

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR *QUENCHING* DAN MEDIA PENDINGIN OLI PADA MATERIAL BAJA AISI 4140 TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO

Dwi Rahman Novianto

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: dwi.18007@mhs.unesa.ac.id

Novi Sukma Drastiawati

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: novidrastiawati@unesa.ac.id

Abstrak

Keausan merupakan suatu kerusakan pada penampang atau permukaan material. Salah satu komponen mesin yang sering mengalami keausan dikarenakan cara kerjanya bergesekan secara terus-menerus yaitu poros engkol. Poros engkol adalah sebuah bagian pada mesin yang mengubah gerak vertikal / horizontal dari piston menjadi gerak rotasi. Poros engkol yang aus dapat menyebabkan mesin mengeluarkan suara berisik, cepat panas, bahkan menyebabkan mesin mati. Untuk mengatasi terjadinya keausan pada poros engkol yaitu dengan cara meningkatkan sifat kekerasan pada material. Material baja AISI 4140 adalah jenis baja yang digunakan dalam pembuatan poros engkol. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen untuk mengetahui nilai kekerasan material serta mengetahui fasa akhir yang terbentuk setelah dilakukan proses *quenching* dengan memvariasikan temperatur pemanasan (850°C, 900°C, dan 950°C) dengan *holding time* 30 menit dan media pendingin berupa oli SAE 5W-30, oli SAE 10W-40, dan oli SAE 15W-50. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan *rockwell* dan alat uji metalografi. Berdasarkan analisis data pengujian kekerasan dan pengujian metalografi, maka dapat disimpulkan bahwa hasil uji kekerasan *raw material* sebesar 29,1 HRC mengalami peningkatan tertinggi setelah dilakukan perlakuan sebesar 42,8 HRC dengan temperatur 950°C menggunakan media pendingin oli SAE 5W-30. Untuk hasil metalografi *raw material* memiliki fasa perlit dan ferit sedangkan setelah dilakukan perlakuan fasa perlit lebih dominan dibandingkan fasa ferit dan mulai terbentuknya fasa martensit di bagian tepi yang memiliki sifat keras.

Kata Kunci: Poros engkol, kekerasan, Viskositas oli, Metalografi, AISI 4140

Abstract

Wear is damage to the cross-section or surface of a material. One of the engine components that often experiences wear due to its continuous friction is the crankshaft. The crankshaft is a part of the engine that converts the vertical / horizontal motion of the piston into rotational motion. A worn crankshaft can cause the engine to make a noisy sound, heat up quickly, and even cause the engine to die. To overcome wear on the crankshaft, namely by increasing the hardness of the material. AISI 4140 steel material is the type of steel used in making crankshafts. The method used in this study uses an experimental research method to determine the hardness value of the material and to determine the final phase formed after the quenching process by varying the heating temperature (850°C, 900°C, and 950°C) with a holding time of 30 minutes and cooling media in the form of SAE 5W-30 oil, SAE 10W-40 oil, and SAE 15W-50 oil. Testing was carried out using a Rockwell hardness tester and a metallographic tester. Based on the analysis of hardness test data and metallographic testing, it can be concluded that the raw material hardness test results of 29.1 HRC experienced the highest increase after treatment of 42.8 HRC with a temperature of 950°C using SAE 5W-30 oil cooling media. For the raw material metallography results, it has pearlite and ferrite phases, while after treatment, the pearlite phase is more dominant than the ferrite phase and the martensite phase begins to form at the edge which has hard properties.

Keywords: Crankshaft, Hardness, Oil viscosity, Metallography, AISI 4140

PENDAHULUAN

Jumlah kendaraan di Indonesia mencapai 120.042.298 unit pada tahun 2021, menurut badan pusat statistik. Jumlah tersebut akan terus meningkat karena kebutuhan akan transportasi publik. Pin piston, piston, dan poros engkol adalah contoh komponen yang sering dijumpai pada mesin yang fungsi kerjanya bergesekan terus menerus. Permukaan komponen mengalami korosi, yang membuatnya mudah rusak (Saputro, Setyadi, & Wibowo, 2017). Selain memastikan bahwa suku cadang tersedia, mesin motor harus diservis secara teratur untuk menjaga kinerjanya (Sampurna & Kaelani, 2016).

