

Pengaruh Perlakuan Panas *Tempering* Terhadap Laju Keausan, Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Karbon ST 60

Erwin^a, Zuldesmi^{b*}, Yohanis Rampo^c

^aTeknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Manado, 082293138121, erwinpatandean17@gmail.com

^bDosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Manado *zuldesmi@unima.ac.id

^cDosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Manado, yohanisrampo@unima.ac.id

ABSTRACT

The purpose of this research is to ascertain how heat tempering affects the microstructure, hardness, and wear rate of carbon steel ST 60. The mechanical properties tested in this study were hardness using the Vickers method and wear rate using a tester with pen on disk. Tempering temperature variations used are 200°C, 300°C and 400°C. The hardness test obtained in this study was the higher the tempering temperature, the lower the hardness value, the highest hardness value was obtained at 200°C at 611.57 HV. The wear rate test in this study was that the higher the annealing temperature, the higher the wear rate value, so that the wear resistance was lower, the highest wear rate value was obtained at 400°C of 2,887 mm³/m. In testing, the microstructure of ST 60 steel after the tempering process consisted of ferrite and pearlite phases with the composition of the pearlite phase predominating. However, the composition of the pearlite phase decreased with increasing temperature. This causes a decrease in hardness values at high temperatures.

Keywords: ST 60, temperature, tempering, hardness, wear rate, microstructure.

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh heat tempering terhadap struktur mikro, kekerasan, dan laju keausan baja karbon ST 60. Sifat mekanik yang diuji pada penelitian ini adalah kekerasan dengan menggunakan alat uji metode *vickers*, dan laju keausan menggunakan alat uji tipe *pin on disk*. Variasi temperatur *tempering* yang digunakan yaitu 200°C, 300°C dan 400°C. Untuk pengujian kekerasan yang diperoleh pada penelitian ini yaitu semakin tinggi temperatur tempering maka nilai kekerasan menurun, nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada temperatur 200°C sebesar 611,57 HV. Pengujian laju keausan dalam penelitian ini adalah semakin tinggi temperatur tempering maka nilai laju keausan meningkat sehingga ketahanan ausnya semakin rendah, nilai laju keausan tertinggi diperoleh pada temperatur 400°C sebesar 2,887 mm³/m. Pada pengujian struktur mikro baja ST 60 setelah proses temper terdiri atas fasa ferit dan perlit dimana komposisi fasa perlit lebih mendominasi. Namun komposisi fasa perlit mengalami penurunan seiring meningkatnya temperatur. Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan nilai kekerasan pada temperatur tinggi.

Kata kunci: ST 60, Temperatur, *Tempering*, Kekerasan, Laju Keausan, Struktur Mikro

PENDAHULUAN

Kebutuhan manusia pada masa kini sangatlah semakin tinggi di berbagai bidang termasuk pada bidang material. Logam merupakan material yang banyak

dipergunakan di bidang konstruksi mesin serta juga struktur permesinan (Murjito, 2022).

Salah satu jenis logam yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah baja. Baja dengan kandungan karbon sedang banyak digunakan dalam industri

(Jeffri, M., 2022). Baja dengan kandungan karbon antara 0,30% dan 0,60% C dikenal sebagai baja karbon sedang. Baja ini dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi, antara lain untuk kebutuhan industri kendaraan, roda gigi, pegas, dan sebagainya (Murtiono, 2012). Alasan baja karbon menengah banyak dipergunakan pada bidang industri karena baja karbon menengah memiliki sifat yang dapat dimodifikasi, ulet (ductile) serta tangguh (toughness) (Marpaung, 2017). Baja ST 60 merupakan salah satu jenis baja karbon sedang (Ahmad Fadillah, 2019). Jenis baja yang dikenal sebagai ST 60 yang tergolong baja karbon sedang, dan mempunyai kandungan karbon sekitar 0,4% C (Farhan, 2021). Pengaplikasian dari baja karbon menengah ST 60 banyak ditemui pada bidang industri, yang dimana baja ST 60 dipergunakan sebagai bahan pembuatan roda gigi, alat-alat pertanian, poros, gandar serta bagian-bagian konstruksi pemesinan dan komponen otomotif lainnya (Aziza, 2017). salah satu penggunaan baja ST 60 dapat ditemukan pada pembuatan roda gigi (Rosandi, 2021). Roda gigi merupakan salah satu komponen penting pada sebuah mesin yang berputar guna untuk mentransmisikan daya menggunakan gigi-gigi yang saling bersinggungan (Alfauzi, 2019). Kegagalan material yang biasa terjadi pada roda gigi yaitu mengalami kebisingan dari roda gigi, roda gigi aus, dan kepala roda gigi patah (Pradika, 2018). Keausan yang terjadi pada roda gigi diakibatkan oleh gesekan yang terjadi pada pembebanan dan gerakan, karena roda gigi akan terus menerus berputar menyebabkan roda gigi lama-kelamaan akan menjadi aus (Raharja, 2018). Baja karbon sedang memiliki kelemahan yaitu pada sifat keuletan, sifat mampu bentuk, kekerasan, kerapuhan, dan sifat mekanik lainnya (Lelawati, 2022). Sedangkan material yang diperlukan pada komponen roda gigi adalah material yang memiliki sifat yang keras serta laju keausannya rendah. Proses perlakuan

