



## Studi pengaruh kadar mangan dan temperatur austenisasi terhadap struktur mikro dan sifat mekanik baja mangan

*Study of The Effect of Manganese Content and Austenitization Temperature on The Microstructure and Mechanical Properties of Manganese Steel*

**F. Bahfie<sup>\*2</sup>, Z. Aleiya<sup>1</sup>, A. Milandia<sup>1</sup>, F. Nurjaman<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten Jl. Jenderal Sudirman Km. 3, Cilegon, Banten, 42435, Indonesia.

<sup>2</sup>Balai Penelitian Teknologi Mineral, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jl. Ir. Sutami Km. 15 Lampung Selatan, Lampung, 35361, Indonesia.

\*E-mail: fathanbahfie@gmail.com

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 29 July 2019

Accepted 24 December 2019

Available online 01 April 2020

#### Keywords:

Manganese steel

Manganese content

Austenitization temperature

Microstructure

Mechanical properties



### ABSTRACT

High manganese steel or austenitic manganese steel commonly are used in mining industries such as the component in an excavator, hammer mill, crusher, and jaw crusher plates. Those components are the alloy cast steel with containing manganese (Mn) about 11-18%. The mechanical properties of austenitic manganese steel are depending on the amount of manganese and carbon. The austenitic steel has three dominant properties, i.e. high hardness; good wear resistance, and high impact resistance. The objectives of this research are investigating the effect of the composition of manganese and the austenitization temperature on the microstructure and mechanical properties of austenitic manganese steel. Each variation of manganese composition was 5.87%, 9.42% and 15.28%. It was heated at 950, 1000 and 1050°C for 60 minutes and then quenched with water. The result showed that the highest hardness was 46 HRC where the composition of manganese and the austenitization temperature was 5.87% and 1050°C. The lowest hardness number was 16.3 HRC where the content of manganese and the temperature was 9.42% and 1050°C. The results agreed with the microstructure of the increase in carbides and the composition of manganese increased too. For the wear resistance properties, the optimum one was 6.78 x 10<sup>-6</sup> mm<sup>3</sup>/m at the composition of manganese and temperature of 5.87% and 1050°C.

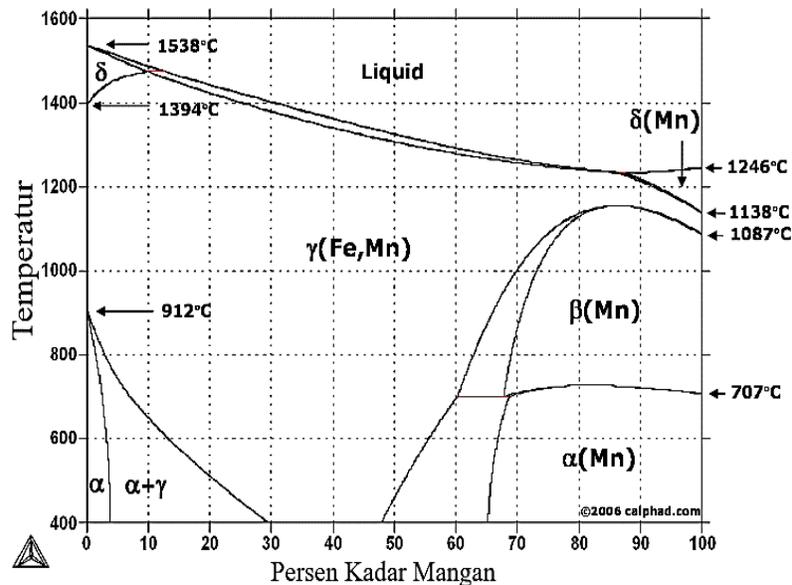
*Dinamika Teknik Mesin*, Vol. 10, No. 1, April 2020, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

