

Ketahanan Aus dan Kekerasan Produk Alat Pertanian dengan Material Skrap Baja Pegas Daun SUP 9

Djoko Andrijono¹, Sufiyanto², Fiqhi Syahdani Mutadafiq³, Muhammad Taufik Hidayat⁴
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang^{1,2,3,4}
djoko.andrijono@unmer.ac.id¹, sufiyanto@unmer.ac.id², fiqhistentudentunmer@gmail.com³
, mthidayat28@gmail.com⁴

Abstrak

Penempaan palu merupakan proses pembentukan logam dengan cara memanaskan logam ke dalam dapur pemanas sampai di atas temperatur rekristalisasi 800°C dan selanjutnya ditempa menggunakan palu berfungsi memberikan gaya luar dan selanjutnya dilakukan pendinginan cepat. Tujuan penelitian membandingkan, menganalisa sifat kekerasan, laju keausan, dan struktur mikro skrap baja pegas daun SUP 9 setelah penempaan palu. Manfaat penelitian memberikan kontribusi pada industri yang bergerak di bidang penempaan palu, khususnya produk cangkuk garpu. Hasil penelitian menunjukkan skrap baja pegas daun SUP 9 setelah pemanasan dengan temperatur rekristalisasi, penempaan palu dan variasi media pendinginan cepat, angka kekerasan tertinggi pada media pendinginan air mencapai 64 HR_C dan terendah pada media pendinginan oli SAE 90 mencapai 58 HR_C. Laju keausan tertinggi pada media pendinginan SAE 90 mencapai $1.65.10^{-4}$ gram/m dan laju terendah pada media pendinginan air mencapai $1.05.10^{-4}$ gram/m. Struktur mikro dengan media pendinginan air terbentuk fasa $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ sifatnya keras dan getas, struktur mikro dengan media pendinginan oli SAE 20, SAE 40, SAE 50, dan SAE 90 secara umum terbentuk fasa α sifatnya ulet. Kesimpulan skrap baja pegas daun SUP 9 setelah penempaan palu kekerasan tertinggi 64 HR_C dengan laju keausan terendah $1.05.10^{-4}$ gram/m pada media pendinginan air, akibatnya ketahanan ausnya semakin meningkat.

Kata Kunci: Keausan, Kekerasan, Pegas, Struktur Mikro.

A. PENDAHULUAN

Penempaan palu (*hammer forging*) disebut juga penempaan palu jatuh merupakan proses pembentukan logam (*metal forming*) pada benda kerja (*work piece*) dengan cara memberikan gaya luar, sehingga terjadi deformasi plastis. Deformasi plastis merupakan perubahan bentuk dari produk hasil penempaan palu yang tidak dapat kembali ke bentuk semula. Tujuan penempaan palu untuk memperbaiki sifat kekerasan, struktur mikro dan laju keausan. Proses penempaan palu diawali dengan meletakkan logam di atas landasan sebagai cetakan dan selanjutnya dilakukan pemukulan dengan menggunakan palu secara berulang-ulang sesuai produk yang diinginkan (Gambar 1). Penempaan palu pada logam dapat dilakukan dengan pengerjaan panas (*hot working*) dan pengerjaan dingin (*cold working*) (Hamni, 2011; Groover, 2007). Proses pengerjaan panas merupakan proses pembentukan logam secara plastis di atas temperatur rekristalisasi dan rekristalisasi terjadi selama pengerjaan panas. (Hamni, 2011). Metode yang dipergunakan pada kegiatan penelitian menggunakan metode eksperimental (Siyoto, & Sodik, 2015) dengan melakukan proses pemanasan skrap baja SUP 9 di dalam tungku pemanas dan setelah proses tersebut, dilakukan penempaan palu serta dilanjutkan variasi media pendinginan cepat (*quenching*).



Gambar 1. Proses penempaan palu

Material skrap baja pegas daun SUP 9 sebelum penempaan palu dilakukan proses pemotongan dengan panjang 50 mm, lebar 60 mm dan tebal 10 mm yang digunakan sebagai spesimen uji komposisi kimia sejumlah 1 spesimen uji, uji kekerasan sejumlah dan uji pengamatan struktur mikro masing-masing sejumlah 10 spesimen uji dilakukan proses pemanasan pada dapur pemanas (Gambar 3) sampai temperatur 800⁰ C menggunakan arang kayu (Gambar 2).



