

# Analisis Pengaruh Annealing yang Dikombinasikan Dengan *Repetitive Hammering* Terhadap Nilai Kekerasan Pada Baja AISI 201

Annisa Novitasari<sup>1,\*</sup>, Destri Muliastri<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012  
E-mail : <sup>1,\*</sup>annisa.novitasari.pmf19@polban.ac.id; <sup>2</sup>destri.muliastri@polban.ac.id

## ABSTRAK

Baja AISI 201 termasuk kedalam baja tahan karat austenitik (*austenitic stainless steel*) dengan kandungan Cr 16-18% dan C 0,15%. Material ini memiliki sifat mekanik yang rendah sehingga diperlukan peningkatan kekuatan pada material dengan rekayasa material. Salah satu teknik rekayasa material yang dilakukan yaitu kombinasi antara perlakuan panas dengan deformasi plastis. Penelitian ini menganalisis kekerasan dari AISI 201 yang dilakukan *annealing* yang dikombinasikan dengan *repetitive hammering*. Proses *annealing* dilakukan dengan temperatur 1050°C dan waktu penahanan 19 menit. Proses *repetitive hammering* dilakukan dengan menjatuhkan beban pada sampel secara berulang. Menggunakan beban seberat 5 Kg dengan ketinggian 1 meter, variasi pemukulan beban adalah 20 kali, 40 kali, dan 60 kali. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan meningkat seiring dengan deformasi yang diberikan. Nilai kekerasan secara berurutan yaitu 148,7 VHN ; 237,9 VHN ; 322,7 VHN ; 328,7 VHN dan 290,9 VHN. Hasil pengujian kekerasan diketahui bahwa semakin banyak jumlah variasi pukulan yang dilakukan, maka akan semakin tinggi nilai keras yang didapatkan. Hal ini dapat disebabkan karena *slip line* yang semakin rapat dan bertambah seiring dengan bertambahnya deformasi berupa pukulan yang diberikan. adanya *twinning* dan *slip line* dapat menghambat gerakan dislokasi sehingga meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan korosi.

## Kata Kunci

AISI 201, *austenitic stainless steel*, *repetitive hammering*, deformasi plastis

## 1. PENDAHULUAN

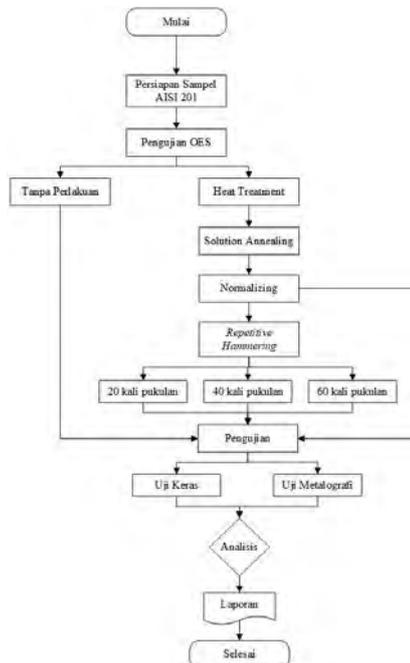
Baja merupakan material yang sering digunakan dalam dunia industri. Contoh penggunaan baja yaitu pada industri otomotif, perkapalan, permesinan, dan industri lainnya [1]. AISI 201 termasuk ke dalam baja tahan karat austenitik (*austenitic stainless steel*) seri 200. Material ini merupakan salah satu terbesar dari klasifikasi yang memiliki jumlah paduan dan penggunaan. Dengan kandungan kromium sekitar 16-18% dan karbon maksimum 0,15% material ini bersifat nonmagnetik. Austenitic stainless steels ini memiliki keuletan, kemampuan bentuk dan ketangguhan yang sangat baik [2]-[3]. Penggunaan *austenitic stainless steels* AISI 201 ini banyak digunakan karena ketahanan korosi, kemampuan bentuk, dan kemampuan las yang baik. Material ini biasanya digunakan pada industri makanan, petrokimia, dan nuklir. Baja *austenitic stainless steels* ini banyak digunakan untuk komponen yang memerlukan kekerasan dan keuletan yang tinggi, namun material ini memiliki sifat mekanik yang rendah, seperti kekerasan dan kekuatan yang rendah [4]-[5]. Sehingga membatasi penggunaannya terutama dalam bidang rekayasa struktural dan industri otomotif. Maka perlu dilakukan peningkatan

