

PENGARUH PENAMBAHAN KROMIUM PADA *Ni - HARD 2* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO

THE EFFECT OF CHROMIUM ADDITION TO *Ni - HARD 2* ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURE

Partogi A.F. Aritonang¹, Tumpal Ojahan¹, Fajar Nurjaman*²

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Malahayati, Indonesia

²Research Unit for Mineral Technology, Indonesian Institute of Sciences

Diterima: 4 Maret 2022

Direvisi: 9 April 2022

Disetujui: 6 Juni 2022

ABSTRAK

Pengaruh penambahan kromium pada material *Ni-Hard 2* (kondisi *as-cast*) terhadap sifat kekerasan, dampak, laju keausan, dan struktur mikro telah dipelajari dalam penelitian ini. Material *Ni-Hard 2* paduan kromium dibuat dengan melebur *scrap* besi, *ferrochrome* dan *ferronickel* menggunakan tungku induksi frekuensi tinggi hingga temperatur 1450-1500°C. Selanjutnya logam cair tersebut dituang ke dalam cetakan pasir, hingga diperoleh sampel berukuran Ø20x100 mm. Nilai kekerasan tertinggi dan laju keausan optimum (terendah) diperoleh pada material *Ni-Hard 2* dengan penambahan 12% kromium, yaitu sebesar 42,3 HRC dan $0,48 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$. Nilai dampak optimum diperoleh pada material *Ni-Hard 2* dengan penambahan 7% kromium, yaitu sebesar 54,8 J/cm². Hasil dari pengamatan foto struktur mikro material pada kondisi *as-cast* memiliki struktur fasa berupa austenit, ferit, dan karbida.

Kata Kunci : *Ni-Hard 2*, kromium, struktur mikro, kekerasan, dampak, laju keausan.

ABSTRACT

The effect of chromium addition on hardness, impact, wear rates, and microstructure of *Ni-Hard 2* in *as-cast* condition has been investigated clearly. *Ni-Hard 2* with chromium addition was made by melting the iron scrap, ferrochrome, and ferronickel in a high-frequency induction furnace at 1450-1500°C. The hot metal was then poured into the green sand mold to obtain samples with Ø20x100 mm. The highest hardness and optimum wear rates were resulted from *Ni-Hard 2* with 12 wt.% of chromium addition, i.e., 42.3 HRC and $0.48 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$, respectively. The optimum impact value was obtained from *Ni-Hard 2* with 7 wt.% of chromium addition, i.e., 54.8 J/cm². From microstructure analysis, the austenite, ferrite, and carbides on this *Ni-Hard 2* were observed.

Keywords: *Ni-Hard 2*, chromium, microstructure, hardness, impact, wear rates.

PENDAHULUAN

Ni-Hard adalah nama genetik besi cor putih dengan penambahan unsur paduan kromium dan nikel untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan abrasi dari material besi tersebut. Ada tiga jenis *Ni-Hard* dengan komposisi berbeda, yaitu *Ni-Hard 1* dan *Ni-Hard 2* dengan kandungan 3,3% (*resp.* 2,6%) C, 4% Ni, 2% Cr, serta *Ni-Hard 4* dengan kandungan 3% C, 9% Cr, 5% Ni, 2% Si. Struktur yang terbentuk pada material *Ni-Hard* terdiri dari martensit (*as-heat treated*) dan karbida yang mempunyai kekerasan minimum 600 BHN [1]. Material *Ni-Hard* yang digunakan sebagai bahan baku industri harus memenuhi persyaratan komposisi dan kekerasan menurut Standar

Industri Indonesia (SII), yaitu SII-0789-83 (SNI-1069) [2].

Keausan adalah proses hilangnya sejumlah lapisan permukaan material karena ada gesekan antara permukaan padatan dengan permukaan lain akibat interaksi mekanik. Di Indonesia, kerugian yang disebabkan oleh keausan dalam dunia industri semen diantaranya kehilangan efisiensi kinerja karena terjadi penurunan dan kekuatan diakibatkan oleh laju keausan komponen logam yang tinggi, kerugian produksi selama pekerjaan terhenti akibat perbaikan dan biaya pengganti komponen yang aus tersebut [3]. Ketahanan aus tidak hanya terkait dengan struktur mikro matriks, tetapi juga tergantung pada tipe dan karakteristik karbida (ukuran, morfologi,

*Corresponding author :

Email: fajar.nurjaman@lipi.go.id

DOI: [http://dx.doi.org/10.37209/jtbbt.v12i1.209](https://dx.doi.org/10.37209/jtbbt.v12i1.209)

distribusi, dan orientasi). Ketahanan aus dapat di tingkatkan dengan meningkatkan jumlah karbida eutektik dalam paduan, namun hal tersebut dapat mengurangi nilai ketangguhan [4].

