Teknika 20 (2): 397-406

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

Pengaruh Variasi *Quenching* Terhadap Kekerasan Material ASTM A532

Dica Aditia [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

Tyre roller merupakan salah satu komponen pada vertical roller mill yang berfungsi menghancurkan dan menggiling material bahan mentah dalam proses produksi semen. Selama operasi, tyre roller mengalami keausan tinggi sehingga diperlukan material dengan sifat mekanik dan ketahanan aus yang baik, umumnya menggunakan ASTM A532. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh perlakuan quenching terhadap komposisi kimia dan kekerasan material ASTM A532 sebagai upaya peningkatan kinerja dan umur pakai komponen. Pengujian meliputi analisis komposisi kimia menggunakan XRF Analyzer dan pengujian kekerasan menggunakan metode Vickers. Variasi perlakuan yang digunakan meliputi material tanpa perlakuan, quenching dengan media silikon oil, dan quenching dengan media air. Hasil pengujian menunjukkan komposisi kimia material terdiri atas 1,03% C, 8,27% Cr, 1,06% Mn, 0,26% Mo, 0,23% Ni, dan 0,26% Cu. Nilai kekerasan meningkat dari 382,56 VHN (tanpa perlakuan) menjadi 411,16 VHN (quenching silikon oil) dan mencapai 440,84 VHN pada quenching air. Peningkatan kekerasan tertinggi pada media air menunjukkan terjadinya transformasi fasa yang lebih cepat dan pembentukan struktur mikro yang lebih keras. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi praktis dalam pemilihan metode perlakuan panas yang optimal untuk meningkatkan ketahanan aus tyre roller, sehingga berpotensi memperpanjang umur pakai komponen, menurunkan frekuensi penggantian, dan meningkatkan efisiensi operasional pada industri semen.

Kata kunci— *Tyre roller, ASTM A532, Quenching, Kekerasan, Komposisi Kimia.*

Abstract

Tyre rollers are key components of vertical roller mills, functioning to crush and grind raw materials in cement production. During operation, tyre rollers experience severe wear, requiring materials with high mechanical strength and wear resistance, commonly ASTM A532. This study aims to analyze the effect of quenching treatment on the chemical composition and hardness of ASTM A532 material to enhance the performance and service life of tyre rollers. Chemical composition analysis was conducted using an XRF analyzer, while hardness was measured using the Vickers hardness test. The material conditions examined included untreated specimens, quenching with silicone oil, and quenching with water. The results showed that the material contained 1.03% C, 8.27% Cr, 1.06% Mn, 0.26% Mo, 0.23% Ni, and 0.26% Cu. The hardness value increased from 382.56 VHN in the untreated condition to 411.16 VHN after silicone oil quenching and reached a maximum of 440.84 VHN with water quenching. The

Received: August 13, 2025; Online Available: February 15, 2026

significant hardness improvement obtained using water as the quenching medium indicates a faster phase transformation and the formation of a harder microstructure. These findings provide practical guidance for selecting an optimal heat treatment method to improve the wear resistance of tyre rollers, potentially extending component service life, reducing replacement frequency, and enhancing operational efficiency in the cement industry.

Keywords— *Tyre Roller, ASTM A532, Quenching, Hardness, Chemical Composition*.