kekuatan pada material ini. Untuk meningkatkan kekuatan dari material ini umumnya menggunakan rekayasa material. salah satu teknik rekayasa material logam yang dilakukan adalah kombinasi antara deformasi plastis dengan perlakuan panas yang biasa disebut *thermomechanical treatment* [6]. Berdasarkan penelitian Triadi (2022), dilakukan pada peningkatan kekerasan baja tahan karat austenitik Cr-Mn dan mempertahankan baja tahan karat austenitik dengan keuletan tinggi dan ketahanan korosi yang baik dengan perlakuan deformasi plastis dinamis (DPD) metode *repetitive hammering*. Dilakukan juga perlakuan panas *solution annealing* dengan tujuan untuk menghilangkan proses deformasi pada material yang diterima. Penelitian tersebut membuktikan bahwa perlakuan deformasi plastis dinamis (DPD) metode *repetitive hammering* dapat meningkatkan kekerasan hingga 71,6 HRA. Penelitian ini berupaya untuk meningkatkan kekerasan material dengan metode yang sama seperti penelitian sebelumnya yaitu perlakuan panas *annealing* yang dikombinasikan dengan *repetitive hammering*, namun dengan

ketebalan material dan jumlah variasi pukulan yang berbeda.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan persiapan sampel dilanjutkan dengan pengujian OES. Kemudian dilakukan *heat treatment* yaitu *solution annealing* dengan suhu 1050°C dan waktu penahanan 19 menit, dan *normalizing*.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 2.1 Persiapan Sampel

Plat AISI 201 dipotong dengan ukuran yang sama tiap sampel yaitu 100 mm x 30 mm dengan ketebalan 5 mm. Terdapat 6 sampel dengan variasi yang berbeda pada masing masing sampel, ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Keterangan Kode Sampel

Kode Sampel	Keterangan
A	Tanpa Perlakuan
B	Perlakuan: 1. <i>Solution annealing</i> , 1050°C 2. <i>Normalizing</i>
C	Perlakuan: 3. <i>Solution annealing</i> , 1050°C 4. <i>Normalizing</i> 5. <i>Repetitive hammering</i> (20 pukulan)
D	Perlakuan: 1. <i>Solution annealing</i> , 1050°C 2. <i>Normalizing</i> 3. <i>Repetitive hammering</i> (40 pukulan)
E	Perlakuan:

	1. <i>Solution annealing</i> , 1050°C 2. <i>Normalizing</i> 3. <i>Repetitive hammering</i> (60 pukulan)
F	Perlakuan: 1. <i>Solution annealing</i> , 1050°C 2. <i>Repetitive hammering</i> (40 pukulan)

### 2.2 Heat Treatment

Sampel yang sudah dipotong, kemudian dilakukan *heat treatment annealing* dengan suhu 1050°C dan waktu penahanan selama 19 menit. Adapun waktu penahanan (*holding time*) ditentukan dengan persamaan 1 [7].

$$(\text{minimum thickness in mm}) * (1 \text{ min}) + 15 \text{ mins} \quad (1)$$

### 2.3 Repetitive Hammering

Pengujian *repetitive hammering* dilakukan dengan menjatuhkan beban seberat 5 kg pada ketinggian 1 meter. Variasi pemukulan yang dilakukan adalah 20, 40, dan 60 kali.



Gambar 2. Proses *repetitive hammering*

Energi potensial ( $E_p$ ) dan *true strain* ( $\epsilon_T$ ) pada masing masing sampel dapat dihitung dengan persamaan (1) dan (2).

$$E_p = m. g. h \quad (2)$$

$$\epsilon_T = \ln \frac{t_i}{t_0} \quad (3)$$

Dengan  $m$  = beban (5 kg),  $g$  = kecepatan gravitasi,  $h$  = ketinggian jatuh (1 m),  $t_0$  = ketebalan awal sampel, dan  $t_i$  = ketebalan akhir sampel.

