapat dilihat pada Gambar 4.20. Mikrostruktur tersebut menunjukkan adanya sedikit karbida pada butir dan pada batas butir austenite tersebut. Ukuran butir dari sampel 1 yaitu sebesar $50\mu\text{m} - 60\mu\text{m}$, yang setara dengan grade 5 pada standar ASTM. Sampel B dengan ukuran butir sebesar $40\mu\text{m}$ setara dengan grade 6 pada ASTM. Terlihat sedikit perbedaan pada sampel 1 dimana ia memiliki karbida yang lebih sedikit dibanding dengan sampel 2 dikarenakan pada sampel 2 terdapat karbida vanadium. Karbida vanadium yang terbentuk pada sampel 2 yaitu V_6C_5 , sedangkan karbida pada sampel 3 yaitu V_{23}C_6 .



Gambar 4.18 Hasil mikrostruktur sampel 1 (Pham, 2018)



Gambar 4.19 Hasil mikrostruktur sampel 2 (Pham, 2018)

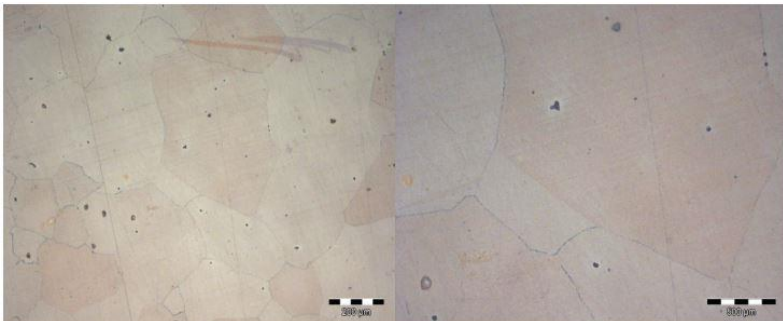


Gambar 4. 20 Hasil mikrostruktur sampel 3 (Pham, 2018)

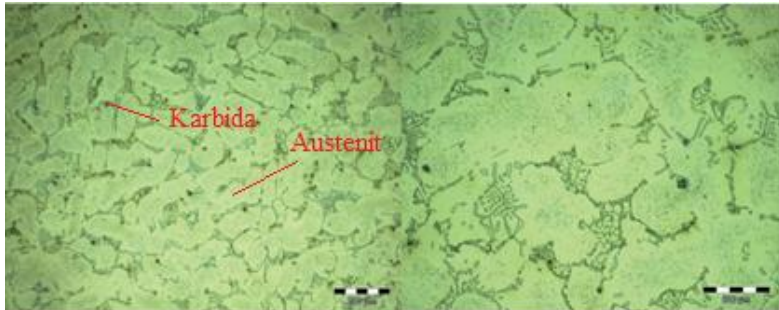
Dapat dilihat pula hasil mikrostruktur penelitian Mahlami pada tahun 2017 yang dapat dilihat pada Gambar 4.21, Gambar 4.22, Gambar 4.23, Gambar 4.24, dan Gambar 4.25.

Mikrostruktur dari sampel baja Hadfield dapat dilihat pada Gambar 4.21, alloy 1 dapat dilihat pada Gambar 4.22, alloy 2 dapat dilihat pada Gambar 4.23, dan alloy 4 dapat dilihat pada Gambar 4.25.

Mikro struktur dari Alloy 1, yang dapat dilihat pada Gambar 4.21, menunjukkan butir-butir yang menyerupai *lamellar*. Sedangkan pada Alloy 2, menunjukkan adanya *continuous network* dari karbida vanadium di sepanjang batas butir. Mikrostruktur bagian kiri merupakan mikro struktur dengan perbesaran lebih tinggi dan pada Alloy 2 ini terjadi *crack* setelah dilakukannya pengecoran. Pada Gambar 4.24 dimana Alloy 3 memiliki mikrostruktur yang hampir sama dengan Alloy 4 yang ditunjukkan pada Gambar 4.25, dimana mikrostruktur tersebut memiliki karbida yang terletak pada bagian matrix yang gelap pada matrix austenite ini. Matrix yang lebih gelap tersebut kemungkinan terbentuk karena akibat dari vanadium yang jenuh dalam larutan



