Teknika 20 (2): 407-414

JURNAL TEKNIKA
ISSN: 0854-3143
e-ISSN: 2622-3481
Journal homepage: http://jurnal.polsri.ac.id/index.php/teknika
Journal Email: teknika@polsri.ac.id

Investigasi Sifat Mekanis Hammer pada Mesin *Limestone Crusher*

Nizar Muhammad[1], Taufikurrahman[*2], Hendradinata [3], Indra Gunawan[4]

[1,*2, 3, 4] Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia
*Email Penulis Korespondensi: taufikurrahman@polsri.ac.id

Abstrak

Hammer pada mesin limestone crusher *di PT Semen Baturaja Tbk merupakan komponen utama dalam proses penghancuran batu kapur yang bekerja pada kondisi beban benturan dan gesekan tinggi, sehingga rentan mengalami keausan dan kegagalan. Kondisi tersebut menyebabkan penurunan efisiensi operasi serta peningkatan biaya perawatan dan penggantian komponen. Material hammer yang dianalisis adalah baja mangan cor standar ASTM A128 Grade B2, yang dipilih karena kemampuannya mengalami pengerasan kerja (work hardening). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat mekanis material hammer, meliputi komposisi kimia, kekerasan, dan ketangguhan impak, serta mengevaluasi pengaruh perlakuan panas* (*heat treatment) terhadap peningkatan kekerasan material. Metode penelitian bersifat eksperimental di laboratorium. Analisis komposisi kimia dilakukan menggunakan Optical Emission Spectrometry. Pengujian kekerasan Vickers dilakukan pada tiga kondisi spesimen, yaitu tanpa perlakuan panas, spesimen yang di-*hardening *pada suhu 850 °C dengan media* quenching *air, dan* silicon oil*. Pengujian impak Charpy dilakukan pada material tanpa perlakuan panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material hammer tergolong baja karbon tinggi dengan kandungan karbon 1,18% dan baja mangan tinggi dengan kandungan mangan 15,47%. Nilai kekerasan awal material sebesar 262 VHN. Perlakuan quenching menggunakan silicon oil meningkatkan kekerasan menjadi 320 VHN, sedangkan quenching air menghasilkan kekerasan tertinggi sebesar 348 VHN. Berdasarkan hasil tersebut, perlakuan panas hardening dengan* quenching *air dinilai paling efektif untuk meningkatkan kekerasan material hammer, sehingga berpotensi meningkatkan ketahanan aus dan umur pakai komponen pada aplikasi industri semen.*

Kata kunci*— Hammer crusher, sifat mekanis, baja mangan, perlakuan panas, kekerasan vickers.*

Abstract

The hammer used in the limestone crusher at PT Semen Baturaja Tbk is a critical component in the limestone crushing process and operates under severe impact and abrasive loading conditions, making it highly susceptible to wear and failure. Such failures lead to reduced operational efficiency and increased maintenance and replacement costs. The hammer material investigated in this study is ASTM A128 Grade B2 cast manganese steel, which was selected due to its ability to undergo work hardening. This study aims to comprehensively analyze the mechanical properties of the hammer material, including chemical composition, hardness, and impact toughness, as well as to evaluate the effect of heat treatment on hardness improvement.

Received: October 5, 2025; Online Available: February 15, 2026

The research employed an experimental laboratory-based method. Chemical composition analysis was conducted using Optical Emission Spectrometry. Vickers hardness testing was performed on three specimen conditions: as-received (without heat treatment), specimens hardened at 850 °C followed by quenching in water, and specimens quenched in silicon oil. Charpy impact testing was carried out on the as-received material. The results show that the hammer material can be classified as high-carbon steel with a carbon content of 1.18% and high-manganese steel with a manganese content of 15.47%. The initial hardness of the material was 262 VHN. Quenching in silicon oil increased the hardness to 320 VHN, while water quenching produced the highest hardness of 348 VHN due to a higher cooling rate. Based on these results, water-quenched hardening is considered the most effective heat treatment method for improving hammer hardness, with strong potential to enhance wear resistance and extend service life in cement industry applications.