### 2.4 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan *mikrovickers* dengan mesin *digital hardness testing machine* Mitotuyo HM-122. Uji kekerasan ini dilakukan sebanyak 3 titik pada masing-masing sampel dengan pembebanan sebesar 0,2 kgf dan waktu penahanan 10 detik. Pengujian ini digunakan

indentor vickers dan dilakukan berdasarkan standar ASTM E384.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengujian OES

Tabel 2 menunjukkan komposisi kimia AISI 201 hasil uji OES (*Optical Emission Spectroscopy*).

Tabel 2. Hasil Uji OES

Unsur (wt%)							
C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Fe
0,028	0,4	0,002	0,023	1,469	7,95	18,24	71,77

Diketahui bahwa baja *austenitik stainless steels* dengan 18,24% Cr dan 7,95 Ni digunakan dalam penelitian ini.

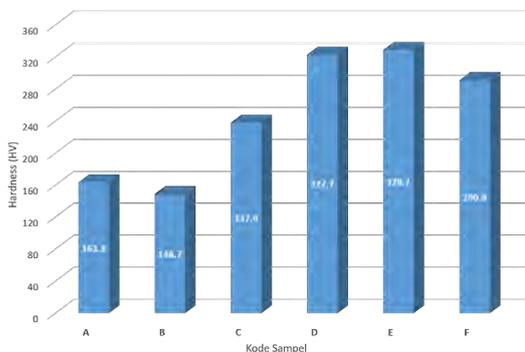
#### 3.2 Pengujian Kekerasan

Setelah diberikan perlakuan panas dan *repetitive hammering*, sampel dilakukan uji kekerasan, data hasil pengujian kekerasan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji kekerasan

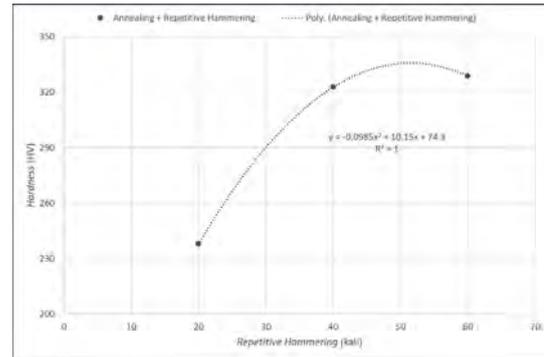
Kode Sampel	Hardness (HV)			Rata-rata
	1	2	3	
A	164,4	161,2	164,4	163,3
B	148,4	148,7	149,1	148,7
C	235,8	238,8	239,2	237,9
D	315,2	327,0	325,8	322,7
E	323,7	329,3	333,1	328,7
F	288,1	292,2	292,4	290,9

Dari data hasil uji kekerasan diatas, kemudian dibuatlah diagram perbandingan yang ditunjukkan pada Gambar 3.

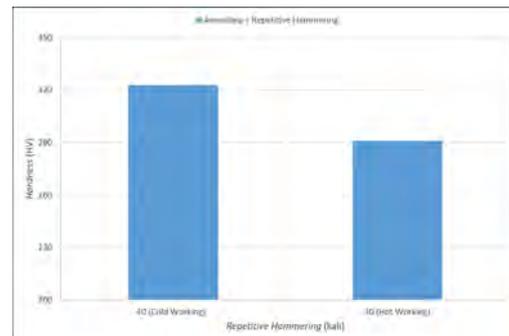


Gambar 3. Diagram hasil uji kekerasan

Diketahui semakin besar variasi jumlah pukulan maka nilai kekerasan semakin meningkat. Hal ini dapat di lihat pada grafik yang ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4. Grafik variasi jumlah pukulan terhadap nilai kekerasan



Gambar 5. Diagram Perbandingan Kekerasan Sampel Cold Working dan Hot Working

Sampel E dengan pukulan 60 kali memiliki kekerasan paling tinggi sebesar 328,7 HV. Dari grafik pada Gambar 4. diketahui bahwa semakin banyak pukulan yang dilakukan, maka kekerasan juga akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena adanya slip line yang muncul akan semakin meningkat seiring dengan gaya yang diberikan semakin besar. Hambatan yang membatasi pergerakan dislokasi akan meningkatkan tegangan kritis. Untuk mengatasi tegangan kritis tersebut, maka terbentuk deformasi *twinning*. Deformasi *twinning* ini meningkatkan kekerasan material [8]. Sampel F dilakukan *hot working* dengan jumlah pukulan 40 kali. Sampel ini memiliki nilai kekerasan yang sedikit lebih kecil dibandingkan dengan sampel D. Sehingga diketahui bahwa pengaruh *hot working* tidak begitu signifikan terhadap nilai kekerasan.