Gambar 2. Arang kayu

Tujuan penelitian membandingkan dan menganalisa sifat kekerasan, laju keausan dan struktur mikro material skrap baja pegas daun SUP 9 setelah penempaan palu dan pendinginan cepat terdiri dari: air, SAE 20, SAE 40, SAE 50 dan SAE 90.

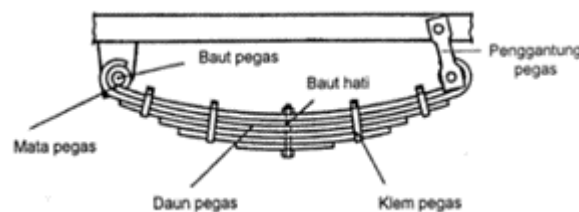
B. LANDASAN TEORI

1. Pembentukan Logam

Pembentukan logam (metal forming) merupakan proses pengubahan bentuk pada logam dengan cara memberikan gaya luar, sehingga terjadi deformasi plastis. Deformasi plastis (*plastic deformation*) merupakan distorsi permanen yang terjadi pada suatu material yang mengalami tegangan tarik, tegangan tekan, tegangan tekuk, atau torsi yang melebihi kekuatan luluh (*yield strength*) (Groover, 2007). Macam-macam pembentukan logam seperti: *bending, stretching, punching, stamping, ironing, hydroforming, rolling, forging, extrusion, wire drawing, dan deep drawing* (Smith, 1990), khususnya pembentukan logam dengan penempaan yang dapat dilakukan secara manual atau otomatis dengan menggunakan mesin dan proses penempaan dapat dilakukan dengan tempa panas (*hot forging*) dan tempa dingin (*cold forging*) (Groover, 2007).

2. Pegas Daun SUP 9

Pegas daun atau pegas elips (*leaf spring*) merupakan salah satu sistem suspensi pada kendaraan roda empat. Sistem suspensi berfungsi meredam gerakan mobil pada kondisi melewati medan jalan yang tidak rata (Suprpto, & Suwarno, 2018). Pegas daun terdiri atas 3 s.d 10 lembar plat baja dengan ketebalan 3 s.d 10 mm. Pegas tersebut, tersusun dengan yang terpendek di bawah dan terpanjang di atas. Fungsi pegas daun untuk meneruskan beban kendaraan ke bagian rangka kendaraan dan beban tersebut, ditransmisikan dari rangka kendaraan roda empat.



Gambar 3. Pegas daun

3. Arang Kayu

Arang kayu merupakan bahan bakar padat yang digunakan untuk kebutuhan medis, pertanian, lingkungan, energi dan arang kayu digunakan sebagai bahan pengisi kayu komposit, sehingga mampu menurunkan tingkat emisi formaldehida (Kumar, et al., 2013). Kegunaan lain arang kayu digunakan sebagai pelindung elektromagnetik, penjernih air, pengawet makanan, farmasi, bahkan menjadi kapasitor yang memiliki kapasitas besar, energi, dan penyimpan gas (Zhang, Li, & Zheng, 2012). Kayu dapat diubah menjadi arang melalui pirolisis pada suhu 400 s.d 500°C tanpa sedikit oksigen,

sehingga menghasilkan material berpori-pori dengan kandungan karbon yang tinggi dan fraksi uap yang dapat terkondensasi (Papari, & Hawboldt, 2015). Arang kayu dapat diperoleh dari material organik lain seperti limbah biomassa (Christiana dkk, 2014), akan tetapi kayu merupakan bahan baku yang paling umum digunakan di berbagai negara (Adamu, et al., 2018). Arang kayu merupakan hasil karbonisasi kayu terdiri dari atom karbon, hetero atom dan bahan mineral karena dihasilkan dari kayu yang memiliki struktur polimer yang mengandung *lignin*, *selulosa*, *hemiselulosa* dan material organik atau anorganik (Pastor, et al., 2006).

C. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada kegiatan penelitian menggunakan metode eksperimental yang dilakukan di laboratorium Metalurgi dan laboratorium proses produksi. Material yang akan dilakukan proses penempaan palu jenis material skrap baja pegas daun SUP 9 kendaraan roda empat. Skrap baja pegas daun SUP 9 sebelum proses pemanasan dan proses penempaan palu dilakukan proses pemotongan sesuai ukuran yang ditentukan (Gambar 4) sebagai spesimen uji yang selanjutnya dipanaskan di dalam dapur pemanas (Gambar 4) (Andrijono, D & Sufiyanto, 2022) dan setelah proses pemanasan ditempa kondisi panas menggunakan palu dan dilakukan pendinginan cepat. Skrap baja pegas daun SUP 9 setelah penempaan palu dan pendinginan cepat dilakukan beberapa pengujian meliputi: uji komposisi kimia, uji kekerasan, uji keausan dan uji pengamatan struktur mikro.

1. Persiapan Dapur Pemanas

Dapur pemanas sebelum digunakan untuk proses pemanasan skrap baja pegas daun SUP 9 diperlukan beberapa persiapan pekerjaan sebagai berikut: a). Memasukkan arang kayu ke dalam ruang bakar (kowi) pada dapur pemanas; b). Meletakkan spesimen uji di atas permukaan arang kayu yang sudah terbakar; c). Memasang termokopel pada dinding luar dapur pemanas; d). Memasang *blower* untuk membantu aliran udara ke dalam kowi; e). Proses pemanasan awal pada ruang bakar.



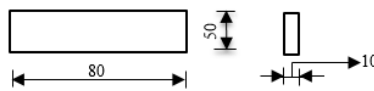
Gambar 4. Tungku pemanas

2. Persiapan Pembuatan Spesimen Uji

Material yang digunakan skrap baja pegas daun SUP 9 (Gambar 5) dipotong-potong dengan ukuran lebar 50 mm, panjang 80 mm dan tebal 10 mm (Gambar 6) sebagai spesimen uji komposisi kimia, uji kekerasan, uji keausan dan uji pengamatan struktur mikro. Adapun peralatan yang digunakan antara lain: a). ragum; b). gergaji besi; c). jangka sorong; d). media pendinginan cepat terdiri dari : air, SAE 20, SAE 40, SAE 50 dan SAE 90 dengan merk dagang Mesran masing-masing 1 liter; e). arang kayu; f). tang penjepit; g). palu; h). landasan.



Gambar 5. Baja skrap pegas daun SUP 9 sebagai spesimen uji



Gambar 6. Spesimen uji

3. Persiapan Sebelum Pengoperasian Dapur Pemanas

Dapur pemanas sebelum dioperasikan dilakukan pemeriksaan kondisi bata tahan api, cerobong, kowi, *blower* dan alat ukur temperatur hasil pembakaran arang kayu. Dapur pemanas sebelum digunakan proses pembakaran arang kayu dilakukan proses pemanasan awal (*preheating*) dengan temperatur 100 s.d 150⁰ C. Setelah proses pemanasan awal memasukkan arang kayu pada kowi yang terpasang di dalam dapur pemanas dan tahap berikutnya memasukkan skrap baja pegas daun SUP 9 yang telah dipotong-potong sesuai dengan ukuran yang ditentukan.

4. Tahapan Proses Penempaan Palu

Proses penempaan palu yang dilakukan secara manual pada material skrap baja pegas daun SUP 9 meliputi beberapa tahapan sebagai berikut: a). Proses pemanasan skrap baja pegas daun SUP 9 yang telah dipotong-potong sesuai dengan ukuran yang ditentukan pada temperatur rekristalisasi 800⁰ C (Gambar 6); b). Skrap baja pegas daun SUP 9 yang telah dipotong-potong dipanaskan pada dapur pemanas sampai temperatur rekristalisasi 800⁰ C menggunakan bahan bakar arang kayu; c). Potong-potongan skrap baja pegas daun SUP 9 ditempa menggunakan palu secara berulang-ulang dan dilanjutkan proses pendinginan cepat.