### 1. PENDAHULUAN

Austenisasi adalah proses pemanasan material besi/baja hingga mencapai fasa austenit untuk mendapatkan struktur austenit yang homogen. Austenisasi merupakan tahap yang sangat kritis pada

proses perlakuan panas dimana proses ini berdampak terhadap proses pelarutan karbida ke dalam matriks austenit yang akan berubah menjadi martensit melalui proses pendinginan cepat/*quenching*. Karbida yang sukar larut dan halus dapat memperlambat pertumbuhan austenit (Smallman dan Bishop, 1991). Austenisasi juga dapat mempengaruhi *hardenability*, dimana bila semakin banyak unsur paduan yang larut ke dalam austenit akan meningkatkan sifat mampu keras/*hardenability* material besi/baja. Baja mangan austenitik atau disebut juga dengan baja mangan Hadfield, memiliki kandungan mangan yang tinggi yaitu antara 11%-18%. Nama Hadfield diberikan atas nama pembuatnya yaitu, Robert Hadfield (1858-1940) yang membuat baja mangan austenitik pada tahun 1882. Komposisi baja mangan austenitik yang diperkenalkan pertama kali secara komersial adalah baja mangan dengan kandungan karbon 1,2% dan mangan 12,5%. Unsur karbon dan unsur mangan dalam material baja berperan sebagai penstabil fasa austenit. Baja mangan sulit untuk dilakukan proses pemesinan dan pembentukan. Hal ini dikarenakan baja mangan memiliki nilai kuat luluh yang rendah, yaitu 345 – 415 Mpa (Baxter, 2008).

Aplikasi yang tepat untuk baja mangan yaitu pada lingkungan kerja yang melibatkan proses penempaan, sebab proses ini akan meningkatkan kekuatan luluh dan kekerasan permukaan sehingga akan menghasilkan material yang memiliki bagian permukaan keras dan ketahanan aus yang baik, namun memiliki inti dengan ketangguhan yang baik. Oleh karena itu baja mangan ini banyak digunakan untuk peralatan yang mampu menahan beban dampak (Patil dkk, 2015). *Jaw crusher-plates* adalah salah satu komponen dari mesin atau alat pemecah batu yang banyak digunakan pada industri pertambangan. *Jaw crusher-plates* umumnya terbuat dari material baja mangan kadar tinggi atau baja mangan austenit sesuai standar ASTM A128 / A128M.

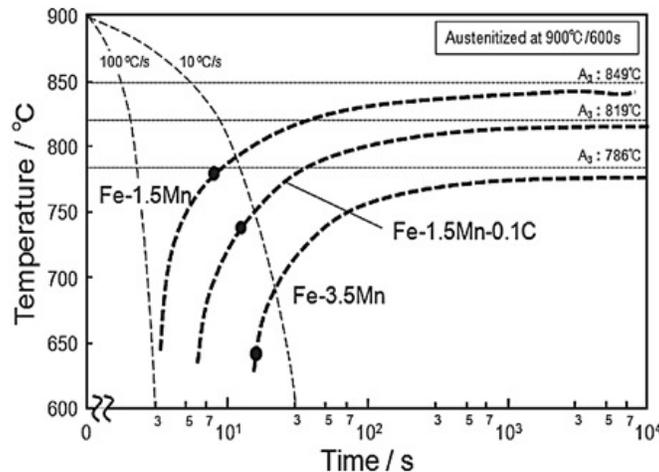


Gambar 1. Diagram fasa Fe-Mn-C (Okamoto, 1992).

Diagram fasa baja mangan (Fe-Mn), seperti ditunjukkan dalam gambar 1, berfungsi sebagai acuan dalam menentukan temperatur kerja proses perlakuan panas pada komposisi unsur mangan yang bervariasi dalam baja mangan. Gambar 1 menunjukkan bahwa jika temperatur kerja kurang dari 400°C, fasa ferit ( $\alpha$ ) dengan struktur kristal *Body Centre Cubic* (BCC) lebih dominan dari fasa austenit ( $\gamma$ ). Kandungan mangan 12% berat pada baja dengan temperatur 400°C - 650°C terbentuk fasa ferit ( $\alpha$ ), fasa austenit ( $\gamma$ ) dan karbida mangan, sedangkan temperatur lebih dari 650°C maka fasa austenit ( $\gamma$ ) lebih dominan dibandingkan dengan fasa ferit ( $\alpha$ ). Pada temperatur kerja 1000°C-1400°C, maka akan terbentuk fasa austenit ( $\gamma$ ) dengan struktur kristal *Face Center Cubic* (FCC), sedangkan jika pemanasan di atas temperatur 1550°C terbentuk fasa liquid (L) pada baja mangan (Okamoto, 1992).

