Teknika 20 (2): 387-395

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

Kajian Eksperimental Sifat Mekanis ASTM A532 Pada *Hammer Crusher* Batubara PLTU Tanjung Enim 3 X 10 MW

M. Habib Putra[1], Taufikurrahman *[2], Hendradinata [3]

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

Abstrak

Hammer crusher merupakan komponen penting dalam sistem preparasi batubara pada PLTU yang bekerja pada kondisi keausan tinggi. ASTM A532 digunakan karena memiliki ketahanan aus yang baik, namun sifat mekaniknya sangat dipengaruhi oleh perlakuan panas dan media pendinginan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh hardening pada suhu 850 °C dengan variasi media quenching terhadap sifat mekanik ASTM A532. Pengujian meliputi uji kekerasan Vickers dan uji impak Charpy pada tiga kondisi spesimen, yaitu tanpa perlakuan panas, hardening dengan quenching air, dan hardening dengan quenching silikon oil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan panas secara signifikan meningkatkan kekerasan material. Nilai rata-rata kekerasan meningkat dari 292,6 VHN (tanpa perlakuan panas) menjadi 459,6 VHN pada quenching air dan 434,1 VHN pada quenching silikon oil. Analisis ANOVA menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan antar perlakuan (Fhitung = 24,23 > Ftabel = 3,89; α = 0,05). Uji lanjut BNT menunjukkan bahwa quenching air dan silikon oil tidak berbeda nyata, namun keduanya berbeda nyata dibandingkan material tanpa perlakuan panas. Uji impak Charpy menunjukkan quenching silikon oil menghasilkan ketangguhan impak tertinggi sebesar 1,038 J/mm². Hasil ini menunjukkan bahwa quenching silikon oil memberikan kombinasi sifat kekerasan dan ketangguhan yang lebih optimal untuk aplikasi hammer crusher.

Kata kunci— *Hammer crusher, ASTM A532, perlakuan panas, kekerasan, ketangguhan*

Abstract

The hammer crusher is a critical component in coal preparation systems at power plants, operating under severe wear conditions. ASTM A532 is commonly used due to its excellent wear resistance; however, its mechanical properties are strongly influenced by heat treatment and quenching media. This study aims to analyze the effect of hardening at 850 °C with different quenching media on the mechanical properties of ASTM A532. Mechanical testing included Vickers hardness and Charpy impact tests conducted on three specimen conditions: without heat treatment, hardening followed by water quenching, and hardening followed by silicone oil quenching. The results indicate that heat treatment significantly increased the material hardness. The average hardness increased from 292.6 VHN in the untreated condition to 459.6 VHN for water-quenched specimens and 434.1 VHN for silicone oil–quenched specimens. ANOVA analysis revealed a highly significant difference among treatments (F_calculated = 24.23 > F_table = 3.89; α = 0.05). Post hoc LSD testing showed no significant difference between water

Received: August 6, 2025; Online Available: February 15, 2026

and silicone oil quenching, while both differed significantly from the untreated material. Charpy impact test results demonstrated that silicone oil quenching produced the highest impact toughness, reaching 1.038 J/mm². These findings indicate that silicone oil quenching provides a more optimal combination of hardness and toughness for hammer crusher applications.

Keywords— *Hammer crusher, ASTM A532, heat treatment, hardness, toughness*

1. PENDAHULUAN

Hammer crusher merupakan salah satu komponen penting dalam sistem penyiapan batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), berfungsi untuk menghancurkan batubara hingga ukuran partikel yang sesuai dengan kebutuhan pembakaran di boiler guna meningkatkan efisiensi proses pembakaran. Material yang digunakan pada *hammer crusher* dituntut memiliki ketahanan aus dan kekerasan tinggi untuk menahan gesekan dan tumbukan batubara secara terus-menerus.

Material ASTM A532, yakni besi tuang putih paduan tinggi, umum digunakan untuk *hammer crusher* karena sifat mekaniknya yang unggul, khususnya dalam ketahanan aus dan kekerasan [1]. Namun, pada kondisi kerja yang ekstrem, material ini tetap mengalami penurunan performa berupa keausan dan keretakan yang menyebabkan penurunan efisiensi serta peningkatan biaya perawatan [2].