Peningkatan ketahanan aus material *Ni-Hard* dapat dilakukan dengan memodifikasi komposisi kimia, seperti penambahan titanium, tungsten, niobium, vanadium, molibdenum dan kromium, yang umumnya dilakukan untuk membentuk karbida atau memperbaiki fasa karbida.

Sebelumnya telah dilakukan penelitian terkait pengaruh kandungan nikel dan kromium terhadap kekerasan dan keuletan besi cor putih martensit [5]. Pada penelitian tersebut jumlah nikel yang ditambahkan sebanyak 4,4% dan kromium sebanyak 2,2%, selain itu juga dilakukan perlakuan panas dengan suhu 450°C-500°C yang ditahan selama 1,5-4 jam yang selanjutnya didinginkan dengan media pendingin udara bertemperatur 175°C. Selanjutnya dilakukan proses pemanasan kembali pada temperatur 275°C-300°C dan di tahan di dalam tungku selama 4-16 jam. Dari hasil penelitian tersebut didapat bahwa penambahan nikel sebanyak 4,4% berpengaruh pada transformasi struktur kristal dendrit primer pada martensit dalam matriks karbida eutektik menjadi martensit primer dan bainit dalam matriks perlit. Sedangkan pengaruh penambahan kromium sebanyak 2,2% menstabilkan karbida yang akan mempengaruhi fasa-fasa primer.

Peneliti lainnya juga telah mempelajari tentang pengaruh penambahan kromium terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada besi cor nodular 400 [6]. Dari penelitian tersebut diperoleh

bahwa penambahan sedikit unsur kromium dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik namun menurunkan elongasi dan meningkatkan nilai kekerasan. Peningkatan sedikit unsur kromium tidak memberikan efek yang signifikan dalam meningkatkan jumlah perlit dan *nodularity*.

Umumnya kromium adalah unsur yang sering digunakan untuk paduan besi tuang karena memiliki kemampuan untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan oksidasi. Pada penambahan dalam jumlah sedikit, kromium dapat meningkatkan kekerasan pada besi tuang. Pengaruh penambahan unsur kromium dalam material *Ni-Hard 2* belum banyak dilakukan dalam penelitian. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dipelajari pengaruh penambahan unsur kromium terhadap sifat mekanik (kekerasan, impak, dan keausan), struktur mikro (menggunakan mikroskop optik) dan identifikasi fasa (menggunakan uji XRD) pada *Ni-Hard 2* pada kondisi *as-cast*.

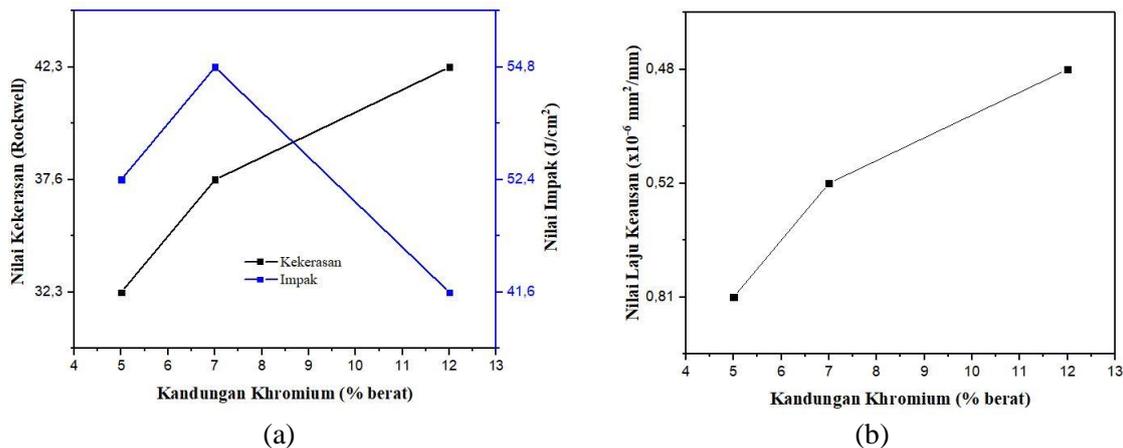
METODE PENELITIAN

Material

Material yang digunakan pada penelitian ini merupakan besi tuang putih *Ni-Hard 2* (ASTM *Class I Type B*) yang dapat dilihat pada Tabel 1. Logam *Ni-Hard 2* dibuat dengan cara melebur *scrap* besi, serta material paduan (*ferro-nickel*, dan *ferrochromium*) dalam tungku induksi frekuensi tinggi hingga temperatur 1450-1500°C. Logam cair yang diperoleh selanjutnya dituang ke dalam cetakan pasir, dengan ukuran benda cetak Ø20x100 mm.