Kandungan mangan dalam baja meningkatkan kekuatan, kekerasan dan ketangguhan material baja, sehingga baja mangan hadfield memiliki ketangguhan yang tinggi. Baja mangan memiliki struktur fasa austenit yang stabil pada temperatur kamar serta menghasilkan struktur butir yang lebih halus dalam material baja (Akil dan Geveci, 2008). Kandungan mangan dalam baja hampir tidak

berpengaruh pada kuat luluh, tetapi akan mempengaruhi kuat tarik dan keuletannya. Pada saat dilakukan proses austenisasi yang dilanjutkan dengan pendinginan cepat/*quench* terhadap material baja mangan, nilai kekerasan dan ketangguhan yang dimilikinya cenderung tinggi. Nilai kekerasan baja mangan yang didapat setelah proses pendinginan cepat menggunakan air/water *quench* dan *work hardened* mencapai 500 HRB/51 HRC (Baxter, 2008). *Quenching* merupakan proses pengerjaan logam dengan pendinginan secara cepat. Melalui proses *quenching*, dapat mencegah adanya proses yang dapat terjadi pada pendinginan lambat seperti pertumbuhan ukuran butir matriks yang akan berdampak negatif terhadap kekerasan suatu material besi/baja. Secara umum, *quenching* akan menyebabkan menurunnya ukuran butir dan dapat meningkatkan nilai kekerasan pada suatu paduan logam. Kecepatan pendinginan dengan air lebih besar dibandingkan pendinginan dengan oli, sedangkan pendinginan dengan udara memiliki kecepatan yang paling kecil. Pada umumnya baja yang telah mengalami proses *quenching* memiliki kekerasan yang tinggi tetapi agak rapuh. Untuk memperbaiki sifat rapuh tersebut, maka sebaiknya dilakukan proses *tempering* setelah proses *quenching* (Bramfitt dan Anil, 1991).



Gambar 2. Diagram CCT Fe-Mn-C (Okamoto,1992).

Laju pendinginan sangat mempengaruhi struktur mikro material. Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu, temperatur dan transformasi, yaitu diagram *Continuous Cooling Transformation* (CCT), seperti ditunjukkan dalam gambar 2. Laju pendinginan yang cepat setelah dilakukan proses austenisasi pada 900°C, yaitu sebesar 100°C/detik, menghasilkan fasa *fully austenite*, ditunjukkan dengan garis laju pendinginan yang tidak memotong garis CCT untuk tiap material baja mangan dengan komposisi yang berbeda. Sebaliknya laju pendinginan yang sangat lambat, yaitu 10°C/detik, menghasilkan struktur fasa *non-fully austenite*, ditunjukkan dengan terpotongnya garis CCT oleh garis laju pendinginan. Penelitian terkait struktur mikro pada baja mangan kadar rendah telah dipelajari (Tomaz dkk, 2019) dimana ditemukan fasa ferit diantara matriks austenit. Temperatur austenisasi mula (*Austenization Start/As*) dipengaruhi oleh kandungan mangan dan karbon dalam baja mangan. Seperti ditunjukkan oleh gambar 2, temperatur austenisasi mula semakin rendah dengan semakin besarnya kandungan mangan dan karbon (Lis, 2008). Dalam penelitian ini telah dipelajari pengaruh dari kandungan mangan dan temperatur austenisasi terhadap struktur mikro dan sifat-sifat mekanik pada baja mangan.