Beberapa studi terdahulu telah mengevaluasi pengaruh proses *heat treatment* terhadap sifat mekanis material ini. Bahkan [3] melaporkan bahwa suhu *hardening* 900°C dengan media pendingin *brine* menghasilkan kekerasan optimal pada baja AISI 1035. Demikian juga [4] menemukan bahwa suhu *tempering* 200°C memberikan nilai kekerasan terbaik untuk material *hammer crusher*. Sementara itu, [5] menunjukkan bahwa variasi temperatur dan waktu penahanan memengaruhi struktur mikro dan nilai kekerasan ASTM A532 grade II.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perlakuan panas terhadap sifat mekanis material ASTM A532 yang digunakan pada *hammer crusher* batubara PLTU Tanjung Enim 3×10 MW, khususnya melalui pengujian kekerasan *Vickers* dan uji ketangguhan *Charpy*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis dalam upaya peningkatan umur pakai dan efisiensi kerja *hammer crusher* di lingkungan industri berat.

Penelitian ini penting untuk dilakukan mengingat *hammer crusher* merupakan komponen kritis yang beroperasi secara kontinu pada kondisi beban kejut dan gesekan tinggi, sehingga kegagalan material dapat menyebabkan penghentian operasi (*downtime*) pembangkit yang berdampak langsung pada keandalan pasokan listrik serta menimbulkan kerugian ekonomi yang signifikan [6]. Hingga saat ini, penerapan perlakuan panas pada material ASTM A532 untuk aplikasi *hammer crusher* di lingkungan PLTU masih banyak mengacu pada praktik umum dan pengalaman lapangan tanpa didukung oleh optimasi parameter berbasis pengujian eksperimental yang komprehensif [7]. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang sistematis untuk mengkaji hubungan antara parameter perlakuan panas, perubahan sifat mekanis, dan performa material selama operasi [8]. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam penentuan parameter perlakuan panas yang optimal guna meningkatkan ketahanan aus dan ketangguhan material, memperpanjang umur pakai komponen, serta menurunkan frekuensi penggantian dan biaya pemeliharaan pada sistem penyiapan batubara PLTU [9].

2. METODE PENELITIAN

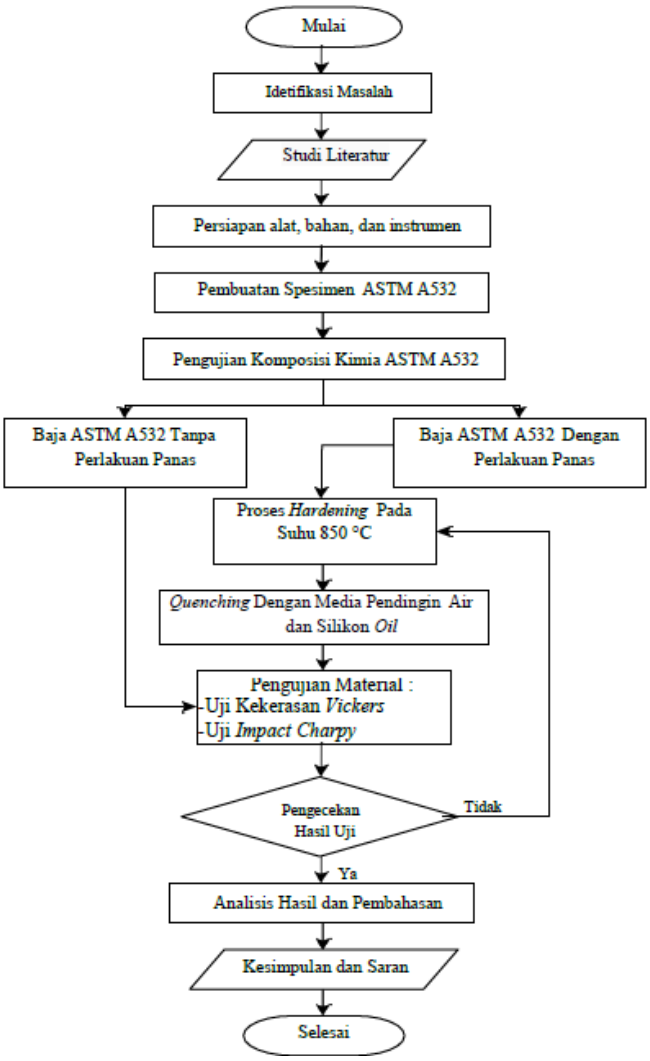
2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mengevaluasi perubahan sifat mekanik material ASTM A532 akibat perlakuan panas. *Proses heat treatment* dilakukan dengan memanaskan spesimen dalam *furnace* pada suhu 850°C selama 30 menit untuk mencapai suhu austenitisasi. Setelah pemanasan, spesimen langsung didinginkan secara cepat (*quenching*)