Tabel 1. Komposisi Logam *Ni-Hard 2* (ASTM *Class I Type B*) dan *Ni-Hard 2* Paduan Kromium

Spesimen	Komposisi Kimia %							
	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo
<i>Ni-Hard 2</i> ASTM <i>Class II Type B</i>	Max. 2,9	0,3-0,7	0,3-0,7	Max. 0,15	Max. 0,30	3,3-5,0	1,4-2,4	0-0,4
<i>Ni-Hard 2</i> + 5% Cr	2,07	0,56	0,24	0,39	0,08	4,3	5,75	0,2
<i>Ni-Hard 2</i> + 7% Cr	2,44	0,79	0,29	0,4	0,08	4,14	7,16	0,05
<i>Ni-Hard 2</i> + 12%Cr	2,76	0,8	0,23	0,31	0,09	4,7	12,26	0,05



Gambar 1. Grafik Sifat Mekanik *Ni-Hard 2* dengan Variasi Penambahan Unsur Kromium: (a) Kekerasan dan Impak; (b) Laju Keausan

Pengujian

Pada studi penelitian ini dilakukan pengujian berupa pengujian sifat fisik dan sifat mekanis, diantaranya adalah: (1) Pengujian kekerasan menggunakan *rockwell* (HRC) dengan merek *Starrett 3814*, dilakukan pada 3 kali pengujian dengan lokasi yang berbeda; (2) Pengujian impak menggunakan metode *Charpy*, dilakukan 3 kali pengujian dengan sampel yang sama; (3) Pengujian keausan menggunakan metode *Ogoshi*, dilakukan dengan pembebanan 3,16 kg dan jarak pengausan 100 m; (4) Pengujian struktur mikro menggunakan mikroskop optik dengan merek *Nikon Eclipse MA 100*, dilakukan identifikasi dengan pembesaran 100x, 200x dan 500x; (5) Pengujian identifikasi fasa menggunakan XRD dengan merek *Panalytical X'pert 3 Powder*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil uji kekerasan material *Ni-Hard 2* (Gambar 1(a)), paduan kromium sebanyak 12% memiliki nilai kekerasan tertinggi. Kromium dapat meningkatkan nilai kekerasan pada material *Ni-Hard 2* dikarenakan atom kromium akan menyusup secara substitusi pada struktur kristal material *Ni-Hard 2* yang menyebabkan dislokasi pada struktur kristal. Makin banyak kromium yang larut pada paduan, maka makin tinggi nilai kekerasan paduan tersebut. Mekanisme pengerasan kromium ini disebut dengan *Solid Solution Hardening* [7].

Berdasarkan data yang diperoleh dari grafik pengujian impak di atas (Gambar 1(a)) dapat dilihat bahwa nilai impak sedikit meningkat pada

material *Ni-Hard 2* dengan kandungan 7% Cr dan menurun tajam pada material *Ni-Hard 2* dengan penambahan 12% Cr. Pada dasarnya nilai kekerasan berbanding terbalik dengan nilai ketangguhan, akan tetapi pada hasil pengujian impak material *Ni-Hard 2* paduan 7% memiliki nilai impak tertinggi. Hal tersebut dapat dilihat pada struktur mikro yang terdapat pada spesimen *Ni-Hard 2* dengan unsur kromium 7% yang memiliki struktur butir yang rapat sehingga mengakibatkan nilai kekerasan dan nilai impak yang tinggi (Gambar 2).