panas dapat mengubah atau meningkatkan sifat mekanik material baja (Syamsuir, 2022).

Menurut Handoyo (2015), perlakuan panas quenching, dimana material dipanaskan hingga mencapai batas austenit kemudian didinginkan secara cepat melalui media pendingin seperti air, minyak, atau brine sehingga fasa austenit sebagian berubah menjadi martensit. struktur, dapat digunakan untuk meningkatkan sifat kekerasan material. Material yang telah diquenching pada umumnya memiliki sifat mekanik yang keras namun memiliki sifat yang getas. salah satu cara untuk memperbaiki atau menghilangkan sifat kegetasan suatu material dapat dilakukan proses perlakuan panas lanjutan *tempering*. Proses perlakuan panas tempering dilakukan dengan maksud untuk mendapatkan nilai ketahanan aus yang tinggi pada material baja (Andriansyah, 2018). Tujuan perlakuan panas quenching adalah untuk memperbaiki sifat kekerasan baja yang akan dipengaruhi oleh media pendingin yang digunakan (Sari, 2021).

Seperti yang telah diuraikan bahwa perlakuan panas pada material akan mengalami perubahan sifat mekaniknya akibat adanya perubahan struktur mikro pada material tersebut untuk mengetahui pengaruhnya maka akan dilakukan pengujian kekerasan dan pengujian laju keausan pada material baja karbon ST 60. Material yang telah mengalami perlakuan panas cenderung mengalami perubahan struktur mikronya, oleh sebab itu pengujian untuk menentukan ukuran butir, distribusi fase, dan adanya inklusi (pengotor) dalam logam, metalografi sangat penting.

METODE

A. Jenis Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas *tempering* terhadap laju keausan, kekerasan, dan struktur mikro baja karbon ST 60 dengan menggunakan metode eksperimen.

B. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan sejak dikeluarkannya surat ijin survey penelitian di Laboratorium Metalurgi Fisik Universitas Hasanuddin Makassar.

C. Persiapan Spesimen Uji Laju Keausan dan Uji Kekerasan

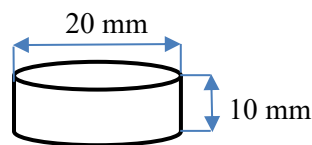
Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon AISI ST 60 dengan komposisi kimia sebagai berikut:

Tabel 1. Standar Komposisi Baja Karbon ST 60

Unsur	Berat (%)
C	0,4730
Si	0,2742
S	0,0034
P	0,0014
Mn	0,7100
Ni	0,0089
Cr	0,0291
Mo	0,0022

1. Spesimen Uji Laju Keausan

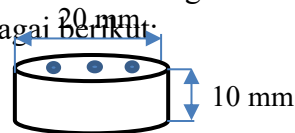
Pada pengujian laju keausan menggunakan alat uji *pin on disk* dengan spesimen dibuat menggunakan standar ASTM G99-04 dengan bentuk dan ukuran berikut ini:



Gambar 1. Bentuk dan ukuran spesimen uji laju keausan

2. Spesimen Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan alat uji *vickers* dan spesimen dibuat menggunakan standar ASTM E92 dengan bentuk dan ukuran sebagai berikut:



Gambar 1. Bentuk dan ukuran spesimen uji Kekerasan

D. Peralatan

Pada penelitian ini menggunakan beberapa alat antara lain:

1. Tungku Pemanas
2. Alat Uji Kekerasan Vickers

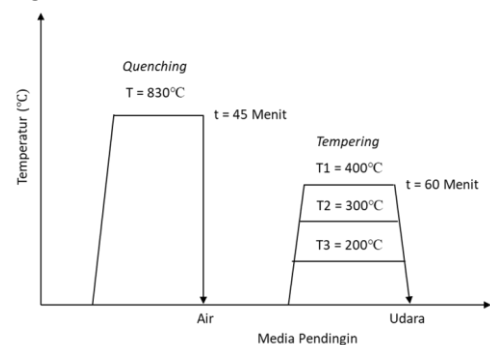
3. Alat Uji Laju Keausan (Pin On Disk)
4. Mikroskop Optik
5. Amplas
6. Etsa

E. Prosedur Perlakuan Panas

Prosedur perlakuan panas dilakukan sebagai berikut dalam penelitian ini:

1. Spesimen dimasukkan kedalam tungku pemanas
2. Pemanasan spesimen pada suhu temperatur *Quenching* (TQ) = 830°C
3. Waktu penahanan selama $t = 45$ menit
4. Material yang telah dipanaskan kemudian dilakukan pendinginan celup cepat dengan menggunakan media air
5. Setelah dilakukan proses *quenching*, akan dilanjutkan dengan perlakuan panas *tempering* dengan memvariasikan temperatur yaitu 200°C, 300°C dan 400°C dengan waktu penahanan selama 1 jam
6. Material yang telah dilakukan perlakuan panas *tempering* selanjutnya didinginkan di udara terbuka.

Prosedur perlakuan panas disajikan pada pada gambar 3 dibawah ini:



Gambar 3. Prosedur Perlakuan Panas

F. Prosedur Pengujian

1. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan alat uji *vickers*, menggunakan 3 titik pada spesimen uji dengan prosedur sebagai berikut:

1. Memotong spesimen dengan ukuran:
 - a. Diameter : 20 mm
 - b. Ketebalan : 10 mm
2. Meratakan permukaan material

3. Mengamplas spesimen menggunakan amplas mesh 7000
4. Material yang akan diuji kekerasan yaitu material yang tanpa perlakuan panas, dan *tempering*
5. Melakukan uji kekerasan *vickers* dengan pembebanan sebesar 225 gram
6. Pengambilan data

2. Pengujian Laju Keausan

Untuk pengujian laju keausan pada penelitian ini menggunakan alat uji *pin on disk* dengan prosedur sebagai berikut:

1. Memotong spesimen dengan ukuran:
 - a. Diameter : 20 mm
 - b. Ketebalan : 10 mm
2. Memasang amplas pada alat uji
3. Menempelkan spesimen pada beban alat uji
4. Meratakan spesimen menggunakan alat uji keausan sampai membentuk alur
5. Pengujian laju keausan dilakukan dengan waktu pengausan selama 30 detik
6. Memberikan pembebanan sebesar 255 gram
7. Membersihkan spesimen dengan menggunakan *wave cleaner* yang telah diberi cairan aceton selama kurang lebih 3 menit
8. Keluarkan spesimen dan gunakan *hair dryer* untuk mengeringkan spesimen
9. Menimbang berat awal spesimen
10. Menempelkan spesimen pada beban alat uji dengan berat sesuai yang diinginkan
11. Melakukan pengujian keausan
12. Melepaskan spesimen pada beban kemudian membersihkan kembali spesimen dengan *wave cleaner*
13. Menimbang berat akhir spesimen

3. Pengujian Metalografi

Proses untuk pengujian metalografi adalah sebagai berikut:

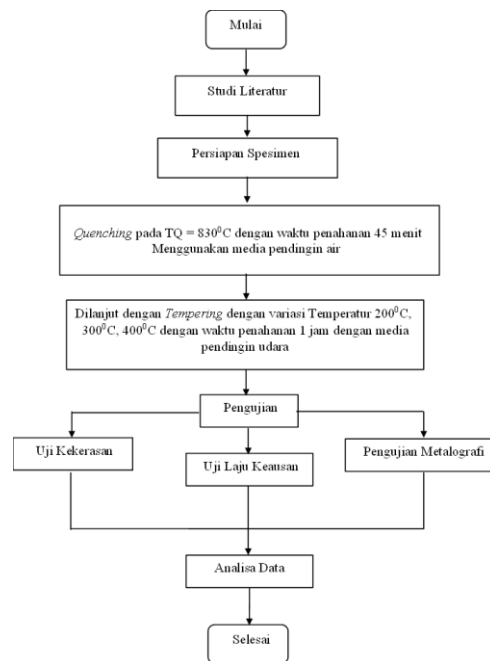
1. Pemotongan, untuk mengetahui cara pemotongan sampel dan memilih metode pemotongan yang tepat dalam pengambilan sampel metalografi untuk mendapatkan spesimen yang representatif.
2. Menempatkan sampel pada media agar lebih mudah menangani sampel kecil dan

tidak beraturan tanpa merusaknya dikenal sebagai pemasangan.

3. Dengan menggunakan kertas amplas nomor, gosok benda uji untuk menghaluskan, meratakan, dan menggiling permukaan benda uji 400, 800, 1000, 1500, 2000, 3000, 5000, 7000.
4. Pemolesan, juga dikenal sebagai pemolesan, adalah proses menghilangkan penyimpangan dari spesimen hingga bersih dan bebas dari cacat, menghasilkan permukaan sampel yang seperti cermin, halus, dan bebas goresan yang menyerupai kaca.
5. Dengan menggunakan mikroskop optik, proses etsa terlebih dahulu dilakukan pada spesimen dengan larutan Nital Etching 3% untuk mengamati dan mengidentifikasi detail struktur logam.

G. Diagram Alir

Pada penelitian ini untuk gambar 4 dapat dilihat diagram alir penelitian:



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

1. Hasil Pengujian Kekerasan

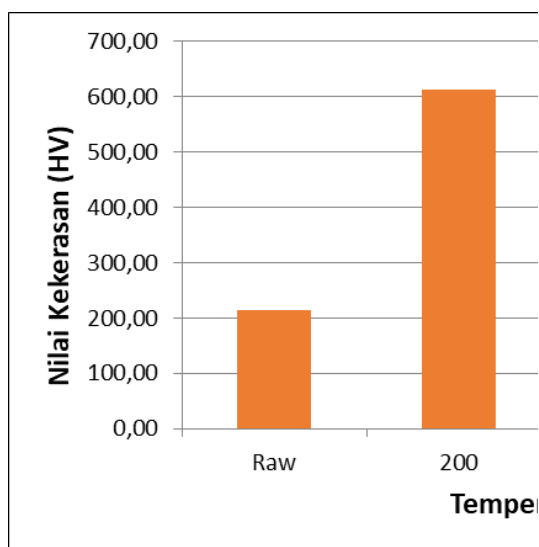
Bergantung pada kondisi perlakuan panas yang digunakan, berbagai nilai kekerasan

diperoleh selama uji kekerasan. Tabel berikut berisi hasil pengujian:

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan ST 60

Jenis Perlakuan	Temperatur (°C)	Spesi
Raw		2
Tempering	200	63
	300	43
	400	40

Nilai kekerasan yang telah dihitung akan dirata-rata sehingga dapat diketahui nilai kekerasan tertinggi spesimen pada setiap perlakuan sebagai berikut:



Gambar 5. Grafik pengaruh variasi temperatur *tempering* terhadap kekerasan baja karbon ST 60

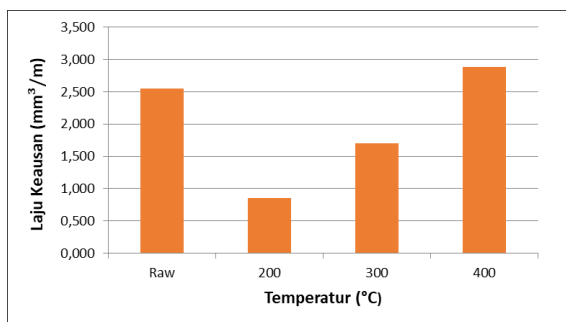
Grafik tersebut menunjukkan bahwa raw material (spesimen yang belum dipanaskan) memiliki nilai kekerasan sebesar 213,00 HV. Kemudian, nilai kekerasan mengalami peningkatan yang signifikan setelah dilakukan proses *quenching* yang diikuti *tempering*. Namun nilai kekerasan cenderung mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya temperatur *tempering*. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada temperatur temper 200°C sebesar 611,57 HV, yang diikuti pada temperatur 300°C nilai kekerasan sebesar 432,43 HV dan temperatur 400°C nilai kekerasan sebesar 398,40 HV. Oleh karena itu, dapat dituliskan bahwa nilai kekerasan material ST 60 menurun secara proporsional dengan temperatur *tempering*.