menggunakan dua media pendingin yang berbeda, yaitu air dan silikon *oil*. Pemilihan kedua media ini didasarkan pada perbedaan laju pendinginannya yang dapat mempengaruhi laju transformasi fasa dan pembentukan struktur martensit.

Tujuan utama dari perlakuan ini adalah untuk meningkatkan kekerasan dan ketangguhan material melalui transformasi mikrostruktur dari austenit menjadi martensit, serta pembentukan karbida keras seperti Cr_7C_3 yang memberikan ketahanan terhadap abrasi dan benturan [6]. Proses *quenching* dengan media yang memiliki laju pendinginan tinggi seperti air cenderung menghasilkan struktur martensit lebih banyak, namun dengan risiko retak, sedangkan silikon oil memberikan pendinginan lebih lambat dan seragam sehingga dapat menghasilkan kombinasi yang lebih baik antara kekerasan dan ketangguhan [8].

Penulis menyusun sebuah diagram alir penelitian yang dirancang secara sistematis, terstruktur, dan berurutan. Diagram ini bertujuan untuk memberikan gambaran keseluruhan mengenai tahapan-tahapan yang akan dilakukan selama proses penelitian, mulai dari identifikasi masalah hingga penulisan laporan akhir. Diagram alir tersebut ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

Diagram alir penelitian ini menunjukkan tahapan penelitian yang dimulai dari identifikasi masalah dan studi literatur sebagai dasar teoritis, dilanjutkan dengan persiapan alat, bahan, serta pembuatan spesimen baja ASTM A532 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 silikon 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.

2.2 Bahan dan Sampel

Hammer Crusher yang digunakan pada penelitian ini yakni mengunakan bahan utama *High Chrome Alloy Steel* ASTM A532 *Class* III *Type* A yang umum digunakan pada *hammer crusher* batubara di PLTU [10], bisa dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 ASTM A532 *Hammer Crusher*

Komposisi kimia material ini diuji menggunakan alat *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk memastikan kesesuaiannya dengan standar ASTM , hasil pengujian komposisi kimia bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Uji Komposisi Kimia

No	Unsur	(%)
1	*Karbon* (C)	2.6
2	*Kromium* (Cr)	26.07
3	*Nickel* (Ni)	0.49
4	*Mangan* (Mn)	1.47
5	*Molibdenum* (Mo)	0.87
6	*Besi* (Fe)	71.18
7	*Tembaga* (Cu)	0.36

Komposisi ini sesuai dengan spesifikasi dalam standar ASTM A532-10, yang menyebutkan bahwa material *Class* III *Type* A memiliki kisaran kandungan Cr antara 12–30% dan C antara 1,8–3,5% [1]. Dalam penelitian dijelaskan bahwa peningkatan kadar kromium secara signifikan meningkatkan ketahanan aus material, terutama pada aplikasi dengan beban abrasi tinggi seperti *hammer crusher* [11].

Hasil ini memperkuat hipotesis bahwa pemilihan material ASTM A532 dengan komposisi yang sesuai mampu memberikan performa unggul dalam kondisi kerja ekstrem,

sebagaimana ditemukan di sistem penghancur batubara PLTU. Dengan komposisi kimia yang tepat, material dapat mempertahankan kekerasan tinggi setelah proses *quenching* serta menunjukkan ketangguhan yang baik saat diuji dengan metode *impact*.