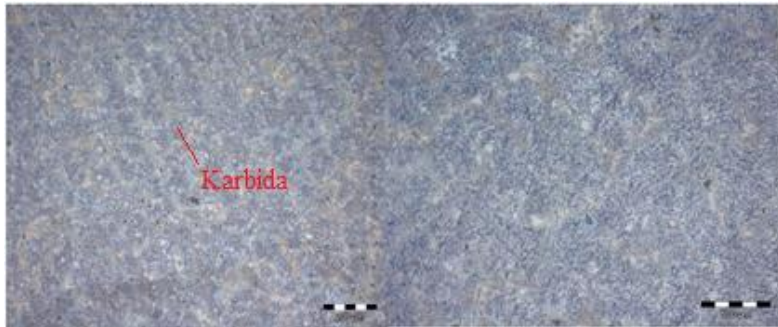
Gambar 4. 21 Hasil mikrostruktur *hadfield steel* (Mahlami, 2017)



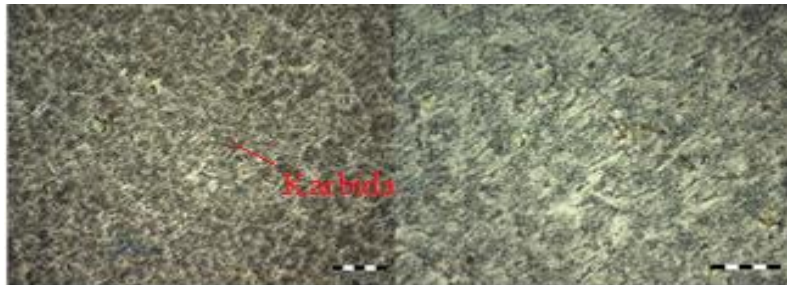
Gambar 4. 22 Hasil struktur mikro alloy 1 dengan 1,7% V
(Mahlami, 2017)



Gambar 4. 23 Hasil struktur mikro alloy 2 dengan 1,4% V
(Mahlami, 2017)



Gambar 4. 24 Hasil struktur mikro alloy 3 dengan 4,5% V
(Mahlami, 2017)



Gambar 4.25 Hasil struktur mikro alloy 4 dengan
7,9% V (Mahlami, 2017)

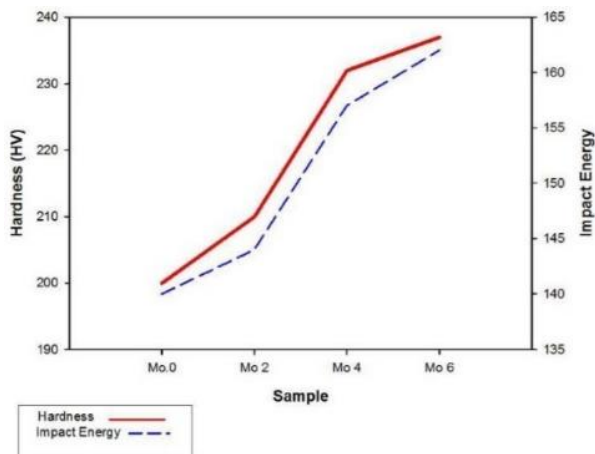
4.1.3 Pengaruh unsur Molybdenum

Unsur lain yang tak kalah penting yaitu Molybdenum. Molybdenum merupakan salah satu unsur yang serbaguna dan merupakan salah satu unsur terpenting pada baja mangan. Yang membuatnya sangat penting yaitu karena ia meningkatkan sifat mekanik baja mangan pada kondisi “*as-cast*” dan mengurangi terjadinya crack pada baja. Salah satu alasan utama Molybdenum merupakan unsur penting yaitu karena ia meningkatkan titik luluh dari material tanpa mengurangi ketangguhannya. Unsur lain seperti krom dan vanadium akan meningkatkan titik luluh, namun akan menurunkan juga ketangguhannya (Tasker, 2017)

Pada tahun 2013, M. Mohammadnezhad melakukan penelitian tentang pengaruh molybdenum terhadap mikrostruktur dan sifat mekanik dari mangan steel. Variasi komposisi yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.13

Tabel 4.10 Tabel Variasi Komposisi Penelitian M. Mohammadnezhad (Mohammadnezhad, 2013)

Materials	C	Mn	Si	Cr	Mo
Mo.0	1,19	12,4	0,52	0,81	0
Mo.2	1,22	12,7	0,58	0,87	0,21
Mo.4	1,27	12,1	0,47	0,74	0,43
Mo.6	1,17	12,9	0,43	0,79	0,62



Gambar 4.26 Hasil Pengujian kekerasan dan ketangguhan (Mohammadnezhad, 2013)

Pada pengujian ketangguhan dan kekerasan yang dapat dilihat pada Gambar 4.26, terlihat bahwa dengan adanya penambahan molybdenum, kekerasan dari material tersebut meningkat dikarenakan adanya karbida dari molybdenum tersebut

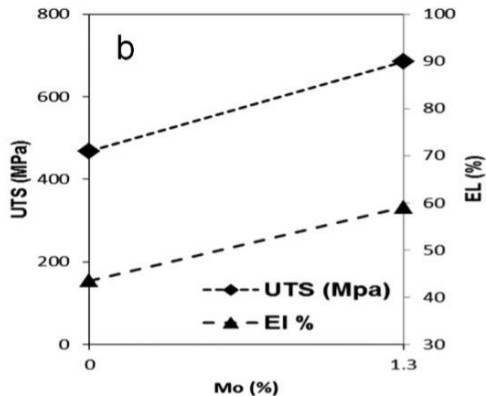
yang mengakibatkan naiknya kekerasan dari sampel, namun berbeda dengan vanadium, ketangguhan dari baja mangan tersebut tidak menurun.