2. Hasil Pengujian Laju Keausan

Tabel 3. Hasil pengujian laju keausan baja karbon ST 60 dapat dilihat pada tabel berikut:

Temperatur (°C)	Spesimen	Berat Awal (gr)	Berat Akhir (gr)	Kehilangan Berat (gr)
Raw	1	46,450	46,440	0,010
	2	46,444	46,436	0,008
	3	46,412	46,400	0,012
200	1	45,604	45,600	0,004
	2	45,598	45,595	0,003
	3	45,595	45,592	0,003
300	1	44,766	44,760	0,006
	2	44,764	44,757	0,007
	3	44,757	44,750	0,007
400	1	44,603	44,590	0,013
	2	44,585	44,575	0,010
	3	44,214	44,203	0,011

Hasil pengujian digambarkan dalam gambar grafik berikut untuk memudahkan analisis pengaruh variasi temperatur tempering terhadap laju keausan baja karbon ST 60:



Gambar 6. Laju Keausan Baja Karbon ST 60 Sebagai Fungsi Suhu Temper Dalam Grafik

Dari gambar dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya temperatur temper, maka laju keausan semakin meningkat. Laju keausan tertinggi diperoleh pada temperatur temper 400°C senilai 2,887 mm³/m dan laju keausan terendah pada temperatur 200°C sebesar 0,849 mm³/m. Semakin rendah laju keausan suatu material menunjukkan semakin tingginya ketahanan aus material tersebut.

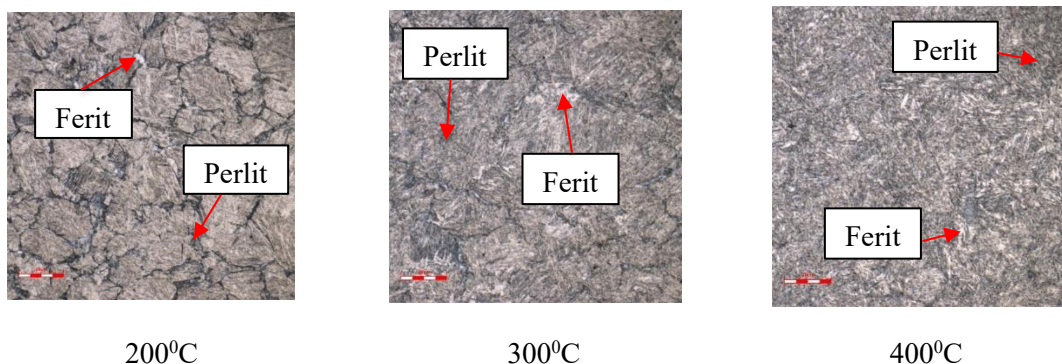
3. Hasil Uji Struktur Mikro

Gambar 7 menunjukkan bahan baku saat digunakan:



Gambar 7. Struktur mikro raw material

Struktur mikro setelah temper pada variasi temperatur dapat dilihat pada gambar 8 berikut:



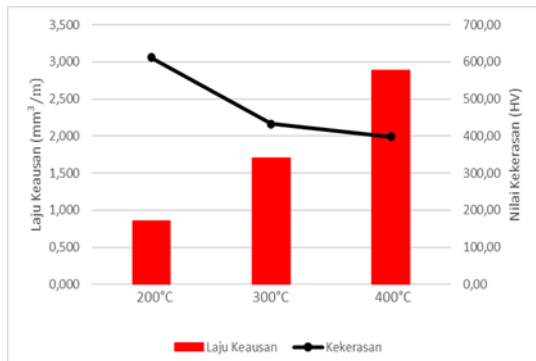
Gambar 8. Pengamatan struktur mikro ST 60 pada variasi temperatur temper

Pada temperatur 200°C struktur yang terbentuk adalah perlit dan ferit, dimana fasa perlit mendominasi. temperatur 300°C membentuk fasa ferit dan perlit yang didominasi oleh fasa perlit dengan

ukuran butirnya yang terdistribusi merata, pada temperatur 400°C fasa yang terbentuk adalah fasa perlit dan ferit yang didominasi oleh fasa ferit, fasa perlit menyebabkan nilai kekerasan menurun sehingga laju keausan meningkat.