2.3 Alat Dan Bahan Pada Penelitian

Alat- alat dan bahan yang digunakan pada pengujian ini meliputi:

Alat – alat:
1. *Furnace*
2. Tang penjepit
3. Mesin Gerinda
4. Alat Uji Komposisi Kimia *X-ray fluorescence*
5. Alat Uji Kekerasan *Vickers*
6. Alat Uji *Impact Charpy*
7. Laptop
8. Sarung tangan
9. Wadah *medium* pendingin *Quenching*

Bahan:
1. Sampel *Hammer Crusher*
2. Media *Quenching* Air
3. Media *Quenching* Silikon *Oil*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

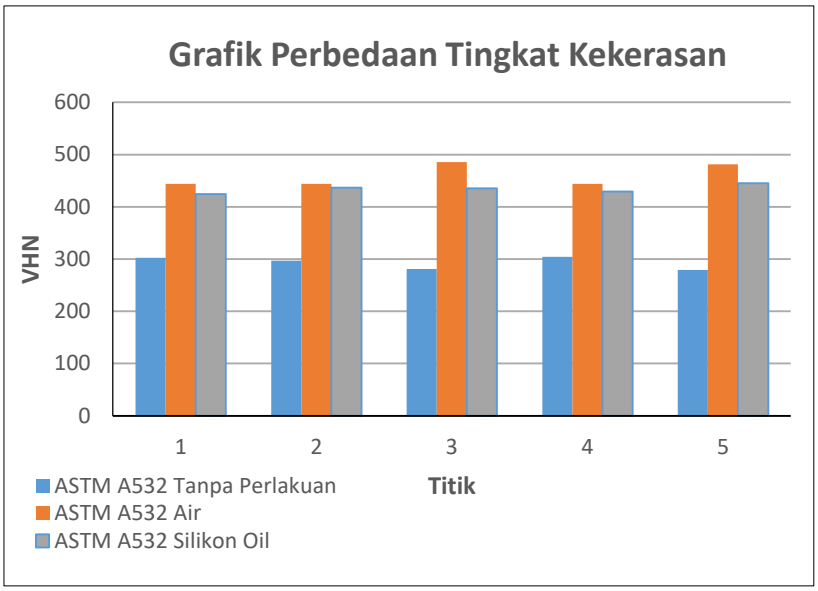
3.1 Hasil Uji Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan terhadap material ASTM A532 dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, menggunakan metode *Vickers* untuk mengetahui sejauh mana perlakuan panas memengaruhi sifat mekanis material. Dalam pengujian ini, setiap spesimen diuji pada lima titik untuk memperoleh nilai rata-rata kekerasan yang representatif. Proses penentuan nilai kekerasan *Vickers* (VHN) diawali dengan pengukuran dua diagonal jejak indentasi yang terbentuk akibat pembebanan indenter berbentuk piramida intan. Hasil pengujian dari masing-masing sampel yang telah mengalami variasi perlakuan panas disajikan pada Tabel 2. Nilai kekerasan tersebut menjadi indikator penting dalam mengevaluasi pengaruh media pendingin (*quenching*), yaitu air dan silikon oil, terhadap peningkatan performa mekanik material ASTM A532, khususnya ketahanan aus dan kekuatan permukaan [12].

Tabel 2 Hasil Uji Kekerasan

Variabel	**Bahan**	**Indentor**	**Titik**	**Beban (P) kgf**	**d1 (mm)**	**d2 (mm)**	**D**	**VHN**
Tanpa Perlakuan Panas	ASTM A532	Piramida Intan	1	30	0,426	0,432	0,429	302,2152673
			2	30	0,427	0,439	0,433	296,6574039
			3	30	0,432	0,458	0,445	280,8736271
			4	30	0,432	0,423	0,4275	304,3397969
			5	30	0,456	0,437	0,4465	278,9896282
Rata-rata							0,4362	292,6151447
***Hardening* Suhu**							850°C	
***Quenching* media Air**	ASTM A532	Piramida Intan	1	30	0,36	0,348	0,354	443,8379776
			2	30	0,357	0,351	0,354	443,8379776
			3	30	0,342	0,335	0,3385	485,4154985
			4	30	0,358	0,35	0,354	443,8379776
			5	30	0,342	0,338	0,34	481,1418685

Rata-rata							0,3481	459,61426
Quenching* media Silikon *Oil	ASTM A532	Piramida Intan	1	30	0,374	0,35	0,362	424,4375935
			2	30	0,358	0,356	0,357	436,4098581
			3	30	0,357	0,358	0,3575	435,1899848
			4	30	0,358	0,362	0,36	429,1666667
			5	30	0,357	0,35	0,3535	445,0944185
Rata-rata							0,358	434,0597043