## 2. METODE PENELITIAN

Material yang digunakan dalam penelitian adalah baja mangan dengan kadar mangan 5-6% (sampel A), 9-10% (sampel B) dan 15-16% (sampel C). Sampel di preparasi menjadi ukuran 2,5 × 2 × 1 cm. Tiap-tiap sampel tersebut dilakukan proses perlakuan panas dengan 3 variabel temperatur austenisasi yaitu 950°C, 1000°C dan 1050°C dengan waktu tahan selama 60 menit menggunakan *muffle furnace*. Bila lama waktu penahanan dalam proses perlakuan panas telah tercapai, selanjutnya sampel didinginkan secara cepat (*quench*) ke dalam air. Sampel yang telah dilakukan proses perlakuan panas, dikarakterisasi melalui pengamatan metalografi dan dilakukan pengujian kekerasan

dan keausan sebagai parameter sifat mekanik. Alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi material tersebut adalah *Optical Electron Spectrometry (OES)*, mikroskop optik, alat uji kekerasan (*Rockwell test*) dan alat uji ketahanan aus (*pin on-disc test*).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

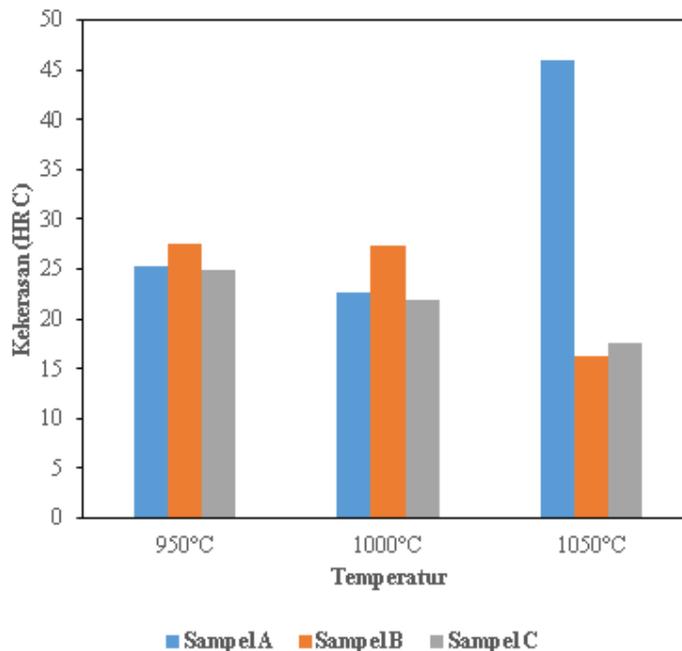
Pengujian komposisi material digunakan untuk mengetahui kandungan unsur yang terdapat dalam material tersebut. Pada penelitian ini, pengujian komposisi kimia baja mangan dilakukan dengan menggunakan *Optical Electron Spectrometry (OES)*. Tabel 1 merupakan hasil analisis komposisi baja mangan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Hasil komposisi baja mangan

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

Baja yang mengandung mangan lebih dari 11% termasuk baja mangan hadfield atau baja mangan austenitik. Kandungan karbon dalam baja dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan tetapi jika kandungan lebih dari 1,7% akan menurunkan ketangguhan baja. Kandungan silikon lebih dari 0,4% mempunyai pengaruh untuk meningkatkan kekenyalan, ketahanan aus dan ketahanan terhadap panas. Kandungan nikel pada baja berfungsi untuk memperbaiki kekuatan tarik dan menaikkan sifat ulet. Kandungan kromium lebih 1,5% pada baja menghasilkan struktur yang lebih halus dan membuat sifat baja dikeraskan lebih baik (Aggen, 2004).

