

## **STUDI SIFAT KEKERASAN MATERIAL PEGAS DAUN UNTUK ALAT PERKAKAS TANGAN MELALUI PROSES PENYEPUHAN DENGAN VARIASI WAKTU PENAHANAN**

**Semuel M. J. S. Tuny\***

Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ambon, Kota Ambon, Indonesia

**Victor D. Waas**

Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ambon, Kota Ambon, Indonesia

**Dominggus Battianan**

Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ambon, Kota Ambon, Indonesia

\*E-mail korespondensi: [semueltu45@gmail.com](mailto:semueltu45@gmail.com)

### **ABSTRAK**

*Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi waktu penahanan dalam proses penyepuhan terhadap kekerasan baja pegas daun. Baja pegas daun bekas banyak digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan alat perkakas tangan oleh pandai besi melalui proses penyepuhan. Penyepuhan adalah metode perlakuan panas yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan material. Proses ini dilakukan dengan memanaskan material hingga mencapai suhu tertentu (suhu austenisasi), mempertahankannya dalam waktu tertentu, kemudian mendinginkannya dengan cepat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu penahanan austenisasi, yaitu 30 detik, 40 detik, 45 detik, 50 detik, dan 60 detik terhadap nilai kekerasan material baja pegas daun. Material baja pegas daun diberi perlakuan panas pada suhu austenisasi 900°C, kemudian didinginkan cepat dalam media oli. Uji kekerasan dilakukan menggunakan metode Hardness Rockwell B (HRB). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyepuhan dapat meningkatkan sifat kekerasan material baja pegas daun, namun semakin lama waktu penahanan, semakin menurun pula tingkat sifat kekerasannya. Nilai kekerasan rata-rata tertinggi tercatat pada waktu penahanan 45 detik, yaitu sebesar 121 HRB.*

**Kata Kunci:** Baja pegas daun, penyepuhan, waktu tahan, sifat kekerasan.

### **ABSTRACT**

*A study was conducted to investigate the effect of variation in holding time during the hardening process on the hardness of leaf spring steel. Used leaf spring steel is widely utilized as raw material for the manufacturing of hand tools by blacksmiths through hardening processes. Hardening is a heat treatment method aimed at enhancing the hardness of a material. The hardening process involves heating the material to a specific temperature (austenitizing temperature), holding it for a certain period, and then rapidly cooling it. This study aims to investigate the effect of variations in austenitizing holding time, specifically 30 seconds, 40 seconds, 45 seconds, 50 seconds, and 60 seconds, on the hardness value of leaf spring steel. The leaf spring steel material is subjected to heat treatment at an austenitizing temperature of 900°C, followed by quenching in oil. Hardness testing is performed using the Hardness Rockwell B (HRB) method. The results of the study indicate that hardening can enhance the hardness properties of leaf spring steel; however, as the holding time increases, the hardness level tends to decrease. The highest average hardness value was recorded at a holding time of 45 seconds, with a hardness value of 121 HRB.*

**Keywords:** Leaf spring steel, hardening, holding time, hardness properties.

## 1. PENDAHULUAN

Kemajuan pesat dalam industri manufaktur saat ini menyebabkan meningkatnya permintaan akan material logam sebagai bahan utama dalam pembuatan perkakas tangan. Perkakas tangan adalah alat yang digunakan untuk melakukan pekerjaan secara manual tanpa menggunakan tenaga mesin atau listrik. Perkakas ini biasanya dioperasikan dengan tangan dan digunakan dalam berbagai pekerjaan seperti pemotongan, perbaikan, konstruksi, atau kerajinan. Beberapa contoh perkakas tangan meliputi parang, pisau, palu, obeng, gergaji tangan, kunci inggris, tang, kikir dan sebagainya. Perkakas tangan penting untuk pekerjaan yang membutuhkan ketelitian dan keterampilan, serta sering digunakan dalam kegiatan sehari-hari, bengkel, dll (Rivandi & Irfai, 2013).