Keywords— *Hammer crusher, mechanical properties, mangansee steel, heat treatment, vickers hardness.*

1. PENDAHULUAN

Hammer crusher merupakan alat penghancur material yang bekerja menggunakan rotor berputar dengan alat pemecah berbentuk palu yang digantung pada piringan atau silinder yang berputar dengan kecepatan tinggi [1]. Pada industri semen, khususnya pada mesin *limestone crusher, hammer* berfungsi sebagai komponen utama yang bertanggung jawab dalam proses penghancuran batu kapur menjadi ukuran yang lebih kecil. Dalam pengoperasiannya, *hammer* bekerja pada kondisi ekstrem akibat kombinasi beban benturan tinggi dan gesekan intens dengan material yang dihancurkan. Kondisi ini menyebabkan *hammer* rentan mengalami keausan dan kegagalan, sehingga menurunkan efisiensi kerja mesin serta meningkatkan frekuensi dan biaya penggantian komponen.

Material *hammer* yang umum digunakan adalah baja mangan cor standar ASTM A128 Grade B2, yang dikenal memiliki ketahanan aus yang baik serta kemampuan pengerasan kerja (*work hardening*) [2]. Baja mangan memiliki karakteristik unik berupa peningkatan kekerasan permukaan akibat deformasi plastis selama pembebanan impak berulang, sehingga banyak digunakan pada aplikasi penghancuran dan pertambangan [3]. Selain itu, kandungan unsur paduan seperti mangan dan kromium berperan dalam meningkatkan ketahanan aus dan stabilitas struktur mikro pada kondisi kerja berat [4].

Meskipun memiliki ketahanan aus yang baik, dalam aplikasi nyata *hammer* sering mengalami keausan berlebih, retak, atau patah sebelum mencapai umur pakai yang direncanakan. Keausan ini disebabkan oleh beban tumbukan berulang yang mengakibatkan hilangnya material pada permukaan hammer dan degradasi sifat mekanis [5]. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pemilihan material saja belum cukup untuk menjamin kinerja optimal *hammer* dalam jangka panjang.

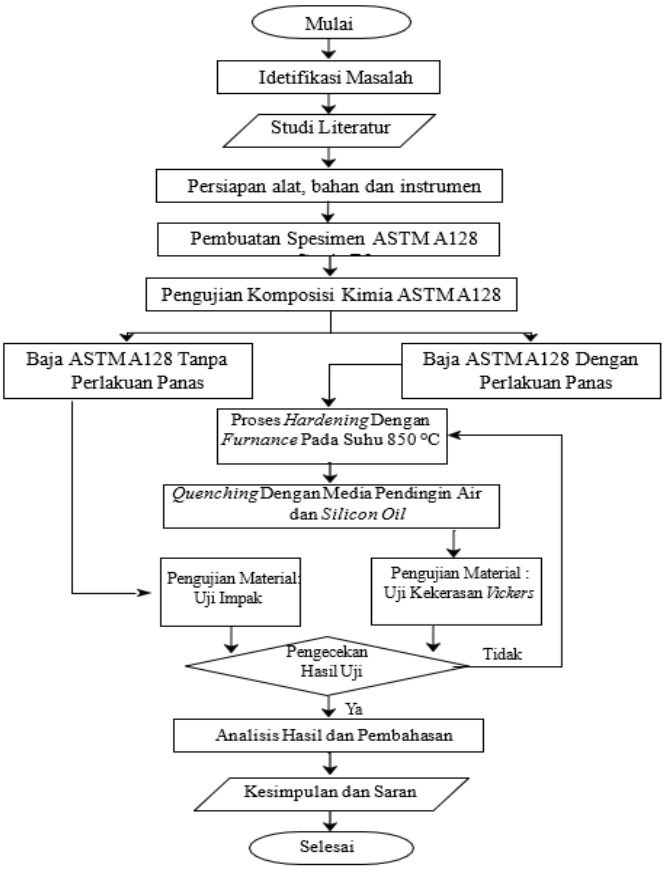
Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanis material adalah melalui perlakuan panas (*heat treatment*). Proses *hardening* dan *quenching* diketahui dapat memodifikasi struktur mikro, meningkatkan kekerasan, serta memperbaiki ketahanan aus material logam [6]. Menurut ASM *Handbook*, parameter perlakuan panas seperti suhu austenitisasi dan media pendinginan sangat berpengaruh terhadap sifat mekanis baja mangan [7]. Namun demikian, kajian eksperimental terkait pengaruh perlakuan panas terhadap sifat mekanis baja mangan ASTM A128 *Grade* B2 pada aplikasi *hammer limestone crusher* masih terbatas, khususnya pada kondisi operasi industri semen.