Poros engkol, juga disebut crankshaft, adalah bagian mesin yang memiliki kemampuan untuk mengubah gerak piston dari vertikal ke horizontal atau rotasi (Suherman, Surja, & Sitorus, 2018). Poros yang digunakan untuk putaran tinggi dan beban berat biasanya terbuat dari baja paduan, seperti krom-molibdenum atau baja AISI 4140 (Helmiansyah, 2016).

Baja paduan kromium – molibdenum diketahui banyak digunakan dalam industri otomotif karena sifat pengerasannya yang unggul dan kekuatan yang tinggi (Ozbek, 2020). Baja AISI 4140, yang merupakan baja paduan menengah, memiliki komposisi kimia sebagai

berikut: C (0.38 – 0.43 %), Mn (0.75 – 1.00 %), Si (0.20 – 0.35 %), Cr (0.80 – 1.10 %), Mo (0.15 – 0.25 %), P (\leq 0.035 %) dan S (\leq 0.04 %) (Sukarno & Azis, 2023).

Perlakuan panas membuat baja lebih tahan terhadap tekanan dan gesekan (Haryadi, Utomo, & Ekaputra, 2021). Quenching adalah jenis perlakuan panas (heat treatment) yang dilakukan dengan menggunakan media pendingin cair seperti air, oli, atau minyak. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kekerasan bahan (Farhan, Bukhari, Hamdani, Yusuf, & Zuhaimi, 2021).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Sampurna & Kaelani, 2016), yang mana pada penelitian ini komponen – komponen pada sepeda motor yang materialnya menggunakan baja karbon sedang sangat tepat dilakukan proses *quenching*. Perawatan quenching adalah salah satu cara untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus. Kekerasan menunjukkan sifat keuletan dan laju keausan yang lebih rendah.

Studi (Nugroho dkk., 2019) menemukan bahwa suhu perlakuan panas sangat memengaruhi nilai kekerasan karena pembentukan martensit terjadi saat baja dipanaskan sampai titik austenit dan kemudian didinginkan dengan cepat dengan kecepatan yang lebih tinggi daripada kecepatan pendinginan kritis. Laju pendinginan struktur martensit hasil transformasi austenit dipengaruhi oleh media pendingin yang digunakan. Sifat mekanik yang lebih baik setelah pengobatan panas akan ditunjukkan oleh martensit ini. Selain mempengaruhi sifat mekanis, media pendingin juga dapat mempengaruhi sifat fisis. Tidak seragamnya suhu larutan pendingin menyebabkan cracking, distorsi, dan ketidakseragaman kekerasan selama proses quenching spesimen.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana nilai kekerasan berubah pada paduan baja dan berapa banyak unsur kandungan yang ada pada baja yang telah melalui perawatan panas. Oleh karena itu, penulis memilih judul “Pengaruh Variasi Temperatur *Quenching* dan Media Pendingin Oli Pada Material Baja AISI 4140 Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro.”

METODE

Penelitian eksperimental menggunakan metode kuantitatif. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan struktur dan kekerasan mikro baja AISI 4140 saat dipanaskan dengan berbagai suhu dan media pendinginan oli.