Berdasarkan data yang diperoleh dari Gambar 1(b), dapat dilihat nilai laju keausan material *Ni-Hard 2* paduan kromium makin meningkat (atau ketahanan ausnya berkurang) seiring dengan bertambahnya paduan kromium dalam material *Ni-Hard 2* pada kondisi *as-cast*. Nilai keausan terendah akan memberikan ketahanan aus yang paling baik. Dari Gambar 1(b) tampak bahwa material *Ni-Hard 2* dengan kandungan kromium sebesar 12% memiliki ketahanan aus yang paling baik yaitu sebesar $0,48 \times 10^{-6}$ mm³/mm, material *Ni-Hard 2* dengan kromium 12% memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi material lainnya dengan nilai kekerasan 42,3 HRC. Menurut Ratia [8], kekerasan adalah sifat yang paling penting untuk meningkatkan kemampuan suatu baja dalam ketahanan aus dikarenakan goresan. Makin keras material tersebut, makin sulit media *abrasive* untuk melakukan penetrasi dan menggores material tersebut. Mekanisme pengerasan yang terjadi disebabkan oleh pembentukan unsur karbida kromium. Saat proses solidifikasi, unsur karbon dalam dendrit matriks austenit cenderung

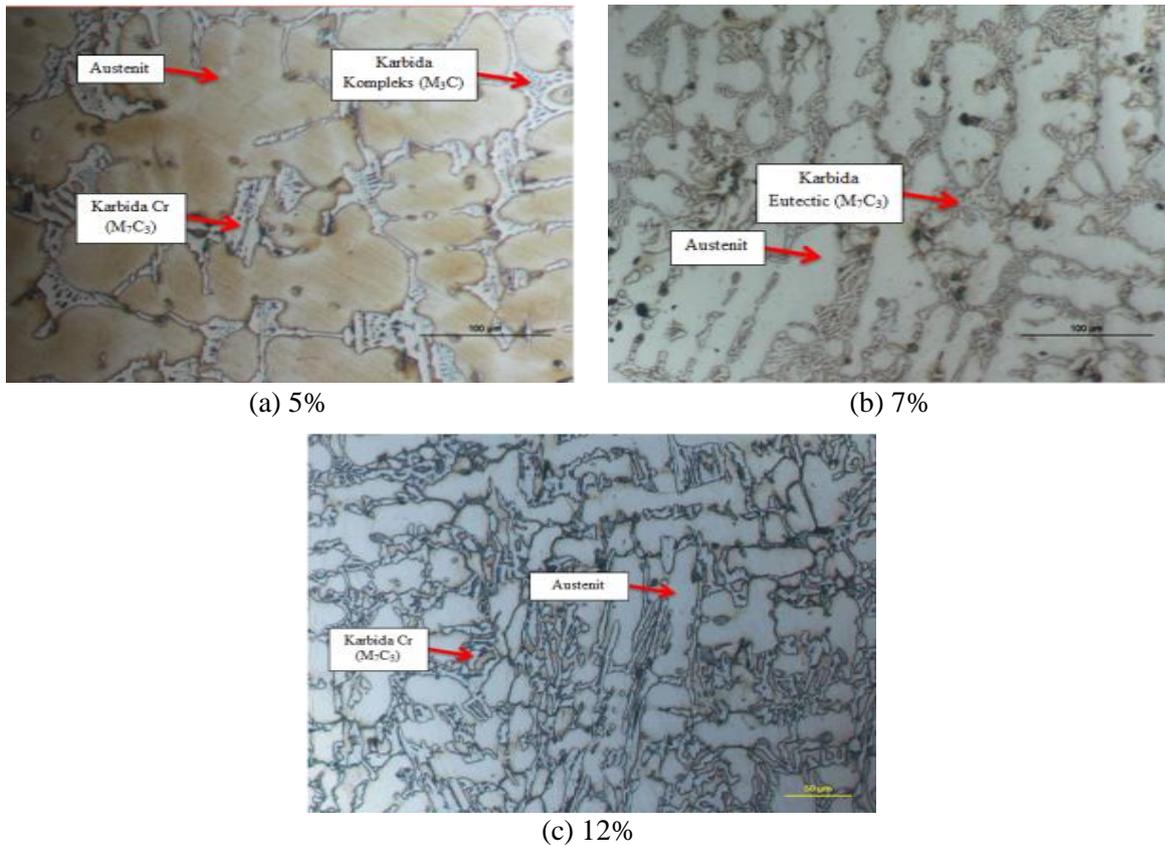
berikatan dengan kromium menghasilkan karbida kromium (Cr_7C_3). Keberadaan karbida dalam matriks pada material besi tuang mengandung kromium dapat memberikan peningkatan yang signifikan terhadap nilai kekerasan dan ketahanan aus [9].