B. PEMBAHASAN

Hubungan antara laju keausan, kekerasan dengan variasi temperatur tempering baja karbon ST 60 pada gambar 9 dibawah ini:



Gambar 9. Grafik hubungan antara laju keausan, kekerasan dengan variasi temperatur *tempering* baja karbon ST 60

Pengujian kekerasan yang dilakukan dengan memvariasikan temperatur temper terjadi peningkatan nilai kekerasan dibandingkan raw material, temperatur dan struktur mikro berpengaruh terhadap peningkatan nilai kekerasan; suhu yang lebih rendah menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi (Redy Rizky Santoso, 2018), nilai kekerasan tertinggi pada variasi temperatur tempering 200°C sebesar 611,57 HV, diikuti pada temperatur 300°C sebesar 432,43 HV untuk nilai kekerasan terendah didapatkan pada temperatur 400°C.

Hubungan antara ukuran butir dan kekerasan berbanding terbalik, di mana semakin kecil ukuran butir, semakin keras material dan peningkatan ketahanan aus yang dilampaui oleh tahap perlit (Arief Murtiono, 2012).

Hasil pengujian laju keausan dengan variasi temperatur tempering spesimen uji mengalami peningkatan nilai laju keausan pada temperatur 400°C dibandingkan raw material, variasi temperatur temper berpengaruh terhadap ketahanan aus material dengan naiknya temperatur temper maka ketahanan aus spesimen menjadi menurun penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Syamsuir, (2022). Gambar 9 menunjukkan bahwa ketahanan aus lebih tinggi karena tingkat keausan terendah dan nilai kekerasan tertinggi dicapai pada suhu 200°C. Nilai laju keausan meningkat seiring dengan temperatur tempering sehingga ketahanan ausnya menurun (Robi Cahyadi, 2019).

Temperatur *tempering* mempengaruhi terbentuknya fasa pada material dimana pada penelitian ini semakin rendah temperatur temper, komposisi fasa perlit semakin meningkat. Meningkatnya fasa perlit membuat material semakin keras karena sifat dari material yang didominasi oleh fasa perlit memiliki karakteristik keras (Siahaan, E., 2022).

KESIMPULAN

Mengingat hasil yang telah diperoleh tentang dampak terapi perawatan intensitas pada laju keausan, kekerasan primer dan struktur mikro baja karbon ST 60 dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Tempering berpengaruh nyata terhadap nilai kekerasan, dengan kekerasan tertinggi pada suhu 200°C sebesar 611,57 HV dan terendah pada suhu 400°C sebesar 398,4 HV.

2. Semakin tinggi temperatur temper maka semakin tinggi laju keausan, nilai laju keausan tertinggi diperoleh pada temperatur 400⁰C sebesar 2,887 mm³/m dan terendah pada temperatur 200⁰C sebesar 0,849 mm³/m.
3. Setelah dilakukan tempering, struktur mikro baja ST 60 terdiri dari fasa perlit dan ferit, dengan komposisi fasa perlit yang mendominasi. Namun komposisi fasa perlit mengalami penurunan seiring meningkatnya temperatur. Hal ini menyebabkan terjadinya penurunan nilai kekerasan pada temperatur tinggi.
4. Kekerasan, laju keausan dan struktur mikro yang optimal diperoleh pada temperatur 200⁰C.