5. Produk Cangkul Garpu

Cangkul garpu merupakan alat bantu pertanian yang ujungnya terdapat gigi lurus dan sejajar (Gambar 7). Cangkul garpu bentuk jenis ini memiliki kesamaan dengan cangkul pada umumnya, tetapi mata pisaunya seperti garpu dengan ujungnya runcing dan tajam yang diproduksi oleh IKM pande besi (*blacksmith*).



Gambar 7. Cangkul garpu alat pertanian

6. Uji Komposisi Kimia Arang Kayu

Uji komposisi kimia arang kayu menggunakan EDX (*Energy Dispersion X-ray*) merupakan pengujian untuk menganalisa unsur atau karakteristik kimia arang kayu. Berdasarkan hasil uji tersebut, dapatkan diketahui komponen-komponen dalam nanopartikel arang kayu yang diuji.



Gambar 8. *Energy dispersion x-ray*

7. Uji Komposisi Kimia Skrap Baja Pegas Daun SUP 9

Skrup baja pegas daun SUP 9 sebelum proses penempaan palu dan pendinginan cepat diawali dengan uji komposisi kimia dengan tujuan untuk mengetahui unsur kimia dan komposisi kimia menggunakan mesin *Quantometer 3460/MA* (Gambar 9).



Gambar 9. *Quantometer 3460/MA*

8. Uji Kekerasan

Pelaksanaan uji kekerasan pada skrap baja pegas daun SUP 9 setelah mengalami proses penempaan palu dan pendinginan cepat. Untuk memperoleh data angka kekerasan pada material tersebut, diuji kekerasan menggunakan mesin *Rockwell Hardness Tester* dengan indenter kerucut intan (*diamond cone*) skala C memakai beban mayor 150 kg, beban minor 10 kg. Uji kekerasan tersebut, dilaksanakan dengan cara menekan permukaan spesimen uji dengan indenter. Penekanan indenter ke dalam spesimen uji dilakukan dengan menerapkan beban minor, kemudian ditambah dengan beban mayor, yang selanjutnya beban mayor dilepas dan beban minor tetap dipertahankan.



Gambar 10. *Rockwell hardness tester*

9. Uji Keausan Abrasif

Pelaksanaan uji keausan pada skrap baja pegas daun SUP 9 setelah proses penempaan palu dan pendinginan cepat. Untuk mengetahui laju keausan material tersebut, diuji menggunakan mesin uji keausan (Gambar 11). Keausan diartikan sebagai kehilangan material dari suatu permukaan sebagai hasil suatu hasil pergerakan relatif antara permukaan tersebut dan permukaan lainnya. Uji keausan merupakan pengujian untuk menghitung seberapa cepat laju keausan dari suatu material.



Gambar 11. Uji keausan abrasif

10. Uji Pengamatan Struktur Mikro

Pelaksanaan uji pengamatan struktur mikro skrap baja pegas daun SUP 9 setelah proses penempaan palu dan pendinginan cepat. Sebelum diuji pengamatan struktur mikro, spesimen uji terlebih dahulu dilakukan proses *pregrinder*, *polishing*, *mounting press*, *film processing apparatus* dan selanjutnya di etsa menggunakan jenis nital 5% HNO₃ dan 95% alkohol. Spesimen uji setelah proses tersebut, dilakukan uji pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop logam perbesaran 200 x.



Gambar 12. Mikroskop logam

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Data hasil uji komposisi kimia arang kayu

Unsur Kimia	Komposisi Kimia (%)
C	94,4
MgO	0,24
Al ₂ O ₃	0,24
SiO ₂	2,80
K ₂ O	0,43
CaO	0,68
CuO	0,73
ZnO	0,44

Tabel 2. Data hasil uji komposisi kimia skrap baja pegas daun SUP 9 sebelum proses pemanasan T = 800⁰ C dengan variasi media pendinginan cepat dan proses penempaan palu

Unsur Kimia	Komposisi Kimia (%)	Unsur Kimia	Komposisi Kimia (%)
C	0,5818	Nb	0,0032
Mn	0,8878	V	0,0051
P	0,0133	Ca	0,0005
S	0,0055	Co	0,0121
Si	0,2745	B	0,00015
Sn	0,0052	N	0,0073
Cr	0,8636	Ti	0,0014
Cu	0,0981	Al	0,0065
Ni	0,0475	Mo	0,0224