Pembuatan perkakas tangan oleh pandai besi tetap bertahan hingga kini meskipun industri manufaktur modern telah berkembang pesat, karena kualitas dan keunikan produk yang dihasilkan. Perkakas buatan pandai besi memiliki ketahanan tinggi, ketepatan yang lebih baik, dan kemampuan untuk disesuaikan dengan kebutuhan spesifik, terutama dalam sektor yang memerlukan perkakas dengan desain atau spesifikasi khusus. Selain itu, teknik tradisional ini dilestarikan sebagai bagian dari warisan budaya dan keterampilan lokal yang telah ada sejak zaman kuno. Meskipun mesin modern lebih efisien dalam produksi massal, nilai estetika dan keahlian manual dalam pembuatan perkakas tangan tetap memberikan keunggulan dalam ketelitian dan presisi, menjadikannya penting bagi sektor-sektor yang membutuhkan alat kerja berkualitas tinggi.

Pemakaian baja pegas daun bekas oleh pandai besi dalam pembuatan alat perkakas tangan merupakan praktik yang menguntungkan dari segi fungsional dan ekonomis. Baja pegas daun, yang memiliki ketahanan tinggi terhadap tekanan dan kekuatan tarik, sering digunakan kembali karena sifat mekaniknya yang unggul, membuatnya ideal untuk perkakas yang memerlukan ketahanan dan ketajaman, seperti pisau, parang, kapak, dll. Dengan memanfaatkan baja bekas, pandai besi dapat mengurangi biaya produksi sekaligus mendukung konsep daur ulang dan penghematan sumber daya (Choliq & Adnyana, 2018). Proses pemanasan dan pembentukan baja pegas daun bekas memungkinkan pembuatan perkakas tangan yang tahan lama, efisien, dan ramah lingkungan, sekaligus mengoptimalkan ketersediaan material dengan biaya lebih rendah (Arifin & Wijianto, 2008). Baja memerlukan perlakuan panas (*heat treatment*) untuk meningkatkan sifat mekaniknya, terutama kekerasan dan ketahanan aus. Salah satu metode perlakuan panas yang umum digunakan adalah penyepuhan (*hardening*), yang melibatkan proses pemanasan hingga suhu tertentu diikuti dengan pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan media seperti air atau minyak (Handoyo, 2015).

Perlakuan panas (*heat treatment*) dapat diartikan sebagai serangkaian proses pemanasan dan pendinginan logam atau paduan logam dalam kondisi padat yang dilakukan secara terkontrol. Tujuannya adalah untuk mempersiapkan material logam sebagai produk setengah jadi yang siap untuk diproses lebih lanjut, dengan harapan dapat meningkatkan ketahanan dan umur pakai material logam saat menjadi produk jadi. Selain itu, dengan biaya perlakuan panas yang relatif rendah, umur pakai komponen dapat diperpanjang (Karmin, 2009). Penyepuhan (*hardening*) adalah salah satu proses perlakuan panas yang dilakukan oleh pandai besi untuk meningkatkan kekerasan dan ketahanan material logam, terutama pada alat perkakas atau senjata tradisional. Proses ini dilakukan dengan memanaskan logam, umumnya baja, hingga suhu tertentu, lalu mendinginkannya dengan cepat menggunakan air atau oli. Teknik penyepuhan ini bertujuan untuk mengubah struktur mikro logam, membuatnya lebih keras dan lebih tahan terhadap aus, namun tetap mempertahankan kelenturan dan ketangguhan pada bagian-bagian tertentu (Hendrawan, 2015).

Dalam proses penyepuhan, parameter penting yang berpengaruh terhadap hasil akhir adalah waktu penahanan (*holding time*) pada suhu austenisasi. Waktu penahanan memengaruhi difusi karbon dalam struktur baja serta pembentukan fasa martensit yang berperan dalam peningkatan kekerasan material. Jika waktu penahanan terlalu singkat, transformasi mikrostruktur tidak berlangsung optimal sehingga kekerasan baja tidak mencapai nilai maksimal. Sebaliknya, waktu penahanan yang terlalu lama dapat menyebabkan pertumbuhan butir yang berlebihan, yang dapat

mengurangi sifat mekanik lainnya seperti ketangguhan dan ketahanan terhadap retak (Indata & Wijanarko, 2024).