Berdasarkan uraian tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana karakteristik sifat mekanis material *hammer* ASTM A128 *Grade* B2 sebelum dan sesudah perlakuan panas, serta sejauh mana perlakuan panas mampu meningkatkan kekerasan, ketangguhan impak, dan ketahanan aus material. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat mekanis *hammer* melalui pengujian kekerasan, impak, dan keausan pada kondisi tanpa perlakuan

panas dan setelah perlakuan panas. Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi komprehensif pengaruh perlakuan panas terhadap sifat mekanis *hammer limestone crusher* yang digunakan di PT Semen Baturaja Tbk sebagai dasar rekomendasi peningkatan umur pakai komponen pada industri semen.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian seperti pada Gambar 1 menunjukkan tahapan penelitian yang dimulai dari identifikasi masalah dan studi literatur sebagai dasar teoritis, dilanjutkan dengan persiapan alat, bahan, serta pembuatan spesimen baja ASTM A128 dan pengujian komposisi kimia untuk memastikan kesesuaian material. Spesimen kemudian dibedakan menjadi baja tanpa perlakuan panas dan baja dengan perlakuan panas melalui proses hardening pada suhu 850°C yang dilanjutkan dengan *quenching* menggunakan media air dan *silicon oil*. Selanjutnya, dilakukan pengujian sifat mekanik berupa uji kekerasan *Vickers* dan uji impak *Charpy* untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan panas dan media pendingin terhadap karakteristik material. Hasil pengujian dianalisis dan dibahas secara sistematis sebagai dasar penarikan kesimpulan dan penyusunan saran penelitian.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.1 Identifikasi Masalah

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah mengindetifikasi masalah spesifik terkait sifat mekanis material hammer untuk mempertajam fokus dan memastikan tujuan riset tercapai.

2.2 Preparasi Spesimen

Alat- alat dan bahan yang digunakan pada pengujian ini meliputi beberapa komponen seperti tersaji pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Peralatan yang digunakan di Penelitian

No	Nama Alat	Jumlah
1	Tang Penjepit	1
2	Sarung Tangan	1
3	Furnance	1
4	Wadah	1
5	Alat Uji Komposisi Kimia	1
6	Alat Uji Kekerasan Vickers	1
7	Alat Uji Impak	1

Tabel 2 Bahan yang digunakan di Penelitian

Nomor	Nama Bahan	Jumlah
1	*Material Hammer Crusher*	5
2	Air	1 Liter
3	*Silicon Oil*	1 Liter

2.3 Perlakuan Hammer

2.3.1 Hammer Tanpa Perlakuan Panas

Kelompok spesimen ini dipersiapkan hanya dengan memotong dan membentuknya agar ukurannya tepat untuk pengujian. Spesimen *hammer* yang tidak melalui perlakuan panas berada dalam kondisi *raw material*, di mana struktur mikro masih menunjukkan fase awal seperti *ferrit–perlit* pada baja karbon rendah, yang berdampak pada kekerasan dasar dan ketangguhan sesuai komposisi aslinya [8].