#### 3.3 Nilai Strain terhadap Kekerasan

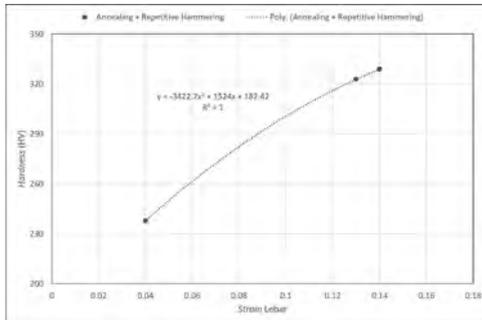
Sampel yang telah dilakukan *repetitive hammering* menunjukkan adanya perubahan ukuran, hal ini mengindikasikan terjadinya *strain*. Pada Tabel 4. merupakan nilai strain lebar dari sampel setelah diproses *repetitive hammering*.

Tabel 4. Strain lebar

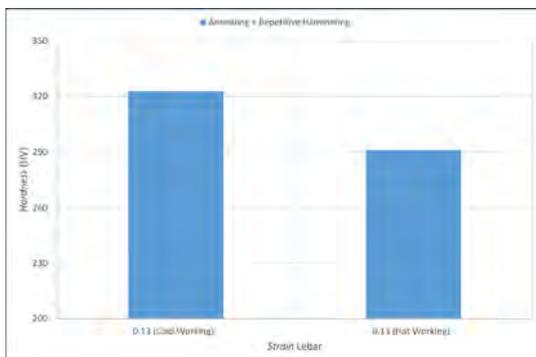
Kode Sampel	Lebar Awal	Lebar Akhir	Strain
-------------	------------	-------------	--------

C	9,2	9,6	0,04
D	9,2	10,5	0,13
E	8,4	9,7	0,14
F	9,8	11,2	0,13

Grafik pada Gambar 6. menunjukkan grafik hubungan nilai *strain* lebar terhadap nilai kekerasan.



Gambar 6. Grafik nilai *strain* lebar terhadap nilai kekerasan



Gambar 7. Diagram Perbandingan Nilai *Strain* Lebar Terhadap Nilai Kekerasan Antara Sampel *Cold Working* dan *Hot Working*

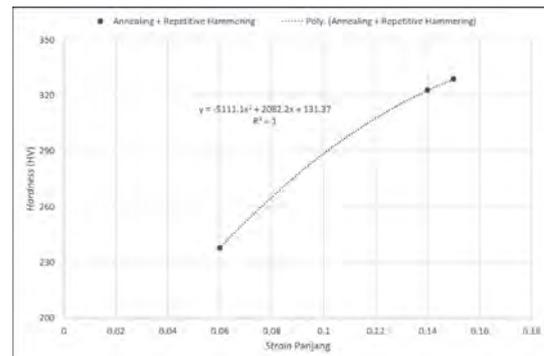
Pada Gambar 6. terlihat bahwa nilai *strain* lebar berbanding lurus dengan nilai kekerasan. Jika sampel memiliki nilai *strain* yang tinggi maka akan menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi juga. Sebaliknya, jika nilai *strain* rendah, maka nilai kekerasan pun akan rendah. Sampel yang memiliki nilai *strain* lebar yang tinggi adalah sampel E yaitu sampel dengan perlakuan perlakuan *annealing* dan *repetitive hammering* 60 kali, memiliki nilai *strain* sebesar 0,14 dengan nilai kekerasan 328,7 HV. Matriks *austenite* memiliki struktur kristal FCC sehingga slip lebih mudah terjadi karena memiliki kerapatan atom yang tinggi (*close-pack*) sehingga ketika diberikan deformasi secara cepat atau *repetitive hammering*, maka akan muncul banyak *slip*. Sehingga Dengan adanya *slip line* dan *twinning* ini akan semakin menghambat pergerakan dislokasi baru, sehingga kekerasan logam akan meningkat [9].