Eksperimen ini menggunakan desain faktorial 3x3, di mana faktor T merupakan perlakuan dengan tiga tingkat, yaitu suhu pemanasan proses quenching pada 850°C, 900°C, dan 950°C. Sementara itu, faktor A adalah media pendingin berupa oli dengan spesifikasi SAE 5W-30, SAE 10W-40, dan SAE 15W-50. Kombinasi dari kedua faktor T dan A menghasilkan sembilan kombinasi perlakuan, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Desain eksperimen penelitian

PERLAKUAN	MEDIA PENDINGIN		
	A ₁	A ₂	A ₃
T ₁	T ₁ A ₁	T ₁ A ₂	T ₁ A ₃
T ₂	T ₂ A ₁	T ₂ A ₂	T ₂ A ₃
T ₃	T ₃ A ₁	T ₃ A ₂	T ₃ A ₃
<i>RAW MATERIAL</i>			

Keterangan :

- T₁ A₁ = Temperatur 850 °C dengan media pendingin oli SAE 5W-30
- T₁ A₂ = Temperatur 850 °C dengan media pendingin oli SAE 10W-40
- T₁ A₃ = Temperatur 850 °C dengan media pendingin oli SAE 15W-50
- T₂ A₁ = Temperatur 900 °C dengan media pendingin oli SAE 5W-30
- T₂ A₂ = Temperatur 900 °C dengan media pendingin oli SAE 10W-40
- T₂ A₃ = Temperatur 900 °C dengan media pendingin oli SAE 15W-50
- T₃ A₁ = Temperatur 950 °C dengan media pendingin oli SAE 5W-30
- T₃ A₂ = Temperatur 950 °C dengan media pendingin oli SAE 10W-40
- T₃ A₃ = Temperatur 950 °C dengan media pendingin oli SAE 15W-50
- *Raw material* = Bahan mentah atau tanpa perlakuan

Waktu dan Tempat Penelitian

- Waktu Penelitian
Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 1 Mei 2024 – 30 Juni 2024.
- Tempat Penelitian
Studi ini dilakukan di beberapa lokasi, seperti
 - Spesimen dibuat di salah satu bengkel di Sidoarjo.
 - Di Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya (UNESA), Laboratorium Pelapisan terletak di Gedung A8, Lantai 3.
 - Di Gedung A6, Lantai 1, Jurusan Teknik Mesin UNESA, pengujian kekerasan dilakukan.
 - Pengujian metalografi dilaksanakan di laboratorium perlakuan dan pengujian bahan POLINEMA

Objek Penelitian

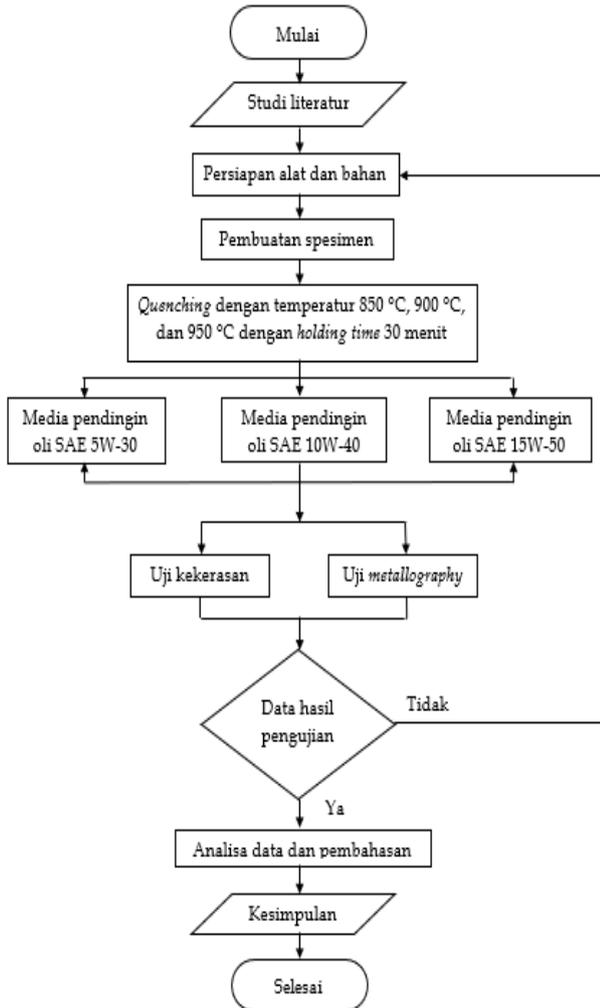
Penelitian ini menggunakan baja AISI 4140 dengan permukaan yang rata berdiameter 25 mm dengan tebal 20 mm.