1. PENDAHULUAN

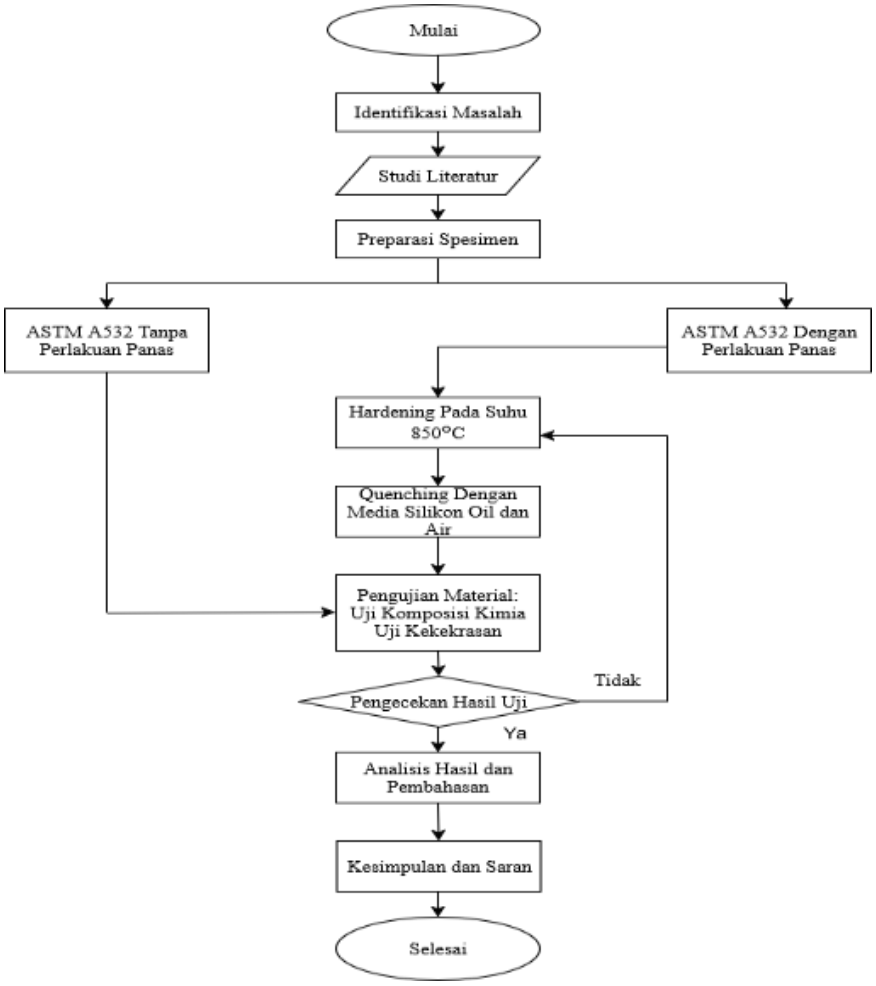
Industri semen menggunakan berbagai peralatan dan komponen dalam proses produksinya, salah satunya adalah *vertical roller mill* (VRM) yang berfungsi untuk menggiling bahan mentah menjadi *raw meal*. *Vertical roller mill* memiliki beberapa komponen utama, di antaranya adalah *tyre roller* yang berperan penting sebagai elemen penggilingan bahan mentah [1]. Dalam industri semen, VRM banyak digunakan karena memiliki efisiensi energi yang tinggi dan kinerja operasi yang stabil [2]. Selama proses penggilingan, *tyre roller* menerima beban mekanik dan gesekan abrasif yang tinggi sehingga rentan mengalami keausan [3].

Besi cor putih paduan tinggi ASTM A532 merupakan material yang umum digunakan untuk aplikasi dengan kebutuhan ketahanan aus tinggi. Material ini dirancang untuk memberikan kekerasan tinggi, ketahanan terhadap keausan dan korosi, serta mampu bekerja pada kondisi operasi ekstrem [4]. ASTM A532 umumnya mengandung sekitar 2,2% karbon (C) dengan penambahan kromium (Cr) untuk mencegah pembentukan grafit dan menjaga kestabilan fasa karbida. Selain itu, unsur paduan lain seperti *molibdenum* (Mo), nikel (Ni), dan tembaga (Cu) ditambahkan dalam jumlah tertentu untuk meningkatkan kestabilan struktur mikro, menghambat pembentukan perlit, dan meningkatkan sifat mekanik material [5].

Perlakuan panas (*heat treatment*) merupakan proses pengerasan termal yang bertujuan meningkatkan sifat mekanik material, khususnya kekerasan dan ketahanan aus. Secara umum, proses *heat treatment* meliputi tahap austenitisasi, *quenching*, dan *tempering*. Proses pengerasan dilakukan dengan memanaskan material hingga mencapai suhu austenitisasi, kemudian didinginkan secara cepat melalui proses *quenching*, sehingga menghasilkan peningkatan kekerasan yang signifikan [6]. Peningkatan kekerasan ini terjadi akibat perubahan struktur mikro, terutama transformasi fasa lunak seperti ferit menjadi martensit [7]. Di antara berbagai metode perlakuan panas, *quenching* merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk meningkatkan kekerasan material [8]. *Quenching* merupakan proses pendinginan cepat menggunakan media seperti air, oli, silikon oil, larutan polimer, udara, maupun media garam. Pemilihan media *quenching* sangat memengaruhi laju pendinginan, pembentukan martensit, dan sifat mekanik akhir material [9]. Namun demikian, proses *quenching* yang tidak terkendali dapat menimbulkan cacat seperti retak, distorsi, dan ketidakseragaman kekerasan akibat distribusi temperatur yang tidak merata selama pendinginan cepat [10]. Pendinginan cepat dari rentang suhu austenitisasi sekitar 815 ℃ hingga 870 ℃ diperlukan untuk memperoleh struktur matriks martensit dengan sedikit austenit sisa dan presipitasi karbida. Struktur mikro yang heterogen ini mampu memberikan ketahanan aus yang tinggi serta ketangguhan yang baik, sehingga sesuai untuk aplikasi berat seperti *tyre roller* pada industri semen [11].