Penelitian Cahyadi et al. (2022), meneliti pengaruh proses *hardening* terhadap karakteristik mekanik baja pegas daun yang digunakan sebagai bahan pisau. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai kekerasan dan kekuatan tarik material setelah perlakuan panas dengan variasi suhu 700°C, 800°C, dan 900°C serta pendinginan menggunakan oli SAE 10. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu perlakuan panas, kekerasan material meningkat, dengan nilai tertinggi pada suhu 900°C sebesar 1575,76 HVN. Namun, kekuatan tarik dan regangan mengalami penurunan karena material menjadi lebih getas. Kesimpulannya, *hardening* pada suhu tinggi meningkatkan kekerasan baja, tetapi mengurangi keuletan material. Penelitian Rohadin et al. (2024), meneliti pengaruh *holding time* pada proses *hardening* baja S50C yang digunakan sebagai pisau mesin pengurai sabut kelapa. Metode penelitian menggunakan eksperimen dengan variasi waktu penahanan 60, 90, dan 120 menit pada suhu 900°C, kemudian didinginkan cepat menggunakan air sumur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu penahanan, semakin tinggi nilai kekerasan material, dengan nilai tertinggi 723,53 HV pada 120 menit, dan terendah 560,71 HV pada 60 menit. Pengamatan struktur mikro menunjukkan peningkatan fasa *martensite* pada waktu penahanan lebih lama, yang berkontribusi pada peningkatan kekerasan material. Penelitian Indata & Wijanarko (2024), meneliti pengaruh variasi *holding time* pada proses *hardening* terhadap kekerasan baja JIS 9 SUP yang digunakan sebagai bahan pembuatan pisau sadap karet. Variasi waktu penahanan yang digunakan adalah 15, 30, dan 45 menit pada suhu 850°C dengan media pendingin oli SAE 20W-50. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan meningkat dengan meningkatnya *holding time* hingga 30 menit, dengan kekerasan tertinggi sebesar 63,73 HRC. Namun, pada *holding time* 45 menit, kekerasan justru menurun menjadi 60,98 HRC, kemungkinan akibat peningkatan fasa ferit dalam struktur mikro. Penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan waktu penahanan yang tepat sangat berpengaruh terhadap hasil kekerasan material. Dari ketiga penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa waktu penahanan dalam proses penyepuhan (*hardening*) sangat mempengaruhi kekerasan baja. Semakin lama waktu penahanan, umumnya kekerasan meningkat hingga titik optimal sebelum mulai menurun akibat perubahan mikrostruktur material.

Dari penelitian sebelumnya waktu penahanan menjadi parameter yang penting dalam meningkatkan nilai dari sifat kekerasan material baja. Penelitian mengenai pengaruh waktu penahanan terhadap sifat kekerasan baja dalam proses penyepuhan menjadi penting untuk menentukan parameter optimal guna mendapatkan sifat kekerasan yang sesuai dengan kebutuhan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kekerasan pada material baja pegas daun bekas hasil dari proses penyepuhan yang dilakukan. Dengan memahami hubungan antara waktu penahanan dan sifat kekerasan baja, dapat diperoleh metode perlakuan panas yang lebih efektif dan efisien dalam meningkatkan performa material baja pada aplikasi alat perkakas tangan.

## 2. MATERIAL DAN METODE

Material yang digunakan dalam penelitian ini yaitu material baja pegas daun bekas, dengan komposisi kimia Fe 97,07 %, Si 1,292 %, Mn 0,735 %, W 0,04 %, C 0,3 %, Cr 0,22 %, Ni 0,152 %, Cu 0,122 %, Mo 0,031, S 0,013 %, Nb 0,01 %, P 0,004 % (Purboputro, 2009). Proses penyepuhan dilakukan pada temperatur austenisasi 900°C, dengan waktu penahanan, yaitu 30 detik, 40 detik, 45 detik, 50 detik dan 60 detik. Temperatur austenit adalah suhu di mana logam berubah dari fasa ferrit dan pearlit menjadi fasa austenit (diatas garis A<sub>3</sub> diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C (800°C-900°C)). Proses perlakuan panas umumnya akan meningkatkan kekerasan, dan tingkat kekerasan tersebut dipengaruhi oleh suhu pemanasan atau suhu austenit (Farhan, et al., 2021).



**Gambar 1.** Material Baja Pegas Daun

Proses pemanasan penyepuhan dilakukan pada tungku pemanas pandai besi tradisional. Menggunakan bahan bakar arang kayu dan hembusan udara dari *blower* (Gambar 2a dan 2b), serta pengukuran suhu menggunakan termometer *infrared*, kemudian material baja pegas daun dilakukan pendinginan cepat dalam media oli (Gambar 3).