2.3.2 Hammer Dengan Perlakukan Panas

Spesimen menjalani perlakuan panas *hardening* dengan dipanaskan dalam *furnace* pada 850˚C selama 30 menit, diikuti dengan pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan *silicon oil* dan air. Perlakuan ini menyebabkan transformasi struktur mikro dari *ferrit–perlit* menjadi martensit, sehingga meningkatkan kekerasan dan kekuatan material [9].

2.4 Pengujian Hammer

Pengujian yang dilakukan pada setiap spesimen bertujuan untuk memperoleh data sifat mekanis, yaitu hasil komposisi kimia, nilai kekerasan *vickers*, dan nilai impak. Uji impak menggunakan metode *hammer* bertujuan untuk mengetahui kemampuan material dalam menyerap energi sebelum terjadinya patah akibat pembebanan tiba-tiba. Menurut penelitian yang dilakukan oleh *Callister* dan *Rethwisch*, nilai impak sangat dipengaruhi oleh struktur mikro dan komposisi material, sehingga pengujian ini penting untuk mengevaluasi ketangguhan material secara menyeluruh [10].

2.5 Analisis dan Pembahasan

Sifat mekanis *hammer crusher* dianalisis dalam bab Hasil dan Pembahasan dengan cara membandingkan data pengujian dari spesimen kontrol (tanpa perlakuan) dan spesimen yang telah diberi perlakuan.

2.6 Kesimpulan dan Saran

Dilakukan penarikan kesimpulan dari semua hasil, diikuti dengan penyampaian saran untuk arah penelitian berikutnya.

2.7 Hammer Crusher

Hammer Crusher seperti dapat dilihat pada Gambar 2 adalah alat penghancur yang beroperasi berdasarkan prinsip pukulan (*impact*). Alat ini menggunakan palu (*hammer*) yang terpasang pada rotor berkecepatan tinggi untuk memukul dan menghancurkan material menjadi

ukuran yang lebih kecil [11]. Kinerja *hammer crusher* dipengaruhi oleh kecepatan putaran rotor, jumlah dan bentuk palu, serta ukuran saringan, yang menentukan ukuran produk akhir dan efisiensi energi [12].



Gambar 2 *Hammer Crusher*

2.8 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengukur rasio unsur kimia yang terkandung dalam material [13]. Yang dalam studi ini dilakukan menggunakan XRF *Analyzer*.

2.9 Pengujian Kekerasaan Vickers

Untuk mengevaluasi ketahanan material terhadap kerusakan seperti deformasi, penetrasi, dan goresan, dilakukan pengujian kekerasan. Secara spesifik, kekerasan besi cor diukur menggunakan *Microhardness Vickers* sesuai pedoman standar ISO E384 [14].

2.10 Pengujian Impak

Uji Impak mengukur ketangguhan material untuk membedakan antara material yang rapuh dan ulet. Pengujian ini dilakukan dengan menjatuhkan palu berat dari ketinggian tertentu ke spesimen, dan energi potensial yang diserap oleh spesimen sebelum mengalami perubahan bentuk atau kegagalan adalah indikator sifat tangguhnya [15].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Uji Komposisi Kimia