DAFTAR PUSTAKA

- Ababil, A. (2022). Analisa Pengaruh Panas (Tempering) Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Aisi 4140 (Doctoral Dissertation, Universitas Bung Hatta).
- Alfauzi, A. S. (2019). Pembuatan Roda Gigi dari Bahan Serbuk Logam Tembaga dan Aluminium dengan Proses Kompaksi. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 14(3), 121-127.
- Andriansyah, (2018). Pengaruh Variasi Media Pendingin Pada Proses Quenching Terhadap Struktur Mikro Dan Keausan Pahat Baja Karbon Medium (Doctoral dissertation, Sriwijaya University).
- Aziza, Y. (2017). Pengaruh kadar garam dapur (NaCl) dalam media pendingin terhadap tingkat kekerasan pada proses pengerasan baja ST-60. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 1(1), 18-25.
- Cahyadi, R. (2019). Analisis Laju Keausan Baja Suj2 Hasil Variasi Temperatur Tempering Untuk Aplikasi Ball Bearing. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 7(2), 79-86.
- Farhan, F. (2021). Pengaruh Temperatur Pemanasan (Austenisasi) Perlakuan Panas Quenching Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja St 60. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 5(1), 1-7.
- Fhadillah, A. (2019). Analisa Sifat Mekanis Baja ST 60 Setelah Carburizing Menggunakan Arang Batok Katalis BaCO₃ Dan Quenching Dengan Oli Dan Air garam. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7(1).
- Handoyo, Y. (2015). Pengaruh quenching dan tempering pada baja jis grade S45C terhadap sifat mekanis dan struktur mikro crankshaft. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 3(2), 102-115.
- Jefri, M. (2022). Analisis Perubahan Sifat Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Aisi 1045 Yang Mengalami Normalizing Pada Temperatur Tinggi (Doctoral dissertation, 021008 Universitas Tridianti Palembang).
- Lelawati, L. (2022). Pengaruh Pemanasan Dan Quenching Dengan Air Laut Terhadap Struktur Mikro Baja Karbon Sedang. *Jurnal Redoks*, 7(1), 62-72.
- Marpaung, (2017). Analisa Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik Baja Karbon Sedang Aisi 1045 Pasca Pengelasan Menggunakan Las Listrik (Doctoral dissertation, Universitas Islam Riau).
- Murjito, M. (2022,). Efek Hoding Time Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Baja ST 60. In *Seminar Keinsinyuran Program Studi Program Profesi Insinyur* (Vol. 3, No. 1).
- Murtiono, A. (2012). Pengaruh quenching dan tempering terhadap kekerasan dan kekuatan tarik serta struktur mikro baja karbon sedang untuk mata pisau pemanen sawit. *e-Dinamis*, 2(2).
- Panggabean, C. W., (2021). Pengaruh Variasi Arus Dan Polaritas Terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk dan Kekerasan Hasil Las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Pada Baja SS 400. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 9(4).
- Pradika, E. F. (2018). Diagnosis Kerusakan Roda Gigi dengan Metode Ensemble Emperical Mode Decomposition (EEMD). *Rotasi*, 20(4), 207-213.
- Raharja, B. S. (2018). Analisa Keausan Roda Gigi Lurus Secara Mikroskopik Dengan Variasi Beban. *Jurnal Teknik Mesin Transmisi*, 14(2), 299-305.

- Rosandi, A. (2021). Analisis Variasi Kecepatan Potong Dan Kedalaman Potong Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan Dan Getaran Pada Pembubutan Silindris Material Baja ST 60. *Jurnal Inovasi Mesin*, 3(1), 1-12.
- Samudra, (2022). Analisis Beda Variasi Temperatur Pemanasan Terhadap Kekerasan Pada Baja St 42 (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Malang).
- Santoso, R. R., Rochiem, R., & Jatimurti, W. (2018). Analisis Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Tempering Terhadap Kekerasan Material Chain Shackle yang di-Hardening sebagai Solusi Kegagalan pada Chain Shackle. *Jurnal Teknik ITS*, 7(1), F96-F101.
- Sari, D. P. (2021). Pengaruh Variasi Media Pendingin Quenching Terhadap Kekerasan Baja Aisi 1045 (Doctoral dissertation, Sriwijaya University).
- Septiyanto, (2022). Analisis kekerasan dan keausan bearing pada pesawat Cessna Grand Carravan 208B. Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 11(1).
- Siahaan, E., & Rosehan, R. (2022). Pengaruh Temperatur Hardening dan Tempering Baja AISI 4140 terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro. *Syntax Literate; Jurnal Ilmiah Indonesia*, 7(6), 7180-7192.
- Syamsuir, (2022). Karakteristik Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Karbon Sedang Paska Perlakuan Panas Tempering. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 7(1).
- Wijaya, (2020). Perancangan Mesin Polish Sederhana Untuk Proses Metalografi (Doctoral dissertation, Sriwijaya University).
- Zamroji, M. (2018). Analisa pengaruh heat treatment (hardening) terhadap sifat mekanik dan struktur mikro besi cor nodular (fcd 60).