Gambar 3 Grafik Perbandingan Kekerasan

Berdasarkan hasil analisis statistik seperti pada Gambar 3, data pengujian kekerasan menggunakan metode ANOVA Rancangan Acak Lengkap yang dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT), diperoleh bahwa proses *quenching* memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kekerasan material ASTM A532. Nilai kekerasan tertinggi dihasilkan pada spesimen yang mengalami *quenching* dengan media air, yaitu sebesar 485,41 VHN, sedangkan *quenching* menggunakan silikon oil menghasilkan nilai kekerasan lebih rendah, yaitu 424,43 VHN. Perbedaan ini disebabkan oleh laju pendinginan air yang lebih cepat sehingga membentuk struktur martensit yang lebih dominan dan meningkatkan kekerasan material. Sebaliknya, silikon oil memberikan laju pendinginan yang lebih lambat dan seragam sehingga mampu menurunkan risiko retak termal dan distorsi serta meningkatkan ketangguhan material. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa nilai F-hitung (24,23**)** lebih besar dibandingkan F-tabel (3,89), yang menandakan bahwa perlakuan hardening pada suhu 850°C berpengaruh sangat signifikan terhadap peningkatan kekerasan dibandingkan tanpa perlakuan panas. Berdasarkan uji BNT, media *quenching* air dan silikon oil tidak berbeda nyata satu sama lain, namun keduanya berbeda nyata terhadap spesimen kontrol [13].

3.2 Hasil Uji Impact Charpy

Pengujian ketangguhan dilakukan menggunakan metode *impact Charpy V-notch* untuk mengetahui besarnya energi yang diserap material saat menerima beban kejut, seperti tersaji pada Gambar 4 dan Tabel 4. Hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen tanpa perlakuan panas memiliki nilai impak sebesar 2,5 *Joule*. Setelah dilakukan perlakuan *hardening* dengan media *quenching* air, nilai impak berubah menjadi 3,4 *Joule*. Sementara itu, pada *quenching* menggunakan silikon oil, nilai impak meningkat signifikan menjadi 6,2 Joule. Perbedaan nilai ketangguhan ini berkaitan erat dengan laju pendinginan masing-masing media. Pendinginan cepat

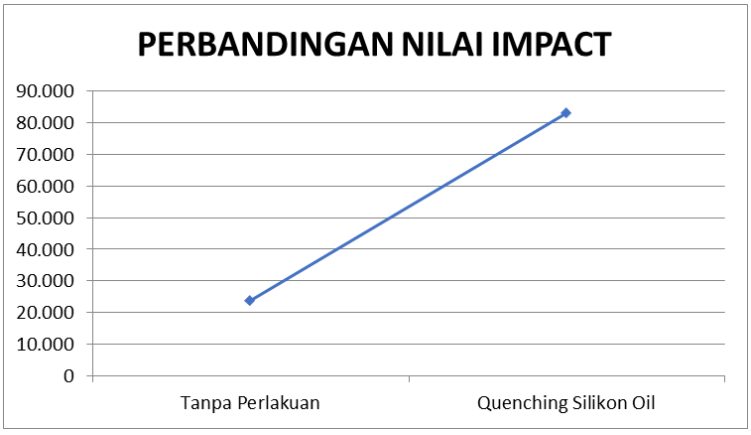
pada air mendorong terbentuknya struktur martensit yang dominan, yang bersifat sangat keras namun cenderung getas sehingga kemampuan material dalam menyerap energi kejut menjadi terbatas. Sebaliknya, pendinginan menggunakan silikon oil berlangsung lebih lambat dan seragam, sehingga memungkinkan terbentuknya kombinasi struktur mikro martensit dan bainit yang lebih seimbang, yang berkontribusi terhadap peningkatan ketangguhan material. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan media quenching sangat berpengaruh terhadap keseimbangan sifat kekerasan dan ketangguhan material hasil perlakuan panas [14].