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian pada studi ini dirancang secara eksperimental untuk menganalisis pengaruh perlakuan panas (*heat treatment*) dengan variasi media *quenching* terhadap sifat mekanik material ASTM A532 pada aplikasi *tyre roller*. Tahapan penelitian meliputi identifikasi masalah, studi literatur, preparasi spesimen, perlakuan panas, pengujian material, serta analisis hasil. Alur tahapan penelitian secara sistematis ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

2.1 Identifikasi Masalah

Tahap penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah yang berkaitan dengan sifat mekanis material ASTM A532 pada aplikasi *tyre roller vertical roller mill*. Identifikasi dilakukan untuk menentukan fokus dan batasan penelitian sehingga tujuan penelitian dapat dicapai secara sistematis. Tahap ini merupakan bagian awal dari alur penelitian sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

2.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan informasi dan referensi yang relevan dari berbagai sumber, seperti artikel jurnal, buku teks, dan penelitian terdahulu. Studi ini bertujuan memperoleh dasar teori, metode penelitian yang sesuai, serta temuan-temuan sebelumnya yang berkaitan dengan material ASTM A532 dan perlakuan panas yang digunakan dalam penelitian ini.

2.3 Preparasi Spesimen

Melakukan persiapan specimen yang akan dilakukan penelitian yang dibagi menjadi 2 kelompok yaitu, Spesimen ASTM A532 Tanpa Perlakuan Panas dan ASTM A532 Dengan Perlakuan Panas. Daftar alat penelitian yang digunakan disajikan secara lengkap pada Tabel 1. Alat-alat tersebut berfungsi untuk mendukung proses pengerasan (*hardening*), *quenching*, serta pengujian sifat mekanik dan komposisi kimia material ASTM A532. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas spesimen material dan media *quenching*. Rincian bahan penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1 Alat-alat Penelitian

No	Nama Alat	Jumlah
1	Gerinda Tangan	1
2	Mesin Uji Kekerasan Vickers	1
3	Alat Uji XRF Analyzer	1
4	Mesin Uji Keausan	1
5	Alat Furnance	1
6	Tang Penjepit	1
7	Sarung Tangan	2
8	Wadah/Baskom	

Tabel 2 Bahan Penelitian

No	Nama Bahan	Jumlah
1	Material ASTM A532 10 mm x 10 mm	5
2	Silikon Oil	500 ml
3	Air	1 Liter

2.3.1 Spesimen ASTM A532 Tanpa Perlakuan Panas

Spesimen di kelompok ini hanya dilakukan proses pemotongan dan pembentukan sesuai dengan dimensi yang di butuhkan untuk pengujian.

2.3.2 Spesimen ASTM A532 Dengan Perlakuan Panas

Spesimen pada tahap ini dilakukan proses perlakuan panas (*heat treatment*) dengan metode *hardening*. Spesimen di panaskan pada suhu 850°C di dalam furnace dengan *holding time* 30 menit, setelah itu specimen dilakukan proses pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan media silikon oil dan air.

2.4 Pengujian Material

Setiap spesimen diuji untuk memperoleh hasil sifat mekanis antara lain pengujian komposisi kimia, pengujian kekerasan, dan pengujian keausan.

2.5 Analisis Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian dilakukan analisis untuk mengetahui sifat mekanis material ASTM A532 dengan membandingkan data hasil pengujian spesimen tanpa perlakuan dan dengan perlakuan.