Sedikit berbeda pengujian pada penelitian milik Razavi pada tahun 2012, ia meneliti pengaruh molybdenum terhadap *ultimate tensile strength* dan elongasi dari baja mangan yang komposisinya dapat dilihat pada Tabel 4.11

Tabel 4.11 Tabel Variasi Komposisi Penelitian Razavi (Razavi, 2012)

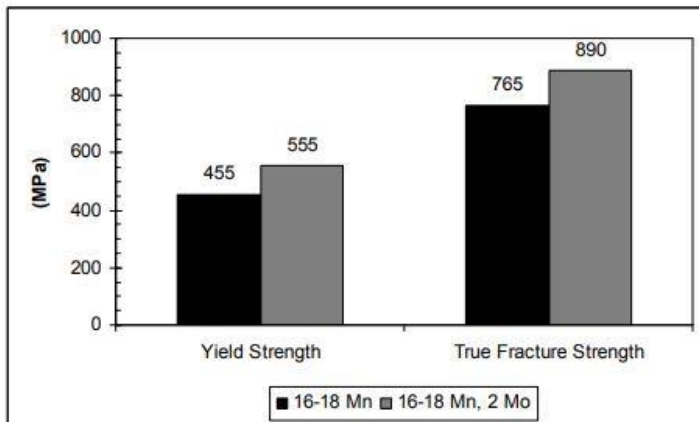
S	Fe	Mo	Al	Si	Mn	C
<0,006		-	2	3	32,9	0,13
<0,006		1,3	2	3	33	0,13

Hasil pengujian *ultimate tensile strength* dan elongasi dari penelitian milik razavi dapat dilihat pada Gambar 4.27. Terlihat bahwa dengan penambahan Molybdenum, UTS dan elongasi dari baja mangan tersebut meningkat.

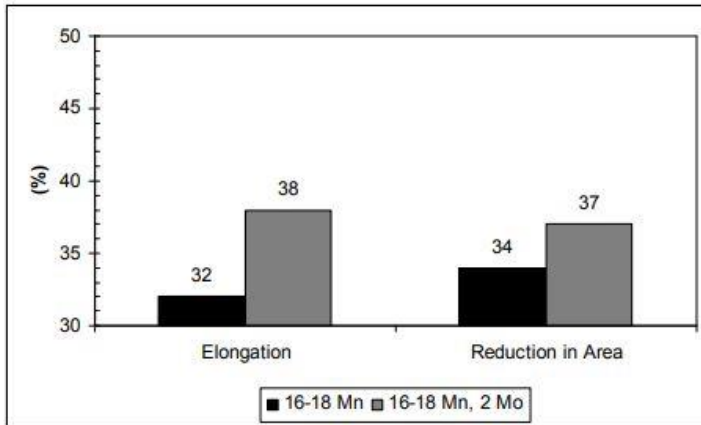


Gambar 4. 27 Hasil pengujian tarik seluruh sampel (Razavi, 2012)

Sama halnya dengan penelitian yang dilakukan oleh Alyaz pada tahun 2003, Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.28 dan Gambar 4.29. Terlihat bahwa hal yang sama terjadi yaitu dengan peningkatan Mo, terlihat bahwa UTS dan elongasi dari baja mangan yang diteliti juga meningkat. Hal ini karena kekerasan yang meningkat, sehingga UTS juga meningkat.