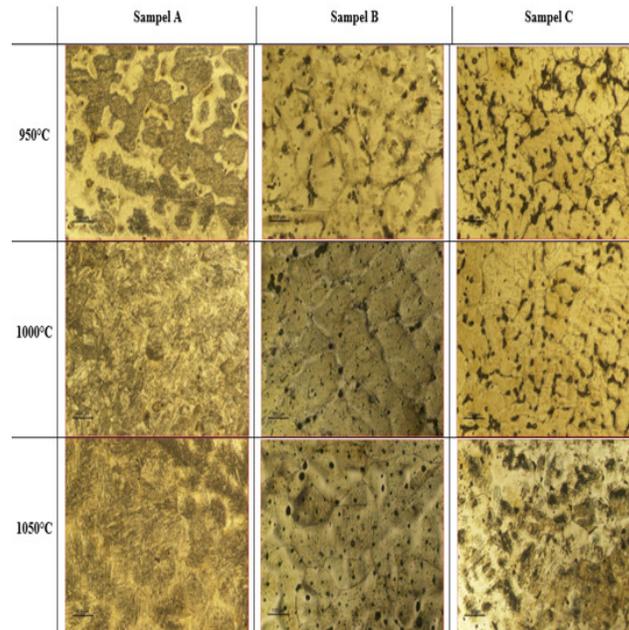
Proses perlakuan panas menyebabkan berubahnya sifat mekanik dari suatu material. Pada sampel A seiring dengan naiknya temperatur austenisasi, didapatkan nilai kekerasan yang relative mengalami kenaikan, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan hasil analisis struktur mikro, seperti ditunjukkan pada Gambar 4, ukuran butir pada sampel A semakin halus seiring dengan semakin meningkatnya temperatur austenisasi, dimana tampak fasa martensit halus pada temperatur austenisasi 1050°C sehingga mampu meningkatkan kekerasan pada baja mangan.



Gambar 3. Nilai kekerasan pada baja mangan dengan temperatur austenisasi 950°C, 1000°C 1050 °C.

Dari Gambar 3, nilai kekerasan baja mangan hasil proses pemanasan pada temperatur austenisasi pada sampel B dan sampel C relatif menurun seiring dengan semakin tingginya temperatur austenisasi. Hal tersebut dikarenakan larutnya karbida pada batas butir, seperti

ditunjukkan dalam Gambar 4, seiring dengan semakin meningkatnya temperatur austenisasi. Nilai kekerasan baja mangan hasil proses perlakuan panas pada kadar mangan 9-10% (sampel B) dan 15-16% (sampel C) menurun seiring dengan semakin tingginya temperatur austenisasi. Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan bahwa kenaikan temperatur austenisasi menyebabkan turunnya nilai kekerasan dan naiknya harga impak akibat larutnya karbida dalam matriks (Mulyanti dan Juriah, 2011).



Gambar 4. Struktur mikro baja mangan hasil *heat treatment* pada ketiga sampel

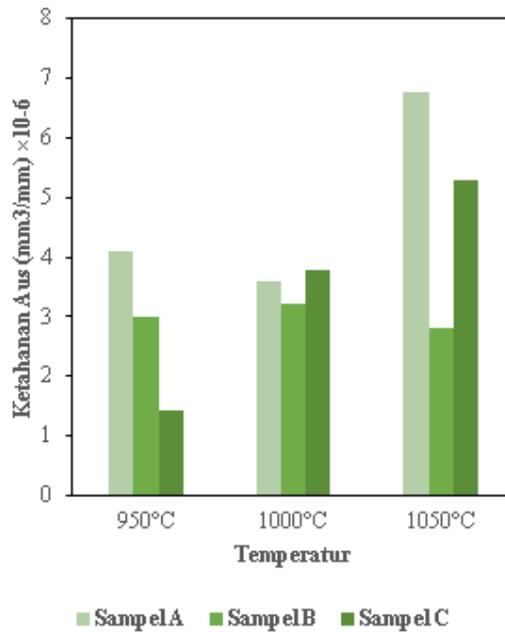
Berdasarkan gambar 4, sampel B dan sampel C pada perlakuan panas dengan temperatur 1050°C terlihat bahwa karbida yang tumbuh di dalam matriks semakin banyak dan semakin tumbuh membesar, sebaliknya tidak tampak adanya karbida di batas butir dikarenakan karbida tersebut larut ke dalam matriks. Hal tersebut menyebabkan menurunnya nilai kekerasan pada sampel B dan C namun keberadaan karbida dalam matriks akan memperbaiki sifat ketangguhan dari material tersebut.

Tabel 2. Hasil perhitungan distribusi fasa-fasa pada sampel A, B, dan C.