Variabel Penelitian

- Variabel bebas
Variasi suhu dan media pendinginan oli digunakan sebagai variabel bebas dalam penelitian ini.
Variasi temperatur : 850°C, 900°C, dan 950°C
Variasi media pendingin oli : Oli SAE 5W-30, Oli SAE 10W-40, dan Oli SAE 15W-50

- Variabel terikat
Nilai kekerasan dan struktur mikro adalah variabel penelitian.
- Variabel kontrol
Dalam penelitian ini, variabel kontrol adalah baja AISI 4140 berdiameter 25 milimeter dengan tebal 20 milimeter dan waktu pemanasan selama 30 menit.

Rancangan Penelitian

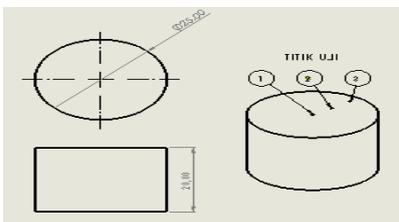


Gambar 1. Diagram alir penelitian

Spesimen penelitian

Spesimen ini terbuat dari baja AISI 4140 dan memiliki dimensi seperti berikut:

- Diameter : 25 mm
- Jari-jari : 12,5 mm
- Tinggi : 20 mm



Gambar 2. Dimensi spesimen

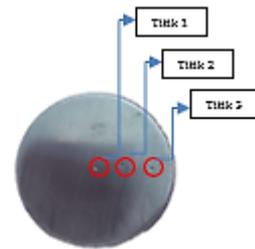
Teknik analisis data

Menurut Sugiyono (2018), Studi ini menggunakan deksriptif asosiatif untuk mengevaluasi hubungan antara dua variabel atau lebih. Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah kondisi data berdistribusi normal setelah data uji kekerasan rockwell diterjemahkan ke dalam diagram batang atau grafik. Uji homogenitas dilakukan untuk memastikan bahwa varian populasi tertentu sama. Ini adalah persyaratan untuk analisis t-test independen. Selain itu, uji T dilakukan untuk mengetahui apakah ada perbedaan yang signifikan antara material tanpa perlakuan, dengan material yang menerima perlakuan panas dengan berbagai tingkat suhu dan media pendingin. Sebaliknya, hasil observasi metalografi akan didokumentasikan dalam bentuk gambar atau foto.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian kekerasan

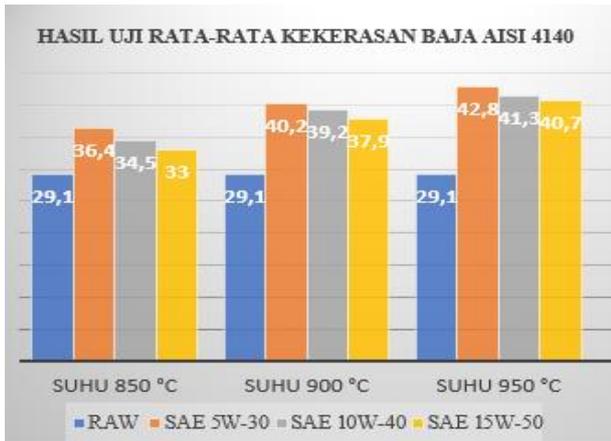
Pada tanggal 20 Juni 2024, Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya memiliki Laboratorium Pengujian Bahan di mana pengujian kekerasan dilakukan. Pengujian ini dilakukan dengan mesin uji kekerasan Rockwell dengan skala HRC.