Tabel 3. Data hasil uji kekerasan skrap baja pegas daun SUP 9 setelah proses pemanasan T = 800⁰ C dengan variasi media pendinginan cepat dan proses penempaan palu

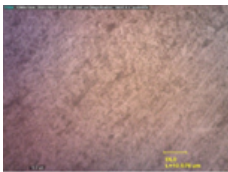
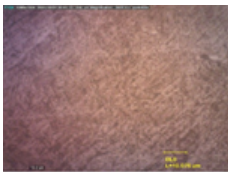
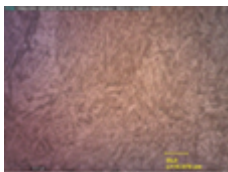
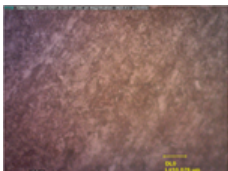
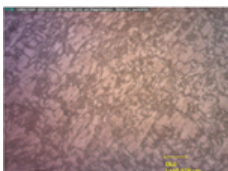
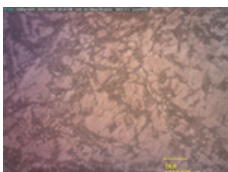
No	Temperatur Pemanasan (°C)	Variasi Media Pendinginan Cepat	Kode Spesimen Uji	Angka Kekerasan (HR _C) Titik Pengujian			Rata-2 Angka Kekerasan (HR _C)
				1	2	3	
1	27	Logam induk	PD 00	49	47	48	48
2	800	Air	PD 01	62	67	63	64
3	800	SAE 20	PD 02	62,5	64	64	63,5
4	800	SAE 40	PD 03	63	63	63,5	63,2
5	800	SAE 50	PD 04	62	62	60	61,3
6	800	SAE 90	PD 05	57	59	58	58

PD = pegas daun

Tabel 4. Data hasil uji keausan skrap baja pegas daun SUP 9 setelah proses pemanasan $T = 800^0\text{ C}$ dengan variasi media pendinginan cepat dan proses penempaan palu

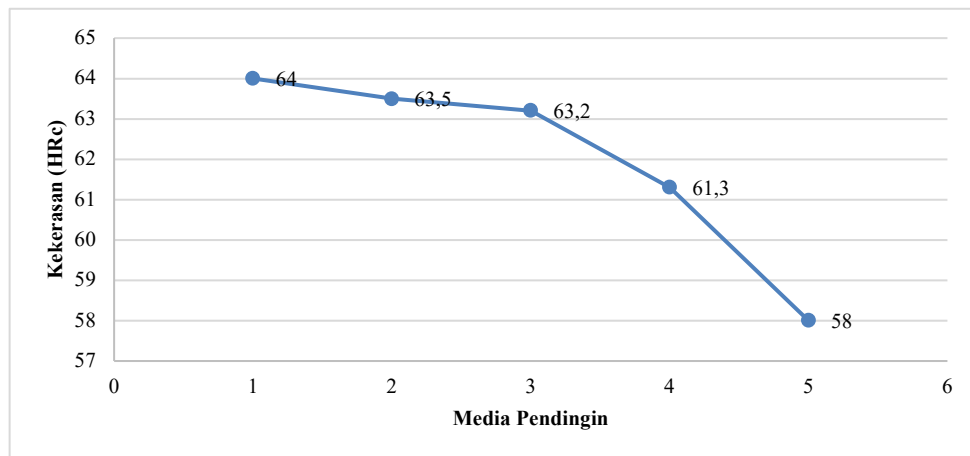
Kode Spesimen uji	Media Pendinginan Cepat	Beban (kg)	Waktu (menit)	Berat (gram)			Kecepatan Linier (m/menit)	Jarak Luncur (m)	Laju Keausan (gram/m)
				Awal	Akhir	Hilang			
PD 00	Logam induk	12	4	33.72	33.67	0.025	78.5	314	$1,72 \cdot 10^{-5}$
PD 01	Air	12	4	13.38	13.35	0.033	78.5	314	$1,05 \cdot 10^{-4}$
PD 02	SAE 20	12	4	12.7	12.75	0.034	78.5	314	$1,08 \cdot 10^{-4}$
PD 03	SAE 40	12	4	16.19	16.16	0.035	78.5	314	$1,11 \cdot 10^{-4}$
PD 04	SAE 50	12	4	15.93	15.88	0.050	78.5	314	$1,59 \cdot 10^{-4}$
PD 05	SAE 90	12	4	13.63	13.58	0.052	78.5	314	$1,66 \cdot 10^{-4}$