2.6 Kesimpulan dan Saran

Menyusun kesimpulan berdasarkan hasil yang telah di dapatkan serta memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

2.7 Tyre Roller



Gambar 2 *Tyre Roller*

Roller tyre ialah salah satu dari berbagai komponen utama dengan fungsi menjadi penghalus sekaligus penggiling batu kapur, tanah liat, pasir besi yang ditempatkan pada suatu system penggilingan *vertical mill* [12]. Material dari *tyre roller* merupakan ASTM A532 Kelas II Tipe D.

2.8 Material ASTM A532

Material tyre roller merupakan ASTM A532 atau biasa disebut dengan *High Chromium Cast Iron* yang mana material tersebut untuk aplikasi material tahan abrasif. Besi cor putih kromium tinggi adalah material yang cocok digunakan di lingkungan kerja dengan gesekan dan benturan. Besi cor putih kromium tinggi memiliki kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi [13].

2.9 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia seperti tersaji pada Gambar 3 bertujuan mengetahui dan mengukur rasio unsur kimia dalam bahan [14]. Dalam hal ini pengujian dilakukan dengan alat *XRF Analyzer*.

Class	Type	Designation	Carbon	Manganese	Silicon	Nickel	Chromium	Molybdenum	Copper	Phosphorus	Sulfur
I	A	Ni-Cr-Hc	2.8–3.6	2.0 max	0.8 max	3.3–5.0	1.4–4.0	1.0 max	...	0.3 max	0.15 max
I	B	Ni-Cr-Lc	2.4–3.0	2.0 max	0.8 max	3.3–5.0	1.4–4.0	1.0 max	...	0.3 max	0.15 max
I	C	Ni-Cr-GB	2.5–3.7	2.0 max	0.8 max	4.0 max	1.0–2.5	1.0 max	...	0.3 max	0.15 max
I	D	Ni-HiCr	2.5–3.6	2.0 max	2.0 max	4.5-7.0	7.0–11.0	1.5 max	...	0.10 max	0.15 max
II	A	12 % Cr	2.0–3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	11.0–14.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
II	B	15 % Cr-Mo	2.0–3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	14.0–18.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
II	D	20 % Cr-Mo	2.0–3.3	2.0 max	1.0–2.2	2.5 max	18.0–23.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max
III	A	25 % Cr	2.0–3.3	2.0 max	1.5 max	2.5 max	23.0–30.0	3.0 max	1.2 max	0.10 max	0.06 max

Gambar 3 Komposisi Kimia ASTM A532

2.10 Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan menilai sifat mekanik dan ketahanan material terhadap deformasi, penetrasi, dan goresan. Pengukuran kekerasan besi cor seperti tersaji pada Tabel 3 umum dilakukan dengan *Microhardness Vickers* sesuai standar ISO E384 [15].

Tabel 3 Standar Kekerasan ASTM A532

Class	**Type**	**Designation**	**As cat or as Cast and Stress Relieved**		
			HB	**HRC**	**HVN**
I	A	Ni-Cr-HiC	550	53	600
I	B	Ni-Cr-LoC	550	53	600
I	C	Ni-Cr-GB	550	53	600
I	D	Ni-HiCr	500	50	540
II	A	12% Cr	550	53	600
II	B	15% Cr-Mo	450	46	485
II	D	20% Cr-Mo	450	46	485
III	A	25% Cr	450	46	485

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Komposisi Kimia

Hasil pengujian komposisi kimia material ASTM A532 yang ditunjukkan pada Tabel 4 menunjukkan bahwa material mengandung 1,03% C, 8,27% Cr, 0,18% Si, 1,06% Mn, 0,62% Mo, 0,23% Ni, dan 0,26% Cu. Komposisi tersebut masih berada dalam rentang komposisi besi cor putih paduan krom menengah sebagaimana tercantum dalam standar ASTM A532 Kelas II Tipe D [16]. Kandungan kromium yang relatif tinggi berperan penting dalam pembentukan karbida

krom (Cr_7C_3) yang berkontribusi terhadap peningkatan ketahanan aus material. Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa kadar Cr antara 8–12% mampu meningkatkan ketahanan aus secara signifikan pada aplikasi komponen penggilingan [17]. Selain itu, keberadaan unsur molibdenum dan nikel berfungsi untuk meningkatkan kestabilan struktur mikro serta menghambat pembentukan perlit, sehingga material lebih responsif terhadap proses perlakuan panas [18]. Perbedaan kecil pada kandungan unsur karbon dan unsur paduan lainnya dibandingkan nilai nominal standar dapat disebabkan oleh kondisi operasi *tyre roller* yang bekerja secara kontinu pada beban tinggi dan lingkungan abrasif, sehingga berpotensi memicu degradasi mikrostruktur material selama masa pakai [19].