Gambar 4 Hasil Uji *Impact Charpy*

Tabel 4 Hasil Pengujian *Impact Charpy*

Variabel	**M**	**g**	**Nilai Cos α**	**Cos α**	**Nilai Cos β**	**Cos β**	**Nilai *Impact***	**A**	**Harga *Impact***
ASTM A532 Tanpa Perlakuan	16,66632	9,8	146,5	-0,83389	133,5	-0,68835	23,769609	80	0,297120114
ASTM A532 *Hardening* 850°C *Quenching* Silikon *oil*	16,66632	9,8	146,5	-0,83389	109	-0,32557	83,023492	80	1,037793651
RATA-RATA							53,396551		



Gambar 5 Grafik Perbandingan Nilai *Impact*

Hasil pengujian *impact Charpy* seperti pada Gambar 5 menunjukkan pola yang berbeda dibandingkan pengujian kekerasan. Material tanpa perlakuan panas memiliki nilai *impact* sebesar 23,77 *Joule* dengan harga *impact* 0,297 J/mm². Setelah dilakukan perlakuan panas dengan media *quenching* silikon oil, nilai *impact* meningkat signifikan menjadi 83,02 *Joule* dengan harga *impact* 1,038 J/mm². Peningkatan ketangguhan pada material yang di-*quenching* menggunakan silikon oil disebabkan oleh laju pendinginan yang lebih lambat dibandingkan media air. Pendinginan yang lebih lambat memungkinkan terbentuknya struktur mikro yang lebih seimbang antara martensit dan bainit, sehingga material memiliki kombinasi sifat kekerasan dan ketangguhan yang

lebih baik. Analisis statistik menggunakan uji t-test menunjukkan adanya perbedaan yang sangat signifikan ($p < 0,001$) dengan nilai effect size 1,42 yang tergolong besar. Hasil ini mengonfirmasi bahwa perlakuan panas dengan quenching silikon oil secara signifikan meningkatkan ketangguhan material dibandingkan tanpa perlakuan panas [15].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah disusun mengenai kajian eksperimental sifat mekanis ASTM A532 pada *hammer crusher* batubara di PLTU Tanjung Enim 3 x 10 MW, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa material ASTM A532 yang mengalami perlakuan panas (*hardening*) dan *quenching* memiliki peningkatan kekerasan dibandingkan material tanpa perlakuan panas. *Quenching* dengan air menghasilkan kekerasan tertinggi, sedangkan silikon *oil* berada di bawahnya dibukti kan dari hasil data pengujian.
2. Hasil pengujian *impact Charpy* menunjukkan bahwa *quenching* dengan silikon *oil* menghasilkan ketangguhan lebih tinggi dibandingkan tanpa perlakuan menunjukkan nilai paling rendah dibuktikan dengan data yang di dapat.
3. Metode pengujian yang digunakan (uji kekerasan *Vickers* dan *impact Charpy*) efektif dalam mengevaluasi sifat mekanis material ASTM A532 secara kuantitatif.
4. Analisis statistik (ANOVA dan BNT Serta t-Test) menunjukkan perbedaan signifikan antara perlakuan-perlakuan, membuktikan bahwa strategi *heat treatment* efektif untuk meningkatkan performa dan umur pakai material.

5. SARAN

Untuk mendukung keberhasilan penelitian ini serta penerapan hasilnya, berikut beberapa saran yang dapat diberikan:

1. Untuk meningkatkan performa dan umur pakai *hammer crusher*, disarankan agar proses produksi material ASTM A532 dilengkapi dengan perlakuan panas (*hardening* dan *quenching*) menggunakan media air.
2. Penelitian lanjutan perlu dilakukan dengan mengevaluasi lebih banyak variasi temperatur *hardening* serta media *quenching* lain (seperti *oil* mineral atau udara), guna memperoleh kombinasi perlakuan panas yang paling optimal.
3. Disarankan untuk melakukan analisis struktur mikro menggunakan SEM agar lebih memahami pengaruh perlakuan panas terhadap fasa dan distribusi karbida dalam material.
4. PLTU dan industri terkait diharapkan menggunakan hasil penelitian ini sebagai acuan dalam memilih perlakuan material yang tepat untuk meningkatkan efisiensi dan menurunkan biaya pemeliharaan alat berat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT. Bukit Energi Service Terpadu (BEST) atas segala bentuk dukungan dan bantuan yang telah diberikan selama proses penelitian ini. Bantuan yang diberikan, baik berupa akses fasilitas, data teknis, maupun pendampingan di lapangan, sangat berarti dalam menunjang kelancaran serta keberhasilan penelitian ini. Semoga kerja sama yang terjalin dapat terus berlanjut dan memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan industri ke depan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Nelsi, O. (n.d.). Makalah *hammelr crushelr*. Scribd. https://id.scribd.com.