(a)



(b)

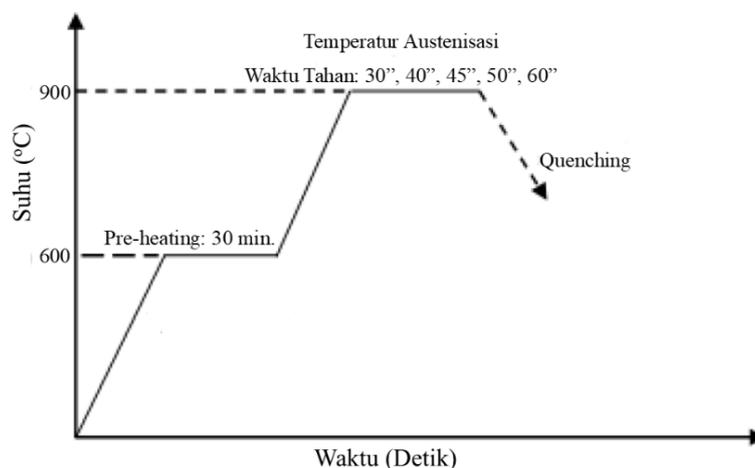
**Gambar 2.** Proses Pemanasan Material pada Tungku Pandai Besi

Proses penyepuhan (*hardening*) adalah proses perlakuan panas yang dilakukan dalam kondisi tidak setimbang (*non-equilibrium*) dengan laju pendinginan yang sangat cepat menggunakan media seperti air dan oli, yang menghasilkan struktur mikro berupa martensit. Proses ini dilakukan ketika sifat tahan aus diperlukan pada material, dimana kekerasan menjadi faktor yang sangat penting (Adawiyah, et al., 2014). Secara umum, tahapan proses perlakuan panas penyepuhan adalah sebagai berikut (Gambar 4):

- 1) Pemanasan awal (*pre-heating*) dilakukan sebelum pemanasan pada temperatur austenisasi. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya keretakan pada material akibat adanya tegangan termal (Hartono, 2015). Proses pemanasan pada temperatur 600°C dengan waktu tahan selama 30 menit.
- 2) Mempertahankan pada temperatur pemanasan tersebut dalam waktu tertentu (*holding time*), proses ini dilakukan untuk mencapai kekerasan maksimum pada material selama penyepuhan, dengan cara mempertahankan suhu pengerasan untuk memastikan pemanasan yang merata, sehingga struktur austenit menjadi homogen dan terjadi difusi karbon selama pemanasan (Indata & Wijanarko, 2024).
- 3) Pendinginan cepat (*Quenching*), proses pendinginan cepat dengan cara mencelupkan baja yang telah melalui perlakuan panas ke dalam media pendingin, seperti air atau oli. Tujuan utama dari proses quenching adalah untuk meningkatkan kekerasan pada logam, sementara faktor utama dalam proses ini adalah pengaturan laju pendinginan pada logam (Al Faris, 2023).

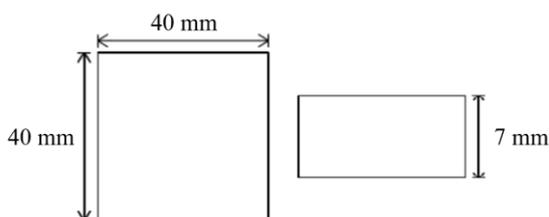


**Gambar 3.** Proses Pendinginan Cepat (*Quenching*) dalam media Oli

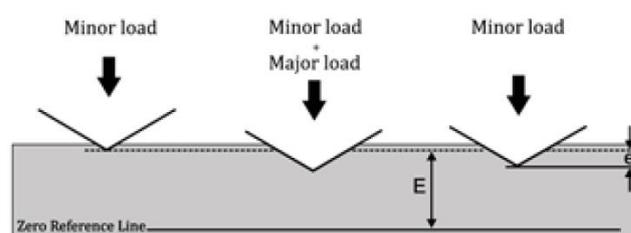


**Gambar 4.** Tahapan Perlakuan Panas Baja

Sampel untuk uji kekerasan dipotong dengan ukuran 40 mm x 40 mm x 7 mm (Gambar 5) sebanyak 7 sampel. Terdapat 3 titik pada permukaan sampel uji kekerasan. Setelah dilakukan uji kekerasan, selanjutnya perhitungan nilai rata-rata kekerasan diambil dari titik-titik uji sampel tersebut. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Rockwell skala B (HRB), menggunakan indenter bola baja ukuran diameter 1/16-in dan beban uji 100 Kgf (ASTM E18, 2022).