Hasil pengujian seperti Tabel 3, komposisi kimia menunjukkan bahwa material *hammer* tersusun dari Besi (Fe) 81,07% sebagai unsur utama, Mangan (Mn) 15,47% yang meningkatkan kekuatan, kekerasan, dan keuletan, serta Karbon (C) 1,18%, yang mengklasifikasikan material ini sebagai baja karbon tinggi dan mendukung pembentukan fasa keras saat perlakuan panas. Kromium (Cr) 1,55% meningkatkan ketahanan korosi dan kekuatan pada suhu tinggi, sementara Silikon (Si, 0,58%), Nikel (Ni, 0,03%), Tembaga (Cu, 0,013%), Sulfur (S, 0,012%), *Molibdenum* (Mo, 0,007%), Fosfor (P, 0,05%), Vanadium (V, 0,008%), Timah (Sn, 0,002%), dan Aluminium (Al, 0,019%) turut berkontribusi pada stabilitas mikrostruktur dan sifat mekanis. pengujian komposisi kimia, material ini adalah paduan berbasis Besi (81,07%) dengan kandungan Mangan (15,47%) dan Karbon (1,18%) yang sangat tinggi, mengindikasikan sifat material yang sangat tahan aus.

Tabel 3 Pengujian Komposisi Kimia

Unsur	(%)
Carbon	1,18
Silicon	0,58
Sulfur	0,012
Phosphorus	0,050
Mangenese	15,47
Nickel	0,03

Chromium	1,55
Molybdenum	0,007
Vanadium	0,008
Copper	0,013
Tin	0,002
Aluminium	0,019
Ferro/Iron	81,07

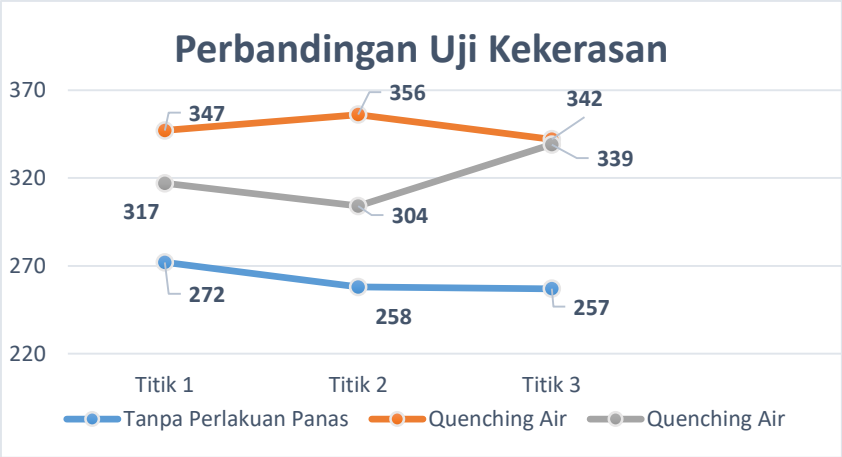
3.2 Hasil Uji Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan material *hammer* seperti pada Tabel 4 dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan panas *hardening* dan media pendingin (*quenching*) terhadap sifat mekanik material. Dalam penelitian ini, tiga variasi material hammer diuji, *hammer* original (tanpa perlakuan panas), *hammer* yang di *hardening* pada suhu 850°C kemudian di *quenching* menggunakan air, dan *hammer* yang di *hardening* pada suhu 850°C kemudian di *quenching* menggunakan *silicon oil*.

Tabel 4 Hasil Uji Kekerasan

Spesimen (*hammer*)	Titik Uji	Indentor	P(kg)	D1(mm)	D2(mm)	D	VHN	VHN rata-rata
Tanpa perlakuan panas	1	Piramida Intan	30	0,449	0,455	0,452	272	262
	2			0,466	0,463	0,4645	258	
	3			0,478	0,452	0,465	257	
Hardening Suhu: 850°C								
Quenching air	1	Piramida Intan	30	0,404	0,397	0,4005	347	348
	2			0,411	0,380	0,3955	356	
	3			0,402	0,405	0,4035	342	
Hardening Suhu: 850°C								
Quenching Silicon Oil	1	Piramida Intan	30	0,421	0,417	0,419	317	320
	2			0,428	0,428	0,428	304	
	3			0,402	0,408	0,405	339	