Tabel 5. Menunjukkan nilai *strain* panjang pada sampel setelah dilakukan *repetitive hammering*.

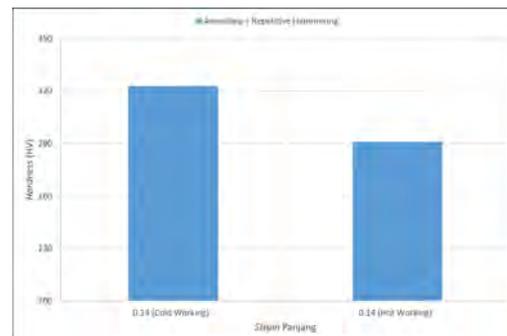
Tabel 5. *Strain* panjang

Kode Sampel	Panjang Awal	Panjang Akhir	Strain
C	21,4	22,6	0,06
D	21,4	24,5	0,14
E	21,6	25,1	0,15
F	21,3	24,4	0,14

Gambar 8. menunjukkan grafik hubungan nilai *strain* panjang terhadap nilai kekerasan.



Gambar 8. Grafik nilai *strain* panjang terhadap nilai kekerasan



Gambar 9. Diagram Perbandingan Nilai *Strain* Panjang Terhadap Nilai Kekerasan Antara Sampel *Cold Working* dan *Hot Working*

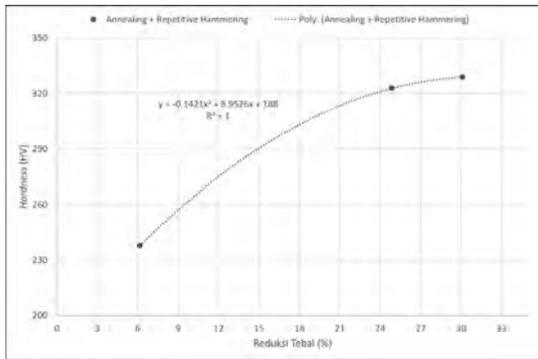
Pada Gambar 8. terlihat juga bahwa nilai *strain* panjang berbanding lurus dengan nilai kekerasan. Sampel yang memiliki nilai *strain* panjang yang tinggi adalah sampel E yaitu sampel dengan perlakuan perlakuan *annealing* dan *repetitive hammering* 60 kali, memiliki nilai *strain* sebesar 0,15 dengan nilai kekerasan 328,7 HV.

### 3.4 Reduksi Tebal terhadap Kekerasan

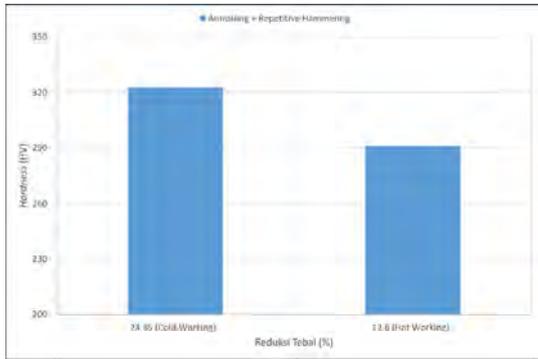
Sampel yang telah dilakukan *repetitive hammering* menunjukkan adanya pengurangan tebal. Tabel 6 merupakan nilai reduksi tebal dari sampel setelah diproses *repetitive hammering*.

Tabel 6. Persentase reduksi tebal

Kode Sampel	Tebal Awal (mm)	Tebal Akhir (mm)	Reduksi (%)
C	5	4,7	6,18
D	5	3,9	24,85
E	5	3,7	30,11
F	5	4,4	12,8



Gambar 10. Grafik reduksi tebal terhadap kekerasan



Gambar 11. Diagram Perbandingan Reduksi Tebal Terhadap Kekerasan Antara Sampel Cold Working dan Hot Working

Pada Gambar 10. terlihat bahwa sampel yang dilakukan 20 kali pukulan memiliki reduksi tebal dengan nilai 6,18%. Sampel yang dilakukan 40 kali pukulan memiliki reduksi tebal dengan nilai 24,85%. Dan sampel yang dilakukan 60 kali pukulan memiliki nilai reduksi tebal yang besar yaitu dengan nilai 30,11%. Dari grafik tersebut didapat bahwa nilai reduksi yang besar menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi. Hal ini disebabkan karena material austenit ini memiliki matriks FCC sehingga jika diberikan deformasi, material akan mengalami reduksi tebal.