Gambar 3. Titik uji kekerasan

Tabel 1. Nilai uji kekerasan rockwell

No	Spesimen	Nilai Kekerasan (HRC)			Rata-rata
		1	2	3	
1.	T1A1	35.8	36.2	37.3	36.4 HRC
2.	T1A2	34.3	34.4	35.0	34.5 HRC
3.	T1A3	32.5	33.2	33.3	33.0 HRC
4.	T2A1	40.1	40.2	40.3	40.2 HRC
5.	T2A2	38.9	39.2	39.5	39.2 HRC
6.	T2A3	37.4	37.5	38.9	37.9 HRC
7.	T3A1	42.3	42.7	43.5	42.8 HRC
8.	T3A2	41.0	41.2	41.6	41.3 HRC
9.	T3A3	40.6	40.7	40.8	40.7 HRC
10.	RAW	28.2	27.9	31.3	29.1 HRC



Gambar 4. Grafik hasil uji kekerasan

Grafik perbandingan nilai rata-rata pengujian kekerasan baja AISI 4140 menunjukkan bahwa variasi suhu pemanasan dan media pendinginan oli berdampak pada kekerasan bahan. Nilai kekerasan T3A1 rata-rata 42,8 HRC dan T1A3 rata-rata 33 HRC. Nilai kekerasan bahan baku rata-rata 29,1 HRC.



Gambar 5. Grafik persentase kenaikan hasil uji kekerasan

Menurut penelitian (Herbirowo dkk,2017) Semakin tinggi suhu selama proses pendinginan menyebabkan shock panas dan perawatan panas interkritik, yang menyebabkan pembentukan fasa austenit yang lebih besar. Akibatnya, fraksi volume fasa martensit semakin besar, yang berarti kekerasan meningkat. Nilai viskositas media pendingin oli memengaruhi kekerasan benturan. Nilai densitas yang lebih tinggi pada media pendingin menyebabkan laju pendinginan yang lebih cepat, yang berdampak pada peningkatan tingkat kekerasan baja. Sebaliknya, media pendingin dengan viskositas rendah memiliki kekerasan baja yang lebih rendah.

Pada penelitian (Haryadi dkk,2021) nilai kekerasan akan meningkat seiring bertambahnya suhu pemanasan hal ini disebabkan pada suhu baja yang mengalami full austenit maka butiran martensit menjadi rapat, namun jika suhu pemanasan melebihi yang dianjurkan maka kekerasan akan menurun dan butiran martensit menjadi lebih besar. Menurut penelitian (Prakoso dkk, 2018) nilai kekerasan di daerah tepi lebih besar dibandingkan dengan di daerah

tengah spesimen. Nilai kekerasan di tepi berkisar 45-50 HRC dan nilai kekerasan di tengah berkisar 26-30 HRC. Hal ini terjadi dikarenakan pendinginan secara cepat mengenai bagian terluar spesimen terlebih dahulu.

Dari ketiga variasi temperatur dan media pendingin oli tersebut dapat dilihat bahwa pada spesimen T3A1 memiliki nilai kekerasan tertinggi sebesar 42,8 HRC atau meningkat sekitar 47,07% dari raw material, sedangkan pada spesimen T1A3 memiliki nilai kekerasan terendah sebesar 33,0 HRC atau meningkat sekitar 13,4% dari raw material. Jadi dapat disimpulkan bahwa raw material saja tidak cukup dan harus dilakukan proses perlakuan terlebih dahulu jika diaplikasikan pada poros engkol.

Hasil pengujian metalografi

Pengujian metalografi dilakukan pada hasil quenching pada baja AISI 4140 di Laboratorium Pengujian Bahan Politeknik Negeri Malang. Pengujian ini dilakukan pada permukaan spesimen yang tidak mengalami perlakuan (bahan mentah) dan pada spesimen yang telah mendapatkan perlakuan.