Tabel 5. Data hasil uji pengamatan struktur mikro skrap baja pegas daun SUP 9 setelah proses pemanasan $T = 800^0\text{ C}$ dengan variasi media pendinginan cepat dan proses penempaan palu

Kode Spesimen Uji	Variasi Media Pendinginan Cepat	Uji Pengamatan Struktur Mikro
PD 00	Logam induk	
PD 01	Air	
PD 02	SAE 20	
PD 03	SAE 40	
PD 04	SAE 50	
PD 05	SAE 90	

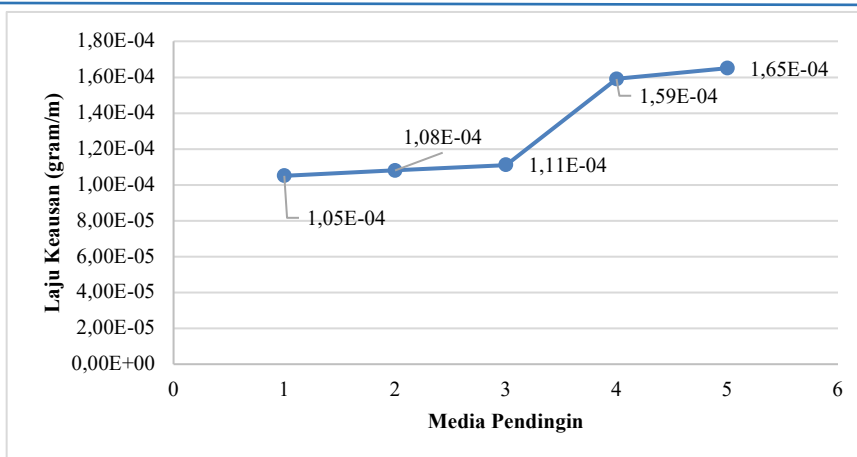
Skrap baja pegas daun SUP 9 setelah uji komposisi kimia diperoleh unsur karbon (C) 0,5818% (Tabel 2), sehingga termasuk jenis baja karbon menengah (*medium carbon steel*) yang mempunyai

sifat keras dan kuat dibanding dengan baja karbon rendah (*low carbon steel*) (Sidney, 1982; Smith, 1990). Menurut diagram keseimbangan Fe-Fe₃C baja karbon menengah ditinjau dari struktur mikronya termasuk baja *hypoeutektoid* < 0,83% C dengan fasa ferit (α) yang sifatnya ulet dan perlit (α +Fe₃C) sifatnya keras serta getas. Fasa α mempunyai sel satuan Kubus Pemusatan Ruang (*Body Centered Cubic*) (BCC) terjadi pada temperatur di bawah 910⁰ C. BCC merupakan larutan padat (*solid solution*) terdiri dari beberapa atom C yang ada pada besi murni dan kelarutan unsur C pada fasa α maksimum 0,025% terjadi di bawah temperatur 723⁰ C, tetapi pada temperatur kamar kelarutan C sekitar 0,008%. Fasa α + Fe₃C merupakan campuran *eutektoid* terdiri dari fasa α dan fasa Fe₃C mengandung 0,8% C terbentuk pada temperatur 723⁰ C dengan sel satuan BCC (Sidney, 1982). Unsur-unsur lain pada baja karbon menengah seperti: Mangan (Mn) 0,8878% mempengaruhi sifat: kekerasan, keuletan, tahan aus, dan tahan panas. Silikon (Si) 0,2745% (Tabel 2) mempengaruhi sifat kekerasan, kekenyalan, tahan aus, tahan panas, tahan karat, menurunkan regangan, dan mampu las (Kalpakjian, 2001). Unsur berikutnya 0,8636% Cr (Tabel 2) mempengaruhi baja karbon menengah mengalami penurunan laju pendinginan kritis dan 0,8636% Cr pada baja menghasilkan struktur yang lebih halus dan membuat sifat baja karbon menengah sifatnya keras karena unsur Cr dan C dapat membentuk karbida (Surojo, Ariawan, & Nurkhozin, 2009). Unsur kimia pada skrap baja SUP 9 seperti Cu, Ni, Nb, Ca, B, N, Ti, Al dan Mo (Tabel 2) merupakan unsur-unsur pengotor atau unsur-unsur ikutan (*impurities*) saat proses produksi pembuatan pegas daun SUP 9.