**4. KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengaruh variasi jumlah pukulan pada proses *repetitive hammering* terhadap nilai kekerasan pada baja AISI 201 mengalami peningkatan seiring bertambahnya jumlah pukulan yang diberikan.
2. Pengaruh nilai *strain* terhadap nilai kekerasan baja AISI 201 setelah dilakukan proses *repetitive hammering* diketahui bahwa semakin besar nilai *strain* yang didapat, maka semakin tinggi nilai kekerasan yang didapat. Sampel yang memiliki nilai *strain* dan nilai kekerasan yang besar adalah sampel dengan pukulan 60 kali.
3. Pengaruh nilai reduksi tebal terhadap nilai kekerasan diketahui bahwa nilai reduksi yang tinggi dapat menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi dan sebaliknya. Sampel yang memiliki nilai reduksi tebal paling besar adalah sampel dengan pukulan 60 kali.

**5. UCAPAN TERIMAKASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen-dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung dan rekan kelas 4-PM yang telah membantu jalannya penelitian ini sampai selesai.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] C. Chen, F.C. Zhang, F. Wang, H. Liu, B.D. Yu, "Effect of N+Cr alloying in the microstructures and tensile properties of Hadfield steel," *Materials Science and Engineering. A*, vol. 679, pp. 95-103, 2017. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.09.106>

[2] George. Geogy, Shaikh. Hasan, "Introduction to Austenitic Stainless Steels," *Corrosion of Austenitic Stainless Steels*, pp. 1-35, 2002.

[3] J.R Davis. "Stainless steels, Ed," 1994. ASM international, Metals Park, EE. UU, pp.32-34, 1994.

[4] Syahwira Triadi T, Cherly S, Hermawan J, Aditianto R, "Dynamic Plastic Deformation Induced by Repetitive Hammering on Cr-Mn Austenitic Stainless Steel," *Majalah Ilmu dan Teknologi*, vol. 1, pp. 7-14, 2022. Doi: 10.14203/metalurgi.v37i1.618

[5] D. Xu, X. Wan, J. Yu, G. Xu, G. Li, "Effect of Cold Deformation on Microstructures and Mechanical Properties of Austenitic Stainless Steel," *Metals*, vol. 8, no. 7, pp. 522, 2018.

Doi:<https://doi.org/10.3390/met8070522>

- [6] T. Maki, "Stainless steel: progress in thermomechanical treatment," *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, vol.2, no.3, pp. 290-295, 1997.  
Doi: [https://doi.org/10.1016/S1359-0286\(97\)80117-9](https://doi.org/10.1016/S1359-0286(97)80117-9).
- [7] K. Mishra, "How to decide holding time for any heat treatment," 5 Februari 2023. [online]. available: <https://www.researchgate.net/post/How-to-decide-holding-time-for-any-heat-treatment/59f6c3f896b7e4d460594242/>
- [8] Calister. W, and Rethwisch. D, "Material science and engineering: an introduction," *John Wiley & Sons, Inc*, 2007.
- [8] E. Maulana, and M. Nasrun, "Pengaruh Proses Hardening dan Variasi Suhu Tempering Pada Kekerasan Dan Kuat Impact Baja SS 201," *Piston*, vol.3, no.2, pp. 21-25, 2020.
- [9] M. Lindroos, A. Laukkanen, G. Cailletaud, V.T. Kuokkala, "Microstructure based modeling of the strain rate history effect in wear resistant Hadfield steels," *Wear*, vol. 396–397, pp.56-66, 2018.  
Doi:<https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.11.007>.
- [10] ASM "Alloy Phase Diagram," *ASM Handbook*, vol.3, 19