Gambar 6. Proses etsa

Tabel 2. Hasil uji foto mikro perbesaran 1500x & resolusi 20 µm

	SAE 5W-30 (A1)	SAE 10W-40 (A2)	SAE 15W-50 (A3)
850 °C (T1)			
900 °C (T2)			
950 °C (T3)			
RAW			

Pengujian struktur mikro hasil *quenching* terhadap bahan baja AISI 4140 dilakukan pada permukaan spesimen menggunakan standart pengujian ASTM E3. Setelah proses perawatan dengan berbagai variasi temperatur dan media pendingin oli, struktur mikro ferit, perlit, dan martensit terlihat. Fasa ferit berwarna cerah, perlit berbentuk pipih atau berlapis kehitaman, dan fasa martensit berbentuk jarum-jarum pendek, hitam pekat. Permukaan baja AISI 4140 tanpa perlakuan yang dihasilkan dari metalografi mengandung partikel ferit dan perlit yang mendominasi daerah logam induk dan tersebar merata di struktur karena tidak dipengaruhi oleh panas.

Berdasarkan foto mikro pada spesimen yang dilakukan perlakuan menghasilkan fasa perlit, ferit, dan martensit. Pada spesimen T1 fasa perlit lebih dominan dibandingkan fasa ferit dan mulai terbentuknya fasa martensit tetapi saat viskositas oli naik sebagai media pendingin butiran fasa perlit menjadi lebih kecil. Pada spesimen T2 butiran fasa perlit menjadi rapat dan butiran fasa ferit menjadi lebih kecil serta fasa martensit muncul di bagian tepi. Pada spesimen T3 fasa ferit tidak sedominan fasa perlit dan untuk pada pendinginan A1 fasa martensit mulai terbentuk lebih banyak dibandingkan pada temperatur T1 dan T3.

Pada diagram CCT laju pendinginan menggunakan oli terletak pada kurva a dikarenakan menghasilkan fasa martensit. Karena proses pendinginan cepat dan suhu tinggi, martensit berubah. Selama proses ini, endapan austenit tersebar menjadi campuran dua fase yang terdiri dari ferrit dan karbida yang ditekan. Konsentrasi karbon martensit ini sesuai dengan kondisi austenit. Suhu awal martensit (M) adalah suhu di mana austenit berubah menjadi martensit. Martensit dibuat pada suhu tertentu sebelum cepat dingin. Jumlah martensit akan meningkat dengan cepat sebagai akibat dari pembentukan pelat (jarum) baru yang sangat cepat. Pelat awal (jarum) tidak berkembang seiring dengan waktu Ms mengatakan bahwa seiring dengan peningkatan kandungan karbon baja, suhu turun drastis dan bergantung pada paduan. Menurut penelitian (Haryadi dkk 2021) Jumlah martensit yang dihasilkan akan dipengaruhi oleh perbedaan antara komposisi baja dan variasi suhu pemanasan. Untuk meningkatkan sifat mekanik baja, unsur karbon digunakan sebagai pengeras. Perlakuan panas *quenching* dapat meningkatkan kekerasan baja dan menghasilkan struktur mikro martensit.

Fasa martensit akan muncul pada pendinginan oli tetapi tidak sedominan fasa perlit dikarenakan laju pendinginan oli lebih lambat. Hal ini didukung penelitian oleh Prakoso dkk (2018) dengan judul “analisis pengaruh tempering menggunakan pemanas induksi pasca *quenching* dengan media oli pada baja AISI 1045 terhadap struktur mikro dan nilai kekerasan sebagai material pengganti *pin track liner bulldozer*” bahwa persebaran fasa keras martensit lebih dominan berada pada permukaan tepi sedangkan di permukaan dalam masih ada fasa perlit dan ferit.

PENUTUP

Simpulan

Penelitian ini mengungkapkan bahwa kekerasan serta struktur mikro material baja AISI 4140 dipengaruhi oleh

variasi suhu pemanasan dan jenis media pendingin oli yang digunakan. Temuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Nilai kekerasan baja AISI 4140 telah dipengaruhi secara signifikan oleh variasi suhu pendinginan dan media pendinginan oli. Spesimen T3A1 memiliki nilai kekerasan tertinggi sebesar 42,8 HRC.
- Struktur mikro baja AISI 4140 terdiri dari fasa ferit dan perlit. Setelah proses *quenching*, fasa perlit lebih dominan daripada fasa ferit, dan fasa martensit mulai muncul di daerah tepi yang keras. Ini mempengaruhi variasi temperatur *quenching* dan media pendinginan oli.