Pada gambar struktur mikro (Gambar 2), dapat dilihat bahwa fasa yang terbentuk dari ke-3 spesimen tersebut adalah fasa austenit, fasa karbida kromium (M_3C dan M_7C_3) dan fasa karbida eutektik (M_7C_3). Karbida eutektik adalah karbida yang terbentuk pada saat reaksi dekomposisi larutan besi cair yang mengandung karbon tinggi pada temperatur $1147^\circ C$.

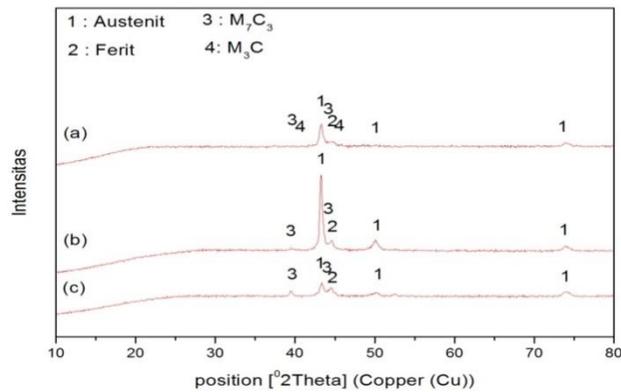
Dari hasil pengujian struktur mikro seperti ditunjukkan dalam Gambar 2(a), material *Ni-Hard 2* dengan penambahan kromium 5% memiliki struktur fasa berupa austenit, karbida kromium (M_7C_3) dan karbida kompleks (M_3C). Struktur fasa ini diperkuat oleh hasil dari pengujian identifikasi fasa XRD yang dapat dilihat pada Gambar 3(a) yang menyatakan bahwa puncak intensitas fasa yaitu austenit sebesar 29,1%,

karbida kompleks M_3C sebesar 56,9% dan ferit sebesar 1,2%.

Dari hasil pengamatan uji struktur mikro pada material *Ni-Hard 2* dengan paduan kromium sebesar 7% terdapat fasa austenit dan karbida eutektik (M_7C_3) dan fasa ferit, ditunjukkan pada Gambar 2b. Keberadaan struktur fasa tersebut diperkuat oleh hasil pengujian XRD seperti pada Gambar 3(b), yang menunjukkan bahwa beberapa puncak intensitas fasa, diantaranya adalah austenit sebesar 90,2%, karbida eutektik (M_7C_3) sebesar 9,0% dan ferit sebesar 0,8%. Pada pengamatan struktur mikro dapat dilihat bahwa material *Ni-Hard 2* dengan paduan kromium 7% memiliki butir atom yang rapat dan juga terdapat fasa karbida eutektik (M_7C_3) sehingga material tersebut memiliki nilai ketahanan impact yang paling baik. Hal tersebut juga diperkuat oleh penelitian sebelumnya yang mengatakan bahwa dengan adanya karbida eutektik yang memiliki bentuk struktur mikro pipih dan berbentuk halus dapat meningkatkan nilai impact dan ketahanan aus, akan tetapi sedikit mempengaruhi nilai kekerasan [10].



Gambar 2. Struktur Mikro *Ni-Hard 2* Paduan Kromium(Pembesaran 200x)



Gambar 3. Grafik hasil Pengujian Identifikasi Fasa pada Spesimen *Ni-Hard 2* Paduan Kromium Kondisi *As-Sast*: (a) 5%, (b) 7%, (c) Cr 12%

Dari hasil pengamatan struktur mikro pada material *Ni-Hard 2* dengan paduan kromium 12% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2(c) terdapat fasa austenit dan fasa karbida kromium (M_7C_3). Keberadaan fasa tersebut juga diperkuat oleh hasil pengujian XRD seperti pada Gambar 3(c), yang menunjukkan beberapa puncak intensitas fasa, diantaranya adalah karbida kromium (M_7C_3) sebanyak 58,4%, austenit sebanyak 41,3%, dan fasa ferit hanya 0,3%.

Banyaknya jumlah paduan kromium sebesar 12% mengakibatkan material *Ni-Hard 2* memiliki nilai kekerasan yang tinggi, sebagaimana diperkuat oleh penelitian sebelumnya yang mengatakan bahwa larutnya kromium pada fasa karbida akan menaikkan nilai kekerasan serta melunakkan kestabilan austenit [5].