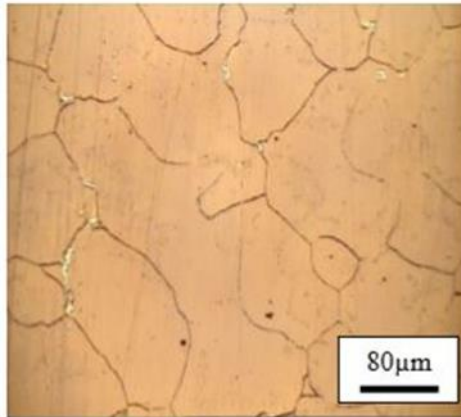


Gambar 4.28 Hasil Pengujian *tensile* material 16-18Mn & 16-18 Mn 2 Mo (Alyaz, 2003)

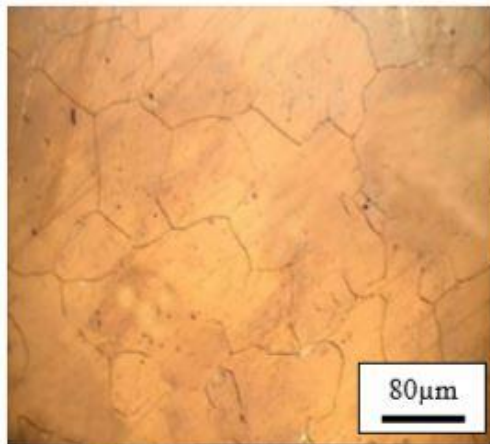


Gambar 4.29 Hasil pengujian elongasi material 16-18 Mn & 16-18 Mn 2 Mo (Alyaz, 2003)

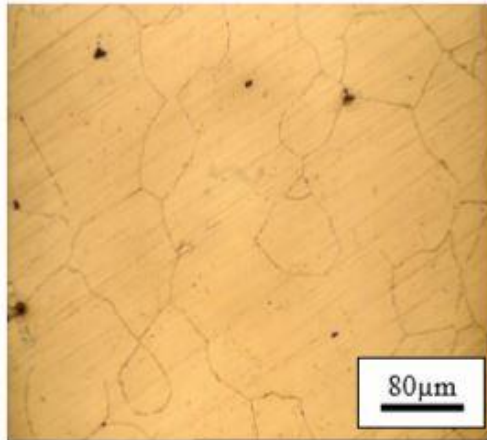
Dari segi mikrostruktur, penelitian milik mohammadnezhad dapat dilihat pada Gambar 4.30, Gambar 4.31, Gambar 4.32, dan Gambar 4.33. Dilihat pada perbandingan antar sampel, dimana struktur mikro masing-masing sampel hampir tidak terlihat adanya karbida. Perbedaan yang dapat diamati yaitu ukuran butirnya saja, dimana mikrostruktur sampel dengan kandungan molybdenum semakin banyak, membuat ukuran butirnya semakin kecil, yang menyebabkan juga naiknya kekerasan dari material tersebut karena batas butir yang berperan menghambat dislokasi menjadi banyak, sehingga membutuhkan *Force* lebih untuk menggerakkan dislokasi hingga *failure*, oleh karena itulah kekerasan meningkat. Fasa tunggal austenite merupakan fasa yang ideal untuk baja mangan, dikarenakan sifatnya yang tangguh. Sehingga, semakin sedikit karbida yang ada, semakin baik sifat mekanik dari baja mangan tersebut.



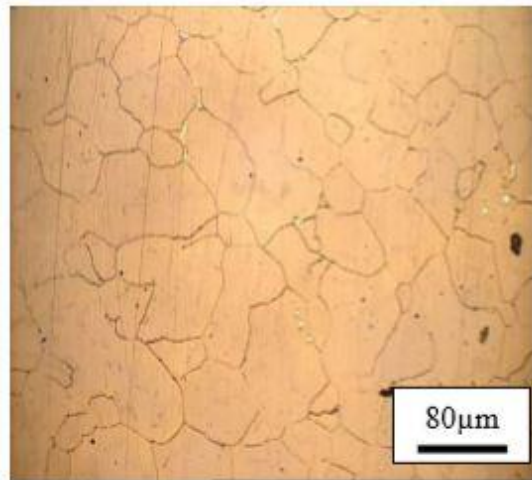
Gambar 4.30 Hasil mikrostruktur sampel Mo.0 (Mo 0%)
(Mohammadnezhad, 2013).



Gambar 4. 31 Hasil mikrostruktur sampel Mo.2 (Mo 0,21%)
(Mohammadnezhad, 2013)

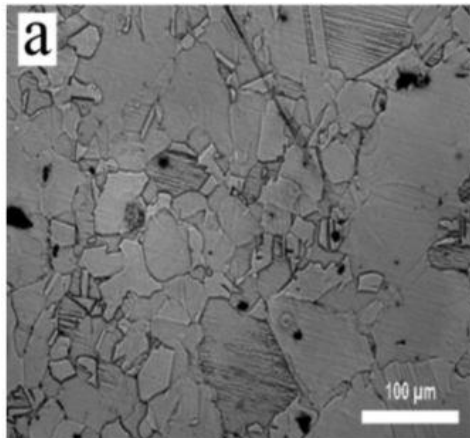


Gambar 4.32 Hasil mikrostruktur sampel Mo.4 (Mo 0,43%)
(Mohammadnezhad, 2013)