Hasil pengujian seperti pada Gambar 3 menunjukkan bahwa spesimen tanpa perlakuan panas memiliki nilai kekerasan Vickers 257–278 VHN (rata-rata 262 VHN), yang menjadi acuan dasar. Setelah perlakuan *hardening* 850°C, *quenching* air menghasilkan kekerasan tertinggi 342–356 VHN (rata-rata 348 VHN), sedangkan *quenching* silicon oil memberikan nilai 304–339 VHN (rata-rata 320 VHN). Peningkatan kekerasan ini dijelaskan oleh laju pendinginan yang memengaruhi pembentukan fasa *martensit*; pendinginan cepat dengan air lebih efektif dibanding *silicon oil*. Pengujian impak menunjukkan bahwa material memiliki kemampuan menyerap energi sebelum patah, yang dipengaruhi oleh kandungan mangan tinggi, sehingga memberikan ketahanan terhadap retak dan deformasi plastis. Penyajian data kekerasan dan impak disajikan secara jelas dan mudah diikuti, dengan hubungan logis antara media *quenching*, struktur mikro, dan sifat mekanis. Analisis ini menunjukkan bahwa kombinasi kekerasan tinggi dan ketangguhan cukup penting untuk ketahanan aus *hammer*, mendukung umur pakai yang lebih panjang dan efisiensi operasional pada mesin *limestone crusher*.



Gambar 3 Grafik Perbandingan Kekerasan

3.3 Hasil Uji Impact Charpy

Tabel 5 Hasil Pengujian *Impact Charpy*

Sampel	M	g	r	Nilai Cos a	Cos α	Nilai Cos β	Cos β	Nilai Impak E(joule)	A	Harga Impak (J/mm^2)
1	16,66632	9,8	1	146,5	-0,8338858	138,5	-0,7489557	13,87	80	0,173375
2	16,66632	9,8	1	146,5	-0,8338858	137,5	-0,7372773	15,77	80	0,197125
Rata-rata								14,82		

Pengujian impak seperti pada Tabel 5 bertujuan untuk mengukur ketangguhan material *hammer* dengan mengukur besarnya energi yang dapat diserap hingga material itu mengalami patah. Pengujian ini menggunakan metode *charpy* dengan ukuran standar spesimen benda uji panjang 55 mm, lebar 10 mm dan tebal 10 mm serta bagian tengah diberi takik berbentuk v *notch*. Dapat dilihat hasil pengujian impak yang ditunjukkan, didapatkan nilai ketangguhan impak terendah dari material ke satu yang mengalami kerusakan dengan rata-rata sebesar 0,173375 J/mm^2 dibandingkan material ke dua yang sejenis didapatkan rata-rata nilai impak yang lebih tinggi yaitu 0,197125 J/mm^2.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian terhadap sifat mekanis *hammer* pada mesin *limestone crusher* di PT Semen Baturaja Tbk, disimpulkan bahwa material hammer merupakan baja karbon tinggi dengan komposisi utama Besi (Fe) 81,07%, Mangan (Mn) 15,47%, Kromium (Cr) 1,55%, dan Karbon (C) 1,18%. Perlakuan panas terbukti efektif meningkatkan kekerasan material, dari nilai awal 262 VHN menjadi 320 VHN setelah *hardening* pada suhu 850°C dengan *quenching* menggunakan *silicon oil*, dan mencapai kekerasan tertinggi 348 VHN dengan *quenching* air. Pengujian ketangguhan *Charpy* menunjukkan kemampuan material menyerap energi sebelum patah, dengan nilai rata-rata 0,173375 J/mm² pada kondisi asli dan 0,197125 J/mm², menunjukkan material memiliki ketangguhan memadai. Hasil ini memiliki implikasi praktis langsung bagi industri, yaitu peningkatan kekerasan material hingga 348 VHN dapat memperpanjang umur pakai *hammer*, mengurangi frekuensi penggantian komponen, meminimalkan *downtime* mesin, dan meningkatkan efisiensi produksi pada unit *limestone crusher*. Meskipun demikian, penerapan

hasil ini untuk kondisi operasi yang berbeda harus dilakukan dengan kehati-hatian, karena variasi kondisi kerja dapat memengaruhi efektivitas perlakuan panas.