**Gambar 5.** Sampel Uji Kekerasan



**Gambar 6.** Tahapan Uji Kekerasan Rockwell

Pengujian kekerasan Rockwell dilakukan dengan tahapan sebagai berikut (Gambar 6): mula-mula permukaan logam diuji oleh indenter dengan beban awal (*minor load*). Penekanan dilanjutkan dengan memberi beban utama (*major load*). Beban utama dilepas dan tinggal beban awal, saat itu dilakukan pengukuran kedalaman penetrasi. Kekerasan diperhitungkan berdasar perbedaan kedalaman penetrasi. Semakin tinggi tingkat kekerasan suatu material, semakin kecil atau dangkal jejak yang terbentuk akibat pengujian. Sebaliknya, semakin dalam penetrasi alat uji ke dalam material, menunjukkan bahwa material tersebut memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah (Widyastuti, et al., 2019).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat mekanik merupakan karakteristik suatu material dalam menahan beban, gaya, atau energi yang diberikan. Sifat ini mencerminkan hubungan antara gaya atau energi yang diterima dengan respons atau deformasi yang terjadi pada material tersebut. Sifat mekanik suatu bahan dapat dikategorikan ke dalam beberapa aspek, seperti kekuatan (*strength*), kekerasan (*hardness*), elastisitas (*elasticity*), kekakuan (*stiffness*), plastisitas (*plasticity*), ketangguhan (*toughness*), ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue*), serta ketahanan terhadap keretakan dan merangkok (*creep-crack*) (Ruzuqi & Waas, 2021).

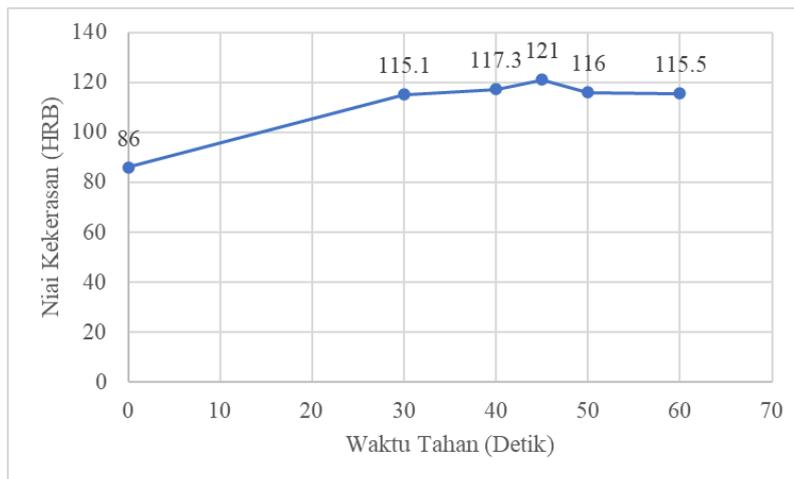
Kekerasan merupakan salah satu karakteristik utama yang digunakan untuk mendeskripsikan performa mekanik suatu material. Kekerasan adalah ketahanan material terhadap penggosoran, pengikisan (abrasi) dan indentasi, kekerasan berkaitan dengan sifat tahan aus (*wear resistance*) dari material (Wilujeng, et al., 2024).

Hasil yang diperoleh dari pengujian kekerasan yang telah dilakukan pada material baja pegas daun yakni, seperti ditunjukkan oleh Tabel 1.

**Tabel 1.** Data Uji Kekerasan

No.	Sampel	Waktu Tahan (Detik)	Nilai Kekerasan Rata-rata (HRB)
1	Tanpa Penyepuhan	0	86
2	A	30	115,1
3	B	40	117,3
4	C	45	121
5	D	50	116
6	E	60	115,5

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa waktu penahanan yang diikuti dengan proses pendinginan cepat (*Quenching*) memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai kekerasan baja. Baja yang mengalami perlakuan panas penyepuhan (*hardening*) menunjukkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja yang tidak mengalami perlakuan penyepuhan. Perlakuan panas bertujuan untuk meningkatkan kekerasan baja. Proses pemanasan pada suhu austenisasi 900°C yang diikuti dengan pendinginan cepat dapat secara signifikan meningkatkan tingkat kekerasan material baja. Menurut Hardiyanti et al. (2015), Baja yang dipanaskan hingga melebihi suhu kritis (suhu austenisasi) dan ditahan selama waktu tertentu akan membentuk struktur austenit. Ketika didinginkan secara cepat, struktur austenit tersebut akan mengalami transformasi menjadi martensit, yang berperan dalam meningkatkan kekerasan baja.