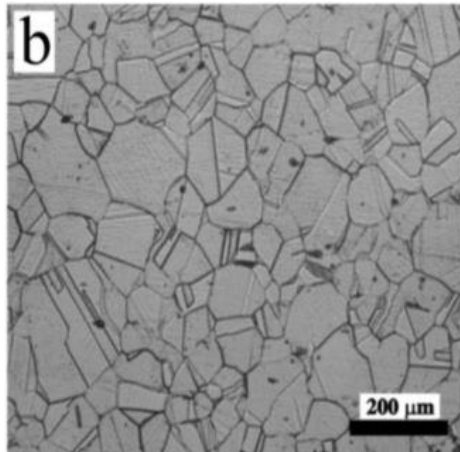


Gambar 4.33 Hasil mikrostruktur sampel Mo.6 (0,62%)
(mohammadnezhad, 2013)

Hasil mikrostruktur penelitian Razavi pada tahun 2012 dapat dilihat pada Gambar 4.34 dan Gambar 4.35, terlihat bahwa sampel 1 memiliki ukuran butir yang lebih besar dibanding sampel 2, dikarenakan pada sampel 2, terdapat molybdenum yang dimana molybdenum sendiri merupakan unsur penstabil karbida, sehingga ia membuat adanya karbida pada mikrostruktur. Karbida yang ada batas butir ini yang menghambat pertumbuhan butir sehingga sampel 2 memiliki batas butir yang lebih kecil. Karbida yang terbentuk yaitu $(Fe,Mo)_3C$



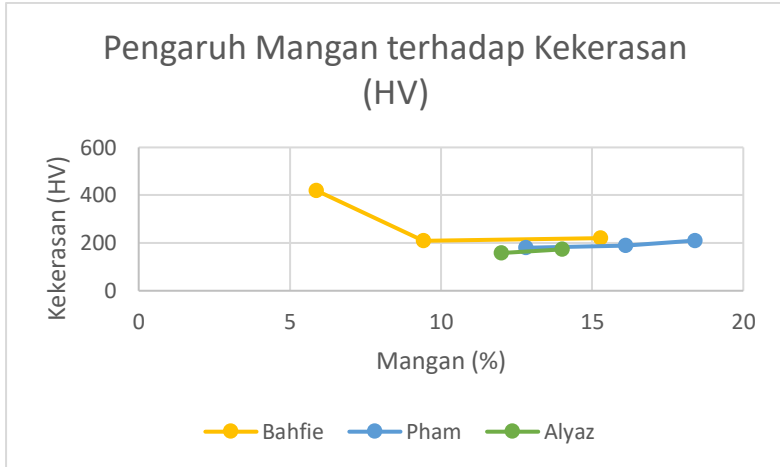
Gambar 4.34 Hasil mikrostruktur sampel 1 (Mo 0%) (Razavi, 2012)



Gambar 4.35 Hasil mikrostruktur sampel 2 (Mo 1,3%) (Razavi, 2012)

4.2 Perbandingan Antar Jurnal

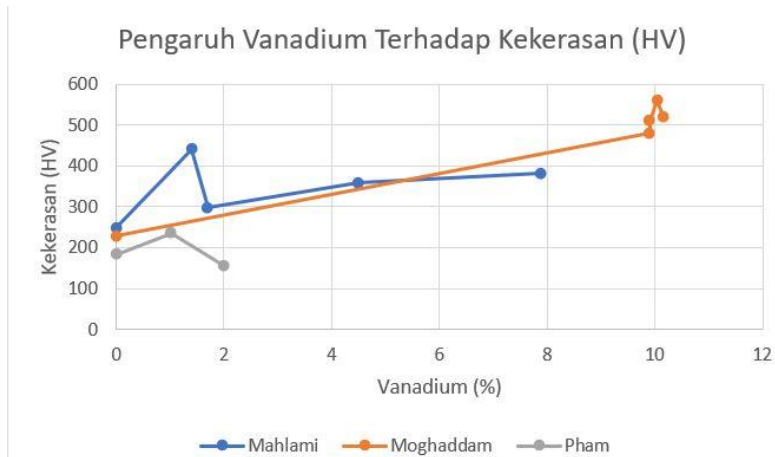
4.2.1 Mangan



Gambar 4.36 Perbandingan antar jurnal pengaruh mangan terhadap kekerasan

Dapat dilihat pada Gambar.36 yang merupakan perbandingan antara jurnal (Bahfie, 2019), (Pham, 20), dan (Alyaz,2013). Terlihat pada grafik bahwa mangan dengan komposisi 10-15% mempunyai kekerasan yang paling optimal dikarenakan kekerasan yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan kegagalan pada jaw plate tersebut karena terkena beban kejut yang berulang-ulang, dan hal ini sesuai dengan ASTM A-128 dimana kandungan mangannya yaitu sebesar 11-14%. Mangan pada kadar sebanyak 5-10% memiliki kekerasan yang cenderung lebih tinggi dibanding dengan 10-15% dikarenakan mangan yang berfungsi sebagai penstabil austenit cukup rendah sehingga austenit tersebut lebih tidak stabil, sehingga kekerasan meningkat.