Tabel 4 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Unsur	(%)
Karbon (C)	1.03
Kromium (Cr)	8.27
Silikon (Si)	0.18
Mangan (Mn)	1.06
Molibdenum (Mo)	0.62
Nikel (Ni)	0.23
Copper (Cu)	0.26

3.2 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Hasil pengujian kekerasan *Vickers* pada material ASTM A532 untuk kondisi tanpa perlakuan panas, *quenching* silikon oil, dan *quenching* media air masing-masing ditunjukkan pada Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7. Pengujian dilakukan menggunakan indentor piramida intan dengan beban 30 kgf pada lima titik pengujian untuk setiap kondisi spesimen.

Tabel 5 Spesimen Tanpa Perlakuan

Bahan	**Indentor**	**Titik**	**Beban**	**d1 (mm)**	**d2 (mm)**	**D**	**VHN**
ASTM A532 Tanpa Perlakuan	Piramida Intan	1	30	0,374	0,371	0,3725	400,846,809
		2	30	0,381	0,379	0,38	385,180,055
		3	30	0,371	0,377	0,374	397,637,908
		4	30	0,391	0,389	0,39	365,680,473
		5	30	0,390	0,392	0,39	363,812,377
Rata-rata						0,3813	382,631,524

Berdasarkan Tabel 5, spesimen tanpa perlakuan panas menunjukkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 382,63 VHN. Nilai ini merepresentasikan kekerasan awal material dengan struktur mikro yang masih didominasi oleh austenit dan karbida primer, sehingga ketahanan aus material masih relatif terbatas.

Tabel 6 Spesimen *Quenching Silikon Oil*

Bahan	**Indentor**	**Titik**	**Beban**	**d1 (mm)**	**d2 (mm)**	**D**	**VHN**
ASTM A532 *Quenching* Silikon Oil	Piramida Intan	1	30	0,367	0,363	0,365	417,48921
		2	30	0,377	0,365	0,371	404,0947102
		3	30	0,375	0,36	0,3675	411,8284048
		4	30	0,378	0,363	0,3705	405,1861201
		5	30	0,375	0,364	0,3695	407,3822468
Rata-rata						0,3678	409,1961384

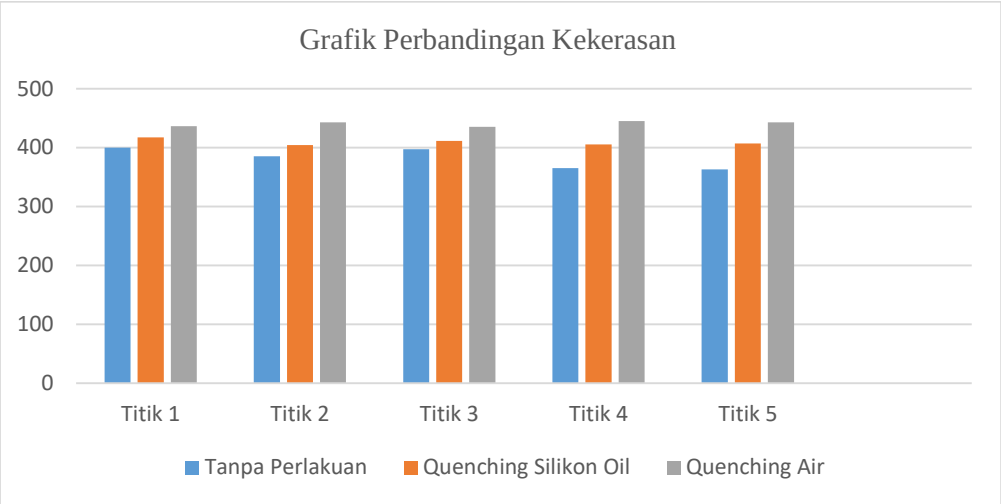
Pada spesimen dengan perlakuan *quenching* menggunakan silikon oil di Tabel 6, nilai kekerasan rata-rata meningkat menjadi 409,20 VHN. Peningkatan ini menunjukkan bahwa laju pendinginan silikon oil mampu mendorong terbentuknya sebagian struktur martensit, meskipun pendinginan yang lebih lambat dibandingkan media air menyebabkan transformasi fasa berlangsung tidak sepenuhnya.