Grafik 1. Kekerasan (HRC) vs variasi media pendinginan cepat

Angka kekerasan sebelum penempaan palu memiliki angka kekerasan 48 HR_C (Tabel 3) dengan fasa ferit lebih dominan yang sifatnya ulet dibanding fasa α + Fe₃C sifatnya keras dan getas sesuai hasil uji pengamatan struktur mikro (Tabel 5). Selanjutnya material tersebut, dilakukan proses penempaan palu dengan temperatur 800⁰ C dan variasi media pendinginan cepat terdiri dari air, oli SAE 20, oli SAE 40, oli SAE 50 dan oli SAE 90 mengalami peningkatan angka kekerasan tertinggi pada media pendinginan air mencapai 64 HR_C (Tabel 3) yang dipengaruhi pertumbuhan fasa α + Fe₃C lebih dominan dibanding fasa α (Tabel 5), sehingga ketahanan ausnya semakin meningkat dengan laju keausan 1.05.10⁻⁴ gram/m dibanding dengan logam induk dengan kekerasan 48 HR_C dengan laju keausan 1.72.10⁻⁵ gram/m, sehingga laju keausan semakin menurun (Zulkarnain, Hamdani, & Saputra, 2023). Angka kekerasan terendah pada media pendinginan oli SAE 90 mencapai 58 HR_C (Tabel 3) dipengaruhi pertumbuhan fasa α lebih dominan dibanding fasa α + Fe₃C (Tabel 5) atau angka kekerasan secara umum cenderung menurun yang dipengaruhi oleh kekentalan oli yang menghambat laju pendinginan (*cooling rate*). Hasil pelaksanaan uji keausan (Gambar 12) pada pegas daun SUP 9 sebelum dan sesudah proses penempaan palu dan pendinginan cepat secara umum cenderung semakin meningkat, akibatnya sifat ketahanan ausnya semakin menurun (Grafik 2).



Grafik 2. Laju keausan vs media pendinginan cepat

Laju keausan hasil penempaan palu pada skrap baja pegas daun SUP 9, tertinggi pada media pendinginan oli SAE 90 mencapai $1.65 \cdot 10^{-4}$ gram/m (Tabel 4), hal ini disebabkan angka kekerasan 58 HR_C (Tabel 3) akibatnya sifat ketahanan ausnya rendah dan laju keausan hasil penempaan palu terendah pada media pendinginan air mencapai $1.05 \cdot 10^{-4}$ gram/m (Tabel 4) akibatnya sifat ketahanan ausnya semakin tinggi, hal ini dipengaruhi oleh angka kekerasannya 64 HR_C dengan media pendinginan air. Laju keausan terendah pada logam induk tanpa penempaan palu mencapai $1.72 \cdot 10^{-5}$ gram/m (Tabel 4), sehingga sifat ketahanan ausnya sangat tinggi dibanding hasil penempaan palu dengan variasi media pendinginan air, oli SAE 20, oli SAE 40, oli SAE 50 dan oli SAE 90.

E. Kesimpulan dan Saran

1. Kesimpulan

Skrup baja pegas daun SUP 9 diproduksi dari material jenis baja karbon menengah dengan 0,582% C yang sifatnya keras dan kuat. Skrup baja pegas daun SUP 9 setelah penempaan palu kekerasan tertinggi 64 HR_C dengan laju keausan terendah $1.05 \cdot 10^{-4}$ gram/m pada media pendinginan air, akibatnya ketahanan ausnya semakin meningkat.