Saran

Penulis menyarankan bahwa hal-hal berikut dapat digunakan dalam penelitian lebih lanjut berdasarkan hasil penelitian:

- Pada penelitian mendatang, diharapkan temperatur media pendingin tetap konstan dan tidak boleh digunakan dua kali.
- Untuk penelitian di masa depan, disarankan untuk memanfaatkan media pendingin oli dengan tingkat SAE yang lebih tinggi atau menggunakan jenis media pendingin lainnya yang lebih praktis untuk digunakan.
- Diharapkan pada penelitian lebih lanjut disarankan dilakukan pengujian laju keausan dan pengujian impak.

DAFTAR PUSTAKA

- Farhan., Bukhari., Hamdani., Yusuf, I., & Zuhaimi. (2021). Pengaruh Temperatur Pemanasan (Austenisasi) Perlakuan Panas *Quenching* Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja ST 60. *JURNAL MESIN SAINS TERAPAN*, 5(1), 1-7.
- Haryadi, G. D., Utomo, A. F., & Ekaputra, I. M. W. (2021). Pengaruh Variasi Temperatur *Quenching* dan Media Pendingin terhadap Tingkat Kekerasan Baja AISI 1045. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(2), 255-264.
- Herbirowo, S., Saefudin, & Romijarso, T. B. (2017). Pengaruh Variasi Suhu Austenisasi Pada Pembuatan Material Fasa Ganda Baja Laterit. *SEMNASSTEK*, 1-4.
- Helmiyansah. (2016). Analisa Tegangan Pada Crankshaft Suzuki Smash Menggunakan Software Solidwork. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, 5(3), 105-108.
- Nugroho, E., Handono, S. D., Asroni., & Wahidin. (2019). Pengaruh Temperatur dan Media Pendingin pada Proses Heat Treatment Baja AISI 1045 terhadap Kekerasan dan Laju Korosi. *TURBO*, 8(1), 99-110.
- Ozbek, Y. Y., (2020). Surface properties of AISI 4140 Steel Modified By Pulse Plasma Technique. Elsevier, 9(2), 2176-2185.
- Prakoso, D, S, A., Dzulfikar, M., & Purwanto, H. (2019). Analisis Pengaruh Tempering Menggunakan Pemanas Induksi Pasca *Quenching* Dengan Media Oli Pada Baja AISI 1045 Terhadap Struktur Mikro Dan Nilai Kekerasan Sebagai Material Pengganti Pin Track Liner Bulldozer. *Momuntem*, 15(2), 180-184.

- Sampurna, W., & Kaelani, Y. (2016). Studi Eksperimen Proses Tempering Terhadap Kekerasan Permukaan dan Estimasi Keausan. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 685-688.
- Saputro, D., Setiadi, G., & Wibowo, S. (2019). Analisis Pengaruh Waktu Tahan (Holding Time) Terhadap Kekerasan Baja AISI 4140 Dengan Metode Pack Carburizing Media Arang Bambu. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(1), 48-54.
- Sugiyono. (2018). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D* (28th ed.).
- Suherman., Surja, M. Y., & Sitorus, M.K. (2018). Perbandingan Kekerasan Dan Struktur Mikro Material Crank Shaft Sepeda Motor Beberapa Merk. *MEKANIK*, 4(1), 44-47.
- Sukarno, N. A., & Azis, A. (2023). Pengaruh Lapisan Ni-Cr Pada Baja AISI 4140 Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Dengan Plasma Sputtering. *Perwira Journal of Sains & Engineering (PJSE)*, 3(1), 20-24.