Tabel 7 Spesimen *Quenching* Media Air

Bahan	Indentor	Titik	Beban	d1 (mm)	d2 (mm)	D	VHN
ASTM A532 *Quenching* Media Air	Piramida Intan	1	30	0,356	0,358	0,357	436,4098581
		2	30	0,358	0,35	0,354	443,8379776
		3	30	0,357	0,358	0,3575	435,1899848
		4	30	0,357	0,35	0,3535	445,0944185
		5	30	0,357	0,351	0,354	443,8379776

Pada spesimen yang mengalami *quenching* menggunakan media di Tabel 7, menghasilkan nilai kekerasan tertinggi dengan rata-rata sebesar 440,84 VHN. Nilai ini menunjukkan peningkatan kekerasan yang signifikan dibandingkan dua kondisi lainnya. Media air memiliki laju pendinginan yang lebih cepat sehingga mendorong transformasi austenit menjadi martensit secara lebih maksimal, menghasilkan struktur mikro yang lebih keras dan padat.

Hasil ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa peningkatan laju pendinginan pada besi cor putih paduan krom akan meningkatkan fraksi martensit dan kekerasan material secara signifikan. Namun demikian, laju pendinginan yang tinggi juga berpotensi meningkatkan risiko tegangan sisa dan kerapuhan material, sehingga pemilihan media *quenching* perlu disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan *quenching* dengan media air memberikan peningkatan kekerasan paling optimal pada material ASTM A532, sehingga berpotensi meningkatkan ketahanan aus *tyre roller* pada aplikasi *vertical roller mill* yang bekerja pada kondisi beban dan gesekan tinggi.



Gambar 4 Grafik Perbandingan Kekerasan

Gambar 4 menunjukkan perbandingan nilai kekerasan Vickers pada lima titik pengujian untuk material ASTM A532 tanpa perlakuan panas, *quenching* silikon oil, dan *quenching* media air. Secara umum, nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen dengan *quenching* media air di seluruh titik pengujian, diikuti oleh *quenching* silikon oil dan spesimen tanpa perlakuan. Pola

ini menunjukkan bahwa peningkatan laju pendinginan memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kekerasan material. Media air dengan laju pendinginan yang lebih cepat mendorong pembentukan struktur mikro yang lebih keras dibandingkan silikon oil, sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dan relatif konsisten pada setiap titik pengujian.

3.3 Analisis Data Anova dan Kruskal-Wallis

Tabel 8 *Anova*

Groups	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
Tanpa Perlakuan	5	1913,158015	382,631603	301,2417027
Quenching Silikon Oil	5	2045,434692	409,0869384	29,615735
Quenching Air	5	2204,370217	440,8740433	21,90471261

Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	8504,14	2	4252,0722	36,161	8,307E-06	3,88529383
Within Groups	1411,05	12	117,58738			
Total	9915,19	14				

Hasil analisis Tabel 8 menunjukkan hasil analisis ANOVA satu arah untuk mengevaluasi pengaruh variasi perlakuan terhadap nilai kekerasan Vickers material ASTM A532. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh nilai *P-value* sebesar $8{,}307 \times 10^{-6}$, yang lebih kecil dari taraf signifikansi 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara kelompok tanpa perlakuan, *quenching* silikon oil, dan *quenching* media air. Selain itu, nilai *F hitung* sebesar 36,16 lebih besar dibandingkan nilai *F kritis* sebesar 3,89, yang mengindikasikan bahwa perlakuan *quenching* memberikan pengaruh nyata terhadap peningkatan kekerasan material. Perbedaan nilai rata-rata kekerasan antar kelompok menunjukkan bahwa variasi media pendingin berperan penting dalam menentukan sifat mekanik akhir material ASTM A532.