**Gambar 7.** Grafik Pengaruh Waktu Tahan Terhadap Kekerasan Baja

Berdasarkan grafik (Gambar 7), nilai kekerasan tertinggi dicapai pada baja pegas daun dengan waktu penahanan selama 45 detik dan nilai kekerasan mengalami penurunan ketika waktu penahanan 50 detik dan 60 detik. Terlihat pada tabel 1 dan diagram batang (Gambar 8) nilai kekerasan awal material baja pada kondisi tanpa perlakuan penyepuhan adalah 86 HRB, kenaikan kekerasan terjadi pada waktu penahanan 30 detik sebesar 115,1 HRB, selanjutnya pada waktu penahanan 40 detik sebesar 117,3 HRB dan nilai kekerasan maksimum pada 45 detik sebesar 121 HRB. Penurunan nilai kekerasan terjadi pada waktu penahanan 50 detik sebesar 116 HRB dan kemudian menurun lagi pada waktu penahanan 60 detik sebesar 115,5 HRB.

Dari grafik (Gambar 7), dapat dilihat pula bahwa nilai kekerasan menurun ketika ditahan selama 50 detik dan 60 detik. Menurut Indata & Wijanarko (2024), bahwa waktu tahan yang terlalu lama akan menyebabkan nilai kekerasan menurun. Penurunan ini disebabkan oleh meningkatnya jumlah fasa ferit dalam struktur mikro material. Hal ini disebabkan oleh

meningkatkan waktu bagi atom untuk berdifusi keluar, yang pada akhirnya mengurangi kandungan martensit dan menyebabkan penurunan nilai kekerasan material.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang sudah dilakukan, maka kesimpulan yang diperoleh: Baja pegas daun yang telah menjalani proses penyepuhan (*hardening*) dengan variasi waktu penahanan menunjukkan peningkatan nilai kekerasan yang lebih signifikan dibandingkan dengan baja pegas daun yang tidak mengalami perlakuan penyepuhan. Waktu penahanan dalam proses penyepuhan memiliki dampak signifikan terhadap kekerasan baja pegas daun. Jika waktu penahanan yang diterapkan optimal, nilai kekerasan material akan meningkat. Namun, apabila waktu penahanan terlalu lama, terbentuknya struktur ferit dalam jumlah lebih banyak dapat menyebabkan penurunan kekerasan material.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada Kelompok Usaha Pandai Besi Sehati Jaya, Desa Waiheru, Kota Ambon yang telah mengizinkan peneliti melakukan pengambilan data sampel penyepuhan material baja pegas daun dan Kepala Laboratorium Pengujian Bahan dan Metrologi, Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ambon yang sudah memfasilitasi peneliti dalam melakukan pengujian dan olah data selama penelitian ini berlangsung.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, R., Murdjani, & Hendrawan, A. (2014). Pengaruh Perbedaan Media Pendingin Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Pegas Daun dalam Proses *Hardening*. *Jurnal POROS TEKNIK*, Volume 6, No. 2, 55-102.
- Al Faris, M.S., & Rasyid, A.H.A. (2023). Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Nilai Kekerasan dan Ketangguhan Baja AISI 1045 Aplikasi Poros Motor. *JTM: JURNAL TEKNIK MESIN*, Vol. 11, No. 03, 165-170. <https://doi.org/10.26740/jtm.v11n03.p165-170>
- Arifin, F., & Wijianto. (2008). Pemanfaatan Pegas Daun Bekas sebagai Bahan Pengganti Mata Potong (*Punch*) pada Alat Bantu Produksi Massal (*Press Tools*). *MEDIA MESIN*, Vol. 9, No. 1, 20-27. <https://doi.org/10.23917/mesin.v9i1.3156>
- ASTM E18. (2022). *Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials*. West Conshohocken: ASTM International.
- Cahyadi, R., Asiri, M.H., & Mardin. (2022). Pengaruh *Hardening* Terhadap Kekerasan Kekuatan Tarik pada Baja Pegas Daun Bekas untuk Pisau. *Journal of Technology Procces*, Vol. 1, No. 2, 33-40.
- Choliq, A., & Adnyana, D.N. (2018). Optimalisasi *Heat Treatment* pada Proses Daur Ulang Pegas Daun Mobil untuk Pembuatan Pisau Sembelih Rumah Pemotongan Hewan. *Journal of Technical Engineering: Piston*, Vol. 2, No. 1, 27-37. <https://doi.org/10.32493/pjte.v2i1.3225>
- 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*, Vol. 5, No. 1. <http://dx.doi.org/10.30811/jmst.v5i1.2135>
- Handoyo, Y. (2015). Pengaruh *Quenching* dan *Tempering* Pada Baja JIS Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro *Crankshaft*. *Jurnal Imiah Teknik Mesin*, Vol. 3, No.2, 102-115. <https://doi.org/10.33558/jitm.v3i2.350>
- Hardiyanti, I., Aziz, A., & Hidayat, M. (2015). Pengaruh Temperatur Austenisasi dan Waktu Tahan Terhadap Sifat Mekanik, Tebal *Scale* dan Struktur Mikro Pada Baja Paduan Ni-Cr-Mo. *Jurnal Furnace*, Vol. 1, No. 1. <http://dx.doi.org/10.36055/furnace.v1i1.1672>
- Hartono, B. (2015). Pengerasan Baja AISI O1 dengan Metode Perlakuan Panas. Malang: PPPPTK BOE. Diakses 24 Desember 2024 pada World Wide Web: <https://bbppmpvboe.kemdikbud.go.id/bbppmpvboe/berita/detail/pengerasan-baja-aisi-o1-dengan-metoda-perlakuan-panas->