Sampel	Temperatur	Presentasi fasa martensit (%)	Presentasi 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 2 dapat dianalisis bahwa pada sampel A, fasa martensit yang terbentuk mengalami penurunan dan optimal pada temperatur 1000°C, dimana kondisi ini sesuai dengan struktur mikro pada gambar 4. Pada sampel B tampak bahwa presipitasi karbida relatif tetap seiring dengan

meningkatnya temperatur austenisasi, sedangkan hal sebaliknya terjadi pada sampel C. Kandungan mangan yang tinggi 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 dilakukan proses *quenching*.



Gambar 5. Perbandingan antara temperatur austenisasi terhadap nilai ketahanan aus pada sampel A, B dan C

Berdasarkan gambar 5, menunjukkan adanya pengaruh antara temperatur austenisasi dengan persentase kandungan mangan pada ketahanan aus material baja mangan. Saat dilakukan perlakuan panas pada temperatur 950°C, sampel C memiliki laju tahan aus yang optimum dengan nilai laju tahan aus  $1,41 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ . Pada temperatur 1000°C dan temperatur 1050°C, sampel B memiliki laju tahan aus yang optimum dengan nilai laju tahan aus yaitu  $3,2 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$  dan  $2,82 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ . Dalam kasus baja Hadfield, baik kekerasan dan kedalaman lapisan yang dikeraskan tergantung pada ukuran abrasif. Kedalaman yang lebih tinggi untuk lapisan yang dikeraskan itu ditemukan partikel abrasif yang lebih besar (Tressia dkk, 2017). Selain itu, menurut (Changhong dkk, 2017) menjelaskan kedalaman dan kekerasan lapisan yang mengeras meningkat dengan dampak peningkatan energi impact dan aus.

#### 4. KESIMPULAN

Pada baja mangan kadar rendah (5-6% Mn) menghasilkan nilai kekerasan yang semakin meningkat dengan semakin tingginya temperatur yang diakibatkan oleh terbentuknya struktur martensit halus (fine martensite). Pada baja mangan kadar menengah (9-10% Mn) dan kadar tinggi (15-16% Mn), struktur austenit semakin stabil dengan meningkatnya kandungan mangan dan temperatur austenisasi pada baja mangan yang menyebabkan munculnya fasa austenit yang dominan, dimana hal ini menyebabkan nilai kekerasan baja mangan menjadi rendah pada kondisi *as-quenched*.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada Balai Penelitian Teknologi Mineral-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (BPTM-LIPI) untuk dukungan dana, bahan dan alat pada penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

Aggen G., 2004, ASM Handbook Vol.1.

- Akil C., Geveci A., 2008, Optimization of conditions to produce manganese and iron carbides from Denizli-Tavas manganese ore by solid state reduction, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 32(3), 125–131.
- Baxter R., 2008, Effects of heat treatment and chemical composition on microstructure and mechanical properties of hadfield steels.
- Bramfitt B.L., Anil K.H., 1991, *ASM Handbook Vol.4 Heat Treating*.
- Changhong C., Renbo S., Shuai L., Yifan F., Zhongzheng P., 2017, Wear behavior and subsurface layer work hardening mechanism of Fe-24.1Mn-1.21C-0.48Si steel, *International Conference on the Technology of Plasticity*, Cambridge, United Kingdom.
- Lis J., Lis A., 2009, Phase transformations in low-carbon manganese steel 6Mn16, *Metalurgija*, 48(1), 33–37.
- Mulyanti, Juriah, 2011, Pengaruh kadar mangan (Mn) dan perlakuan panas terhadap sifat mekanik dan strukturmikropaduan bajamangan austenit. Tesis. Universitas Indonesia.
- Okamoto H., 1992, *ASM Handbook Vol.3 Alloy Phase Diagrams*.
- Patil R.R., 2015, Experimental effect on jaw, (5), 712–719.
- Smallman R.E., Bishop R.J., 2013, Modern physical metallurgy and materials engineering, *Journal of Chemical Information and Modeling* 53(9), 1689–1699.
- Tressia G., Penagos J.J., Sinatora A., 2017, Effect of abrasive particle size on slurry abrasion resistance of austenitic and martensitic steels, *Wear* 376-377, 63–69.