Tabel 9 *Kruskal Wallis*

Test Statistics[a,b]	
	Hasil
Kruskal-Wallis H	10,519
df	2
Asymp. Sig.	,005

Demikian juga pada Tabel 9, df (*degree of freedom*) adalah jumlah kategori dalam variabel pengelompokan. Asymp. Sig. (*Asymptotic Significance*) bisa disebut juga *P-Value.* Nilai df adalah 2 yang dimana variabel dikurangi satu. Contoh 2 + 1 = 3. Artinya ada 3 kategori atau variabel pengelompokkan material yang dibandingkan. Dari tabel diatas didapatkan Asymp. Sig. sebesar 0,005 dengan syarat yang mengacu untuk Kruskal Wallis jika nilai P-Value < 0,05 maka berkesimpulan ada perbedaan yang signifikan terhadap material.

3.4 Uji Lanjutan (Post Hoc)

Tabel 10 Perbandingan Antar Perlakuan Kekerasan Vickers

Pairwise Comparisons of Material					
Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig.[a]

Tanpa Perlakuan-Quenching Silikon Oil	-3,000	2,826	-1,062	,288	,865
Tanpa Perlakuan-Quenching Air	-9,000	2,826	-3,185	,001	,004
Quenching Silikon Oil-Quenching Air	-6,000	2,826	-2,123	,034	,101

Dari Tabel 10 dengan syarat yang mengacu untuk uji *Kruskal Wallis* jika nilai P-Value < 0,005 maka terlihat hasil yang berbeda nyata dan signifikan yaitu antara material tanpa perlakuan dan material quenching air, yang didapatkan hasil nilai Sig. 0,004.

4. KESIMPULAN

Komposisi kimia material yang diuji (ASTM A532 Kelas II Tipe D) memiliki kandungan unsur Karbon (1,03%) dan Kromium (8,27%) yang jauh lebih rendah dibandingkan standar minimum ASTM A532 Kelas II Tipe D (Karbon 3,3%, Kromium 23%). Kandungan unsur paduan lainnya seperti Silikon (0,18%), Mangan (1,06%), Molibdenum (0,62%), Nikel (0,23%), dan Tembaga (0,26%) juga di bawah standar. Rendahnya kandungan karbon dan kromium ini berdampak pada pembentukan karbida keras (*Cr-carbide*) yang sangat sedikit, sehingga menurunkan daya tahan terhadap keausan. Kekerasan material tanpa perlakuan memiliki kekerasan *Vickers* sebesar 382.558,075, material dengan perlakuan quenching silicon oil sebesar 411.156,854, dan material dengan perlakuan quenching air sebesar 440.844,138. *Quenching* dengan media air meningkatkan kekerasan material, karena air merupakan media pendingin yang paling cepat memicu transformasi fasa ekstrem dan menghasilkan struktur mikro yang lebih keras dan getas, serta pembentukan martensit atau fasa keras yang berpengaruh pada peningkatan kekerasan yang signifikan.

5. SARAN

Komposisi kimia mengingat kandungan unsur paduan, terutama karbon dan kromium, yang jauh di bawah standar ASTM A532, disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut dengan komposisi kimia material yang mendekati standar atau sesuai dengan aplikasi spesifik untuk mencapai sifat mekanik yang optimal, khususnya kekerasan dan ketahanan aus.Variasi *quenching* eksplorasi lebih lanjut terhadap variasi parameter *quenching* (seperti suhu austenitisasi, waktu tahan, dan variasi media pendingin lainnya atau penambahan unsur paduan) dapat dilakukan untuk mengoptimalkan kekerasan dan sifat mekanik lainnya. Untuk pemahaman yang lebih mendalam mengenai hubungan antara perlakuan panas dan sifat mekanik, disarankan untuk melakukan analisis mikrostruktur (misalnya menggunakan SEM atau XRD) untuk mengidentifikasi fasa-fasa yang terbentuk, ukuran butir, dan distribusi karbida, terutama setelah perlakuan *quenching*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Andi Syahril and A. Mietra, "Analisis Laju Keausan dan Umur Pakai Material High Chrome Pada Segment Tire Grinding Roll Verticall Roller Mill Atox Mill 57.5 di PT XYZ," *J. Flywheel*, vol. 13, no. 1, pp. 1–8, 2022, doi: 10.36040/flywheel.v13i1.4742.