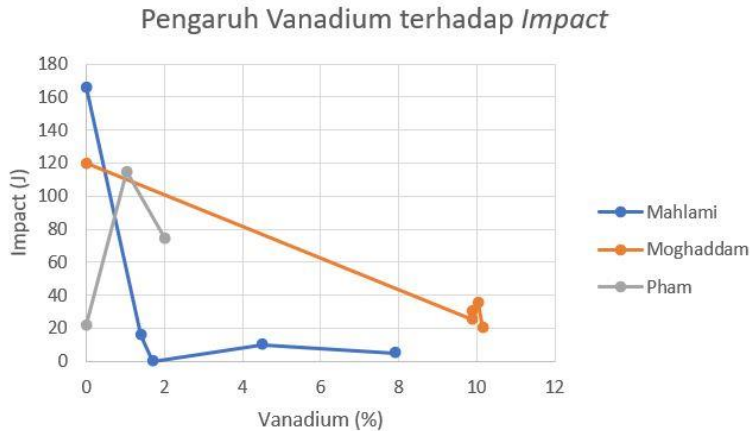
4.2.2 Vanadium



Gambar 4.37 Perbandingan antar jurnal pengaruh vanadium terhadap kekerasan (HV)

Pengaruh vanadium terhadap kekerasan mangan steel dapat dilihat pada Gambar 4.37. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut, oleh karena mangan steel membutuhkan kekerasan yang rendah, maka persentase vanadium yang disarankan yaitu tidak lebih dari 2%. Pada penelitian milik Mahlami terjadi lonjakan pada kekerasan meskipun kadar vanadium tidak lebih dari 2%, hal tersebut diakibatkan karena jumlah karbon yang banyak sehingga meningkatkan kekerasan akibat karbida dari karbon tersebut. Tercatat bahwa pada penelitian (Mahlami, 2017) sampel dengan vanadium sebanyak 1,4% V memiliki kadar karbon sebanyak 2,4% C, kemudian pada sampel dengan kandungan vanadium sebanyak 1,7% V, kadar karbonnya yaitu sebanyak 2% C. Oleh karena itu terjadi naiknya kekerasan dibandingkan dengan sampel dengan vanadium 4,5% yang hanya memiliki karbon sebanyak 1% saja. Sesuai dengan ASTM A-128, dimana kadar vanadium terbesar hanya pada 2%, hal tersebut disebabkan dengan adanya lebih dari 2% vanadium, kekerasan mangan steel tersebut akan naik, dan hal

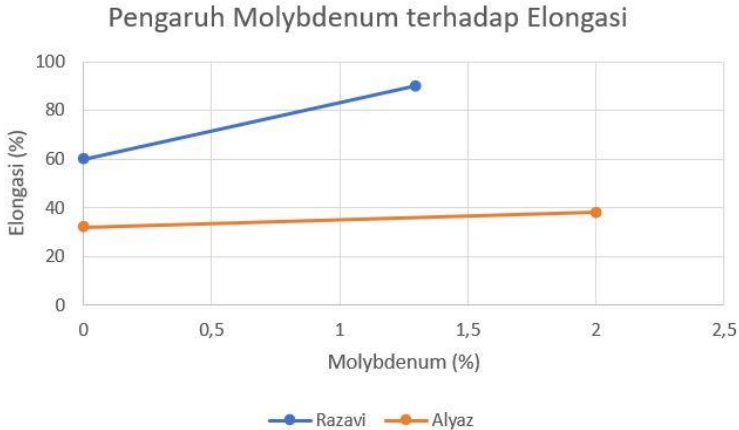
tersebut tidak disarankan untuk mangan steel yang dimana material tersebut membutuhkan keuletan yang tinggi.



Gambar 4.38 Perbandingan antar jurnal pengaruh vanadium terhadap ketahanan *impact*

Pada Gambar 4.38 dapat dilihat pengaruh penambahan vanadium terhadap ketahanan *impact* dari mangan steel dimana ketahanan *impact* tertinggi didapat dengan tanpa adanya vanadium, yaitu 0% vanadium. Dilihat dari hasil perbandingan tiap jurnal memiliki *trend* yang hampir sama yaitu dimana ketangguhan akan menurun seiring dengan meningkatnya vanadium.