5. SARAN

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, dianjurkan untuk memvariasikan parameter perlakuan panas, seperti temperatur *hardening* dan waktu penahanan (*holding time*), guna menemukan kombinasi optimal yang menghasilkan sifat mekanis terbaik. Selain itu, sangat penting untuk melakukan pengujian keausan pada setiap variasi spesimen agar dapat diperoleh data langsung mengenai hubungan antara peningkatan kekerasan dengan ketahanan aus material. Guna melengkapi analisis secara fundamental, penelitian lanjutan juga perlu menyertakan pengujian metalografi untuk mengamati perubahan struktur mikro, seperti pembentukan f*asa martensit*, yang dapat menjelaskan secara ilmiah penyebab utama peningkatan sifat mekanis material tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Edahwati. (2009). Kajian kinerja *hammer crusher* dalam proses penghancuran material. *Jurnal Teknik Mesin.*

[2] ASTM International. 2022. *ASTM A128/A128M – Standard specification for steel castings, austenitic manganese*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

[3] Berns, H., & Theisen, W. 2008. *Ferrous materials: Steel and cast iron*. Berlin: Springer.

[4] ASM International. (1990). *ASM handbook volume 1: Properties and selection—Irons, steels, and high-performance alloys*. Materials Park, OH: ASM International

[5] Arumsari. 2017. Analisis keausan *hammer crusher* akibat beban tumbukan. *Jurnal Rekayasa Material*.

[6] Totten, G. E. 2006. *Steel heat treatment: Metallurgy and technologies* (edisi ke-2). Boca Raton, FL: CRC Press.

[7] ASM International. 2013. *ASM handbook volume 4: Heat treating*. Materials Park, OH: ASM International.

[8] Prabowo, F. Y., Waluyo, J., & Yudha, V. (2025). *Pengaruh perlakuan panas terhadap kekerasan dan kekasaran permukaan hasil pembubutan baja AISI 1045*. Journal of Energy, Materials, & Manufacturing Technology, 4(02), 53–59.

[9] Saputra, A., Purwantono, P., Rifelino, R., & Syahri, B. (2025). *Pengaruh media pendingin terhadap kekerasan baja AISI 4140 setelah perlakuan panas hardening*. Jurnal Vokasi Mekanika.

[10] *Callister, W. D., & Rethwisch, D. G., 2014. Materials Science and Engineering: An Introduction, 9th ed., John Wiley & Sons.*

[11] *Wills, B.A. & Finch, J. (2022).* Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery. *9th ed. Butterworth-Heinemann.*

[12] *Khankelov, T.K., et al. (2024). Substantiation of the main parameters of a hammer crusher for grinding municipal solid waste.* E3S Web of Conferences, *515, 03019.*

[13] M. Sulaeman, H. Budiman, and E. Koswara. 2018"Proses Uji Dimensi, Uji Kekerasan dengan Metode Rockwell dan Uji Komposisi Kimia pada Cangkul di Balai Besar Logam dan Mesin (BBLM) Bandung," Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin., vol. 10, no. 1, pp. 539–543.

[14] F. Fauziah, D. Muliastri, and ..., 2024"Analisa Pengaruh Persentase Reduksi Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Penarikan Kawat Baja Aisi 1006," Mach. J. …, vol. 5, no. 1.

[15] I. Al Ghifari, U. Budiarto, and A. F. Zakki. 2018 "Analisa Kekuatan Impak, Tarik, dan Mikrografi Aluminium 5083 Akibat Pengelasan MIG (Metal Inert Gas) dengan Variasi Posisi Pengelasan," J. Tek. Perkapalan, vol. 6, no. 4.