[2] W. Rais, A. Evendi, A. Adriansyah, and D. Dapersal Dinar, "Optimalisasi Sistem Perawatan dan Perbaikan Mesin Vertical Mill di PT. Semen Padang," *J. Tek. Mesin*, vol. 13, no. 1, pp. 31–37, 2020, doi: 10.30630/jtm.13.1.366.

[3] J. T. Mesin, F. Teknik, U. Andalas, K. Unand, and L. Manis, "VERTICAL ROLLER TYRE INDARUNG IV Gunawarman," vol. 1, no. 29, pp. 21–25, 2008.

[4] J. P. dan R. K. Mustakim1), "Upaya Peningkatan Kekerasan Grinding Ball Besi Tuang Putih Astm A532 Dengan Proses Temper," pp. 527–532, 2022.

[5] E. Albertin and A. Sinatora, “Effect of carbide fraction and matrix microstructure on the wear of cast iron balls tested in a laboratory ball mill,” *Wear*, vol. 250–251, no. 1–12, pp. 492–501, 2001, doi: 10.1016/S0043-1648(01)00664-0.
[6] Wahyudin dan Surasno, “Besi Tuang Putih Paduan Krom Tinggi Hasil Thermal Hardening Untuk Aplikasi Grinding Ball,” *Maj. Meyalrgi*, no. 1, pp. 177–184, 1997.
[7] D. E. Hartanto, H. Supriadi, and S. Savetlana, “Pengaruh media pendingin yang tersirkulasi pada proses quenching terhadap kekerasan dan ketahanan aus pada baja AISI 1045,” *Semin. Nas. Ilmu Tek. dan Apl. Ind.*, vol. 3, 2020.
[8] M. Nanda, Rohma, Rugshi, “Pengaruh Proses Quenching Media Air Dengan Variasi Temperatur Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Hasil Las Mig (Metal Inert Gas) Baja Keylos 50,” *J. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 03, pp. 15–24, 2022.
[9] E. Nugroho, S. D. Handono, A. Asroni, and W. Wahidin, “Pengaruh Temperatur dan Media Pendingin pada Proses Heat Treatment Baja AISI 1045 terhadap Kekerasan dan Laju Korosi,” *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 1, pp. 99–110, 2019, doi: 10.24127/trb.v8i1.933.
[10] D. Setiadi and A. K. Samlawi, “Pengaruh Quenching Dengan Media Pendingin Air Dan Oli Terhadap Mechanical Propertis Baja S45C,” *Jtam Rotary*, vol. 1, no. 2, p. 183, 2019, doi: 10.20527/jtam_rotary.v1i2.1751.
[11] O. F. Higuera-Cobos, J. Bucurú-Vasco, A. F. Loaiza-Patiño, M. J. Monsalve-Arias, and D. H. Mesa-Grajales, “Microstructural evolution during austempering of a ASTM A-532 CLASS III type high chromium white cast iron undergoing abrasive wear,” *Rev. Fac. Ing.*, vol. 26, no. 46, pp. 71–79, 2017, doi: 10.19053/01211129.v26.n46.2017.7319.
[12] D. I. E. R. A. M. Pasca-enron, “1* , 2 1,2,” vol. 7, no. 01, pp. 172–184, 2025.
[13] R. S. Prayogo and L. D. Setyana, “The Improvement of Wear and Impact Resistance of High Chromium White Cast Iron for Crusher,” *J. Mater. Process. Charact.*, vol. 1, no. 2, pp. 96–102, 2021, doi: 10.22146/jmpc.68282.
[14] M. Sulaeman, H. Budiman, and E. Koswara, “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, 2018, [Online]. Available: https://jurnal.polban.ac.id/proceeding/article/view/1460
[15] F. Fauziah, D. Muliastri, and ..., “Analisa Pengaruh Persentase Reduksi Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Penarikan Kawat Baja Aisi 1006,” *Mach. J. …*, vol. 5, no. 1, 2024, [Online]. Available: https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/machinery/article/view/7327
[16] ASTM A532/A532M-19, *Standard Specification for Abrasion-Resistant Cast Irons*, ASTM International, 2019.
[17] S. Prakash, *Wear-Resistant Cast Irons*, ASM International, 2011.
[18] G. L. F. Powell and J. R. Davis, “High-chromium white cast irons,” *ASM Handbook Vol. 1*, ASM International, 2018.
[19] K. H. Zum Gahr, *Microstructure and Wear of Materials*, Elsevier, 2017.