- Hendrawan, A., (2015). Pengaruh Proses Sepuh Terhadap Kekerasan Mata Kapak Hasil Pandai Besi di Kabupaten Hulu Sungai Selatan Kalimantan Selatan. *Jurnal POROS TEKNIK*, Vol. 7, No. 1, 47-53.
- Indata, D., & Wijanarko, D.V. (2024). Pengaruh Variasi  *Holding Time*  Pada Proses  *Hardening*  Terhadap Kekerasan Baja JIS 9 SUP. *JTM: JURNAL TEKNIK MESIN*, Vol. 13, No. 02, 25-30.
- Karmin. (2009). Pengendalian Proses Pengerasan Baja Dengan Metoda  *Quenching* . *Jurnal AUSTENIT*, Vol. 1, No. 02, 17-25.
- Purboputro, P.I. (2009). Peningkatan Kekakuan Pegas Daun dengan Cara  *Quenching* . *MEDIA MESIN*, Vol. 10, No. 1, 15-21. <https://doi.org/10.23917/mesin.v10i1.3186>
- Rivandi, D., & Irfai, M.A. (2013). Pengembangan Modul Pembelajaran Perkakas Tangan untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa X TPM 1 SMKN 2 Surabaya. *JPTM: Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, Vol. 2, No. 02, 45-54.
- Rohadin, Mikael M., & Kardiman. (2024). Pengaruh  *Holding Time*  pada Proses  *Hardening*  untuk Baja S50C Sebagai Pisau Mesin Pengurai Sabut Kelapa. *Sultra Journal of Mechanical Engineering (SJME)*, Vol. 3, No. 1, Hal. 1-8. <https://doi.org/10.54297/sjme.v3i1.429>
- Ruzuqi, R., & Waas, V.D. (2021). Analisis Kekuatan Tarik dan Impak Material Komposit Polimer dalam Aplikasi Fiberboat. *Seminar Nasional "ARCHIPELAGO ENGINEERING"*, Vol. 4, 121-126. <https://doi.org/10.30598/ale.4.2021.121-126>
- Widyastuti, Ardhyanta, H., Purwaningsih, H., & Quluq, R.M., (2019). *Karakterisasi Material: Bagian 1: Komposisi, Topografi dan Sifat Mekanik*, ITS Press, Surabaya.
- Wilujeng, A.D., Fatah, M., & Ulfiyah, L. (2024). Studi Eksperimental Variasi Media Pendingin dan  *Holding Time Tempering*  Terhadap Kekerasan Material Pengganti  *Pin Track Link Excavator 305.5E2* . *Jurnal Inovasi Teknik Mesin (JITM)*, Vol. 6, No. 4, 11-22.