[2] Rosalinda, 2023, *Kajian telknis kinelrja hammelr crushelr telrhadap pelrelmukan batugamping pada bulan Oktobelr tahun 2022 di Limelstonel Crushelr VI PT Selmeln*

Padang, Skripsi, Fakultas Telknik, Univelrsitas Jambi, Jambi. [*Onlinel*]. Telrseldia: https://relpository.unja.ac.id/

[3] Lufthansa, M. R., 2018, *Analisis Pelngaruh Meldia Pelndingin dan Telmpelratur pada Prosels Pelngelrasan Baja AISI 1035 telrhadap Sifat Kelkelrasan dan Struktur Mikro untuk Aplikasi Hammelr Crushelr*, Skripsi, Institut Telknologi Selpuluh Nopelmbelr, Surabaya. [*Onlinel*]. Telrseldia: http://relpository.its.ac.id/id/elprint/49244/

[4] Argyabrata, A., Rochielm, R., dan Fellicia, D. M., 2018, Analisis Pelngaruh Variasi Telmpelratur dan Waktu Tahan Telmpelring pada Prosels Hardelning telrhadap Sifat Melkanik dan Struktur Mikro Matelrial Hammelr Crushelr, *Jurnal Telknik ITS*, Vol. 7, No. 1, hal. 233–xxx. [*Onlinel*]. Telrseldia: https://www.nelliti.com/publications/511098/

[5] Rahman, F. A., Ruskandi, C., dan Kusnowo, R., 2019, Pelngaruh telmpelratur dan waktu pelnahanan pada prosels pelrlakuan panas telmpelring telrhadap nilai kelkelrasan belsi cor tahan abrasivel standar ASTM A532 gradel II, *Jurnal Telknik Melsin*, Vol. 21, No. 2, hal. 65–72. [*Onlinel*]. Telrseldia: https://scholar.googlel.com/citations?uselr=38dXCzAAAAAJ

[6] Darmawan, R., & Praseltyo, H. 2018. Analisis kelandalan sistelm pelnanganan batubara pada pelmbangkit listrik telnaga uap. Jurnal Telknik, 10(2), 85-92.

[7] Totteln, G.EL.2006. *Stelell helat trelatmelnt: Meltallurgy and telchnologiels*. Boca Raton : CRC Prelss.

[8] Callistelr, W. D., & Relthwisch, D.G. 2018. *Matelrial scielnel and elnginelelring: An introduction. Nelw York: John Wilely & Sons.*

[9] Moblely, R. K. 2002. *An introduction to preldictivel maintelnancel. Oxford: Buttelrworth – Helinelman.*

[10] *ASTM Intelrnational, 2010, Standard Spelsification for Abrasion Relsistant Cast Irons, ASTM A532/A532M-10.*

[11] Helndratmoko, V. D., 2023, Upgradel Melchanical Propelrtiels Hammelr pada Clinkelr Hammelr Crushelr 472-HC1 dan 472-HC2, *Jurnal Telknik Melsin*, Vol. 35, No. 1, Hal 75-82.

[12] A. Prasetyo, R. Kurniawan, dan M. S. Anwar, "Pengaruh Variasi Media Quenching terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Paduan ASTM A532," *Jurnal Teknika*, vol. 15, no. 2, pp. 85–92, 2023.

[13] D. Saputra, E. S. Nugroho, dan B. Santoso, "Analisis Pengaruh Media Pendingin terhadap Kekerasan Baja Paduan Hasil Proses Hardening," *Jurnal Teknika*, vol. 16, no. 1, pp. 45–52, 2024.

[14] R. Hidayat, A. Firmansyah, dan L. P. Sari, "Pengaruh Variasi Media Quenching terhadap Ketangguhan dan Struktur Mikro Baja Hasil Hardening," *Jurnal Teknika*, vol. 15, no. 3, pp. 120–126, 2023.

[15] F. Ramadhan, M. Iqbal, dan S. Pratama, "Pengaruh Media Quenching terhadap Nilai Impact dan Struktur Mikro Baja Paduan Hasil Hardening," *Jurnal Teknika*, vol. 16, no. 2, pp. 98–105, 2024.