2. Saran

Hasil penelitian yang telah dilakukan hanya dapat diimplementasikan pada IKM yang bergerak di bidang pembuatan cangkul garpu dengan skrup baja pegas daun SUP 9 menggunakan pendinginan air karena memiliki laju keausan yang rendah dan kekerasan yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamu, H., Sabo, A., Chinade, A.A., & Lame, F.A. (2018). Exploration of Influence of Chemical Composition on Combustion and Fuel characteristics of Wood-Charcoals Commonly Used in Bauchi State, Nigeria. *International Journal of Renewable Energy Research*. 8(3): 1508-1519. <https://doi.org/10.20508/ijrer.v8i3.7837.g7449>
- Andrijono, D., & Sufiyanto, S. (2022). Kualitas Produk Peralatan Pertanian Hasil Tempa Panas Pengrajin Pande Besi Melalui Penerapan Desain Dapur Perlakuan Panas Model Tutup. *Sarwahita: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat (Edisi Khusus)*. 19(1): 93-107. <https://doi.org/10.21009/sarwahita.191.9>
- Christiana, O.I., Olusegun, A.S., & Kazeem, A. (2014). Evaluation of combustion characteristic of charcoal from different tropical wood species. *International Organization of Scientific Research Journal of Engineering*, 4(4), 57–64. <https://doi.org/10.9790/3021-04465764>
- Groover, P.M. (2007). *Fundamentals of Modern Manufacturing*. Third Edition. John Wiley & Sonc, INC: Lehigh University.

- Hamni, A. (2011). Experimental Study Improvement of Quality of Hoe on Small Metal Industry in the Distric Pringsewu. *Jurnal Mechanical*. 2(1): 34-47. <https://journal.eng.unila.ac.id/index.php/mech/article/view/149>
- Kalpakjian, S. (2001). *Manufacturing Engineering and Technology*. Prentice Hall Inc.
- Kumar, A., Gupta, A., Sharma, K.V., Nasir, M., & Khan, T.A. (2013). Influence of activated charcoal as filler on the properties of wood composites. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 46: 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2013.05.017>
- Papari, S., & Hawboldt, K. (2015). A review on the pyrolysis of woody biomass to bio-oil : Focus on kinetic models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 52: 1580–1595. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.191>
- Pastor-Villegas, J., Pastor-Valle, J.F., Rodríguez, J.M.M., & García, M.G. (2006). Study of commercial wood charcoals for the preparation of carbon adsorbents. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 76(1–2): 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2005.08.002>
- Sidney, H.A. (1982). *Introduction to Physical Metallurgy*. Second Edition. Tokyo: McGraw-Hill International Book Company.
- Siyoto, S., & Sodik, M.A. (2015). *Dasar Metodologi Penelitian*. Yogyakarta: Literasi Media Publishing.
- Smith, W.F. (1990). *Principles of Materials Science and Engineering*. Second Edition. McGraw-Hill International Editions: New York. Wiley & Sonc, Inc: Lehigh University.
- Suprpto, A., & Suwarno, S. (2018). Pengaruh Temperatur Penempaan pada Baja 0.5CCrMnSi dan JIS SUP 9 terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro. *Jurnal Teknik ITS*. 7(1): F40-45. doi:10.12962/j23373539.v7i1.29615. <https://ejurnal.its.ac.id>
- Surojo, E., Ariawan, D., & Nurkhozin, M. (2009). Pengaruh Manual Flame Hardening terhadap Kekerasan Hasil Tempa Baja Pegas. *Jurnal Mekanika*. 7(2): 45-49. <https://jurnal.ft.uns.ac.id/index.php/mekanika/article/view/32>
- Zhang, W.B., Li, W.Z., & Zheng, B.S. (2012). Comparative analysis on chemical composition and charcoal characterization of two Miscanthus species. *Advanced Materials Research*, 415–417(December 2011): 1265–1272. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.415-417.1265>
- Zulkarnain, R., Hamdani, & Saputra, E. (2023). Evaluasi Sifat Mekanik Baja Pegas Daun Mobil Isuzu Panther. *Jurnal Mesin Sains Terapan*. 7(1): 14-18. <http://dx.doi.org/10.30811/jmst.v7i1.3920>