4.2.3 Molybdenum



Gambar 4.39 Perbandingan antar jurnal pengaruh molybdenum terhadap elongasi (%)

Pada Gambar 4.39 dapat dilihat bahwa seiring meningkatnya kandungan molybdenum, elongasi pun bertambah. Hal ini berarti menunjukkan bahwa molybdenum meningkatkan keuletan dari mangan steel, dan di sisi lain juga, molybdenum juga meningkatkan kekerasan dari mangan steel. Sedikit berbeda dengan vanadium dimana ia meningkatkan kekerasan namun menurunkan keuletan. Molybdenum merupakan salah satu paduan yang serba guna dan terbukti sukses pada penggunaan secara komersial. Salah satu efek dari molybdenum yang terpenting yaitu meningkatkan ketahanan terhadap terbentuknya karbida pada saat dipanaskan ulang, hal ini menjelaskan Gambar 4.39 dimana seiring meningkatnya molybdenum, keuletan pun meningkat. Salah satu kegunaan terpenting dari molybdenum sendiri yaitu juga untuk meningkatkan *yield strength* tanpa menurunkan ketangguhan. Unsur pembentuk karbida yang lain seperti krom dan vanadium akan meningkatkan *yield strength*, namun pasti akan selalu menurunkan ketangguhan dari mangan steel tersebut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari pengamatan jurnal adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh unsur mangan dalam sifat mekanik yaitu meningkatkan kekerasan, dan komposisi mangan optimal pada *range* 5-10%. Pengaruh unsur krom pada sifat mekanik yaitu meningkatkan kekerasan serta menurunkan ketangguhan. Pengaruh unsur vanadium pada sifat mekanik baja mangan yaitu meningkatkan kekerasan, serta menurunkan ketangguhan. *Range* komposisi untuk vanadium optimal pada 0-2%. Pengaruh Molybdenum pada sifat mekanik baja mangan yaitu meningkatkan kekerasan tanpa menurunkan ketangguhan. *Range* optimal untuk kandungan molybdenum yaitu pada 0-2%.
2. Mangan mempengaruhi fasa austenit yang terbentuk pada mikrostruktur. Pada mikrostruktur, krom mempengaruhi adanya karbida krom yang terbentuk pada batas butir. Pada mikrostruktur, vanadium mempengaruhi adanya karbida vanadium yang terbentuk.

5.2 Saran

Adapun saran dari pengamatan jurnal ada sebagai berikut:

1. Untuk memperoleh hasil yang lebih akurat, pada penelitian selanjutnya diharapkan variasi untuk sampel hanya satu varian unsur agar hasil lebih jelas.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- ___,1990.**ASM Handbook Volume 2 : Properties and Selection : Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials**. ASM International Handbook Committee.
- ___,1991.**ASM Handbook Volume 4 : Heat Treating**.ASM International Handbook Committee.
- ___,1992.**ASM Handbook Volume 3 : Metallography and Microstructures**. ASM International Handbook Committee.
- ___,2000.**ASM Handbook Vol.8. Mechanical Testing and Evaluation**.ASM International Handbook Committee.
- ___,2004.**ASM Handbook Volume 9 : Alloy Phase Diagrams**.ASM International Handbook Committee.
- Agusnoye, J.O. 2015.“Properties Optimization of Hadfield Austenitic Manganese Steel Casting”. Nigeria : Faculty of Engineering Hunedoara
- Alyaz, Sehat. 2003. "Effect of Heat Treatment and Chemical Composition on Microstructure and Mechanical Properties of Hadfield Steels". Turkey : Middle East Technical University.
- Astika. I Made, Negara, DNK Putra, Susantika, Made Agus, 2010. "Pengaruh Jenis Pasir Cetak dengan Zat Pengikat Bentonit Terhadap Sifat Permeabilitas dan Kekuatan Tekan Basah Cetakan Pasir (Sand Casting). Denpasar: Universitas Udayana.
- ASTM. E – 23. Standart Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials.
- ASTM. E – 92. Standart Test Methods for Vickers Hardness of Metallic Materials.
- Avner, Sidney H. 1974. Introduction to Physical Metallurgy. Singapore: McGraw-Hill Book Co.