Material *Ni-Hard 2* umumnya memiliki nilai kekerasan lebih dari 50 HRC pada kondisi *as-cast* [11]. Rendahnya nilai kekerasan dari material *Ni-Hard* yang digunakan dalam penelitian ini dikarenakan tingginya kandungan sulfur yang melebihi batas maksimum yang disyaratkan, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1. Unsur sulfur memberikan dampak negatif terhadap kekuatan material besi dan baja [12], akibat terbentuknya senyawa besi sulfida (FeS). Umumnya pengurangan kandungan sulfur dalam material baja dilakukan melalui proses desulfurisasi, salah satunya melalui penambahan senyawa kalsium oksida (CaO). Selain itu, peningkatan nilai kekerasan material *Ni-Hard* juga dapat dilakukan melalui proses perlakuan panas.

Tabel 2. Nilai Senyawa Hasil Identifikasi Fasa Spesimen *Ni-Hard 2* Paduan Kromium pada Kondisi *As-Cast*

Fasa (% berat)	<i>Ni-Hard 2</i> paduan kromium kondisi <i>as-cast</i>		
	5%	7%	12%
Austenit	29,1	90,2	41,3
Ferit	1,2	0,8	0,3
M_7C_3	12,8	9,0	58,4
M_3C	56,9	-	-

KESIMPULAN

Pengaruh penambahan kromium pada spesimen kondisi *as-cast* sangat berpengaruh terhadap ukuran butir (struktur mikro), dimana semakin banyak persentase penambahan unsur kromium maka ukuran butirnya akan semakin halus sehingga akan mempengaruhi nilai

kekerasan, impak, dan keausan. Nilai kekerasan paling optimal dimiliki oleh spesimen 12% kromium yaitu sebesar 42,3 HRC, kemudian untuk nilai impak terbaik berada pada spesimen 7% kromium, yaitu sebesar 54,8 J/cm², dan untuk nilai laju keausan terbaik pada spesimen 12% kromium sebesar 0,48 x 10⁻⁶ mm³/mm, dan untuk fasa yang terbentuk saat spesimen kondisi *as-cast*

adalah fasa austenit, ferit, dan karbida. Karbida yang terbentuk adalah karbida M_3C , karbida kromium, dan karbida eutektik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. H. Farge, "Practices and Procedures for Irons and Steels" in *Heat Treater's Guide*. United State of America: Material Park, 1982. pp.31.
- [2]. Standar Industri Indonesia, "Bola Pelumat Logam Ferro: SII-0789-83 (SNI-1069)," Januari, 1983.
- [3]. R. Kartikasari, R. Soekrisno, M. N. Ilman, "Karakteristik ball mill import pada industri semen di Indonesia," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 9, pp. 18-24, 2007.
- [4]. M. Mohammadnezhad, V. Javaher, M. Shamanian, Naseri & M. Bahrani, "Effects of vanadium addition on microstructure, mechanical properties and wear resistance of Ni-Hard 4 white cast iron," *Material and Design*, vol. 49, pp. 888-893, 2013.
- [5]. A. N. Setyo, "Pengaruh kandungan nikel dan chromium terhadap kekerasan dan keuletan besi cor putih martensit," *Jurnal Penelitian Inovasi*, vol. 20, pp. 77-86, 2003.
- [6]. M. Doloksaribu, "Pengaruh kromium terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada besi cor nodular 400," *Jurnal Metal Indonesia*, vol. 38, pp. 8-13, 2017.
- [7]. J. E. Brady, "Kimia Universitas Asas dan Struktur. Jakarta: Binarupa Aksara, 1985.
- [8]. Ratia, "Development of abrasion resistant Ni-Hard 4 cast iron," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 7, pp. 833-836, 2015.
- [9]. F. Nurjaman, B. Suharno, W. Astuti, M. Aryati, "Karakteristik *grinding ball* impor asal India dan China," *Prosiding SENAMM V*, pp. 78-84, 2012.
- [10]. Z. Zhao, J. Liu, H. Tang, X. Ma, and W. Zhao, "Effect of Mo addition on the microstructure and properties of WC-Ni-Fe hard alloys," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 646, pp. 155-1, 2015.
- [11]. B. L. Rizov, "Some results from the investigation of effect of heat treatment on properties of Ni-Hard cast irons" *International Journal of Engineering Research and Development*, vol. 13, pp. 30-35, 2017.
- [12]. F. Nurjaman, E. B. Saputra, E. B., D. Ferdian, & B. Suharno, "2018. Effect of slag basicity in ferromanganese production using medium-grade manganese ore from East Java-Indonesia," *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, vol. 127, pp. 121-126, 2018.