-
- Bahfie, Fathan.2020. “Studi Pengaruh Kadar Mangan dan Temperatur Austenisasi terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Baja Mangan.Lampung : Balai Penelitian Teknologi Mineral, LIPI.
- Callister, W.D. (2007). *Materials Science and Engineering an Introduction*. Hoboken : Jhon Willey & Sons inc.
- Cardarelli, F. (2008). *Materials Handbook A Concise Desktop Reference Second Edition*. London: Springer.
- Kubaschewski, o. (1982). *Iron-binary Phase Diagrams*. Berlin: Springer.
- De Garmo,E.P., 1969, *Materials and Processes in Manufacturing*, Mac Milian Company, New York.
- Falodun, O.E. 2019. “Characterization of Cast Manganese Steels Containing Varying Manganese and Chromium Additions.”. Nigeria : University of Johannesburg
- Kumar, Arvind. 2019. "Reducing the Time of Heat Treatment Cycle of the Manganese Steel". India: Sanskriti University.
- Mahlami, 2017. “Mechanical Properties and Microstructure Evaluation of High Manganese Steel alloyed with Vanadium”. Iran : University of Johannesburg.
- Mohammadnezhad, Mahyar. 2013. “ Effect of The Molybdenum on the Microstructural and Mechanical Properties of Hadfield Austenitic Manganese Steel”. Iran : Department of Material Engineering.
- Moghaddam, E.G. 2011. “ On the Comparison of Microstructural Characteristics and Mechanical Properties of high-vanadium Austenitic Manganese Steels with the Hadfield Steel.”. Iran : Sharif University of Technology.
- More, Ramkrushna S. 2013. "A Review on Study of Jaw Plates of Jaw Crusher". India: Babasaheb Naik College of Engineering.
-

-
- Nandagopal, M. 2017. "Study of Sand Casting Gating System". India: Bannari Amman Institute of Technology.
- Olawale. 2013. "Workhardening Behaviour and Microstructural Analysis of Failed Austenitic Manganese Steel Crusher Jaws". Nigeria: Obafemi Awolowo University Ile-Ife.
- Pham, Mai Khanh. 2018. "Influence of Vanadium Content on the Microstructure and Mechanical Properties of High-Manganese Steel.". Vietnam : Hanoi University of Science and Technology.
- Pham, Mai Khanh. 2019 "Effect of Element Addition and Heat Treatment Process on the Properties of High Manganese Steel." Vietnam : Hanoi University of Science and Technology.
- Pratomo, Sri Bimo, dkk.2016. "Penelitian dan Pengembangan Material Jaw Plate yang terbuat Dari Baja Mangan Untuk Substitusi Impor." Bandung : Balai Besar Logam dan Mesin
- Razavi, Gholam Reza. 2013. " Effect of A Mo Addition on the Properties of High-Mn Steel". Iran : islamic Azad University.
- Suherman, Wahid. 2003. Ilmu Logam I. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Tasker, J., Austenitic Manganese steel-fact and fallacy. Intermountain Minerals Symposium. Vail; Colorado, 3-6 August, 1982 pp 3-1
-

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Selama proses pengerjaan tugas akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Keluarga yang telah menjadi sumber motivasi dan penyemangat dalam pembuatan laporan ini, serta telah mendukung secara moril maupun materil, dan doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan, dan kelancaran dalam mengerjakan Laporan Tugas Akhir.
2. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS yang melancarkan Tugas Akhir penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.
3. Teman-teman angkatan 2016 yang telah memberikan kesan dan pelajaran yang sangat berarti bagi masa perkuliahan penulis.
4. Tania yang telah banyak membantu serta mendukung dalam penulisan tugas akhir.
5. Teman-teman “Lazy Rented” yang telah menyediakan tempat selama dua tahun terakhir.
6. Teman-teman “KaKaKa” yang telah menjadi keluarga kedua.
7. Nabil Rheza Wibawa yang telah menjadi teman belajar penulis sampai dengan penyusunan tugas akhir.

Akhir kata, semoga review paper ini dapat bermanfaat dan berguna bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, 22 juli 2020



Edwin Evan Halim
02511640000115

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 8 Desember 1997, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dasar di SD Margie Surabaya, lalu melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Kristen Petra 1 Surabaya, dan pendidikan menengah akhir di SMA Cita Hati West Campus. Penulis melanjutkan pendidikan strata 1 di Teknik Material dan Metalurgi FTIRS ITS pada tahun 2016. Penulis memiliki pengalaman kerja di PT. GMF AeroAsia Tbk pada bulan Juli hingga Agustus tahun 2019 dengan judul penelitian “Simulasi modifikasi material *Shear-pin* pada *Towbar* 15F2397 untuk Pesawat Airbus 330-300 di PT. GMF AeroAsia Tbk.” Tugas akhir yang diambil penulis yaitu pada bidang Metalurgi dengan judul “**Review pengaruh komposisi terhadap sifat mekanik dan struktur mikro Austenitic Manganese Steel**”. Penulis dapat dihubungi melalui nomor 08113116327 atau melalui email edwinevanhalim08@gmail.com