

Pengaruh Waktu Penahanan (*Holding Time*) pada Proses *Heat Treatment* terhadap Kinerja Material Baja Pegas Daun

Mukhammad Abdur Rozak^a, Mudjiyanto^{b*}, Eva Hertnacahyani H^c.

STT Ronggolawe, Jl. Kampus Ronggolawe Blok B No. 1 Mentul Cepu

mudjiyantowsd@gmail.com

Intisari

Baja pegas bekas merupakan material yang masih memiliki sifat mekanik yang baik dan banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku alternatif dalam pembuatan alat-alat pertanian oleh industri kecil dan menengah (IKM). Pemanfaatan ini dinilai ekonomis tanpa mengorbankan kualitas alat yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh holding time (waktu penahanan) dalam proses perlakuan panas terhadap kekerasan dan ketangguhan baja pegas daun. Proses perlakuan panas dilakukan pada suhu austenitasi 900 °C dengan variasi holding time selama 15, 25, dan 30 menit, dilanjutkan dengan pendinginan cepat menggunakan media air. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan meningkat secara signifikan seiring bertambahnya waktu penahanan, dari 43 HRC pada spesimen nonrekondisi menjadi 61,5 HRC pada spesimen dengan holding time 30 menit. Sebaliknya, nilai ketangguhan menurun drastis, dari 2,2 J/mm³ menjadi mendekati nol setelah perlakuan panas. Temuan ini menunjukkan adanya trade-off antara kekerasan dan ketangguhan, sehingga pemilihan parameter perlakuan panas harus disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi akhir material. Hasil ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam optimalisasi penggunaan baja pegas bekas untuk aplikasi alat pertanian.

Kata kunci:

Baja Pegas Bekas,
Holding Time,
Kekerasan,
Ketangguhan, Alat
Pertanian

Tentang naskah:

-di terima, 16 April
2023
-diterbitkan, 9 Juni
2023

Abstract

Used leaf springs are materials that still retain good mechanical properties and are widely utilized as alternative raw materials for manufacturing agricultural tools, particularly by small and medium enterprises (SMEs). This approach is considered cost-effective without compromising product quality. This study aims to examine the effect of holding time during heat treatment on the hardness and toughness of leaf spring steel. The heat treatment process was conducted at an austenitizing temperature of 900 °C with holding times of 15, 25, and 30 minutes, followed by rapid quenching using water. The results indicate that hardness increases significantly with longer holding times, from 43 HRC in non-reconditioned specimens to 61.5 HRC in specimens held for 30 minutes. Conversely, toughness values decreased drastically, from 2.2 J/mm³ to nearly zero after heat treatment. These findings reveal a trade-off between hardness and toughness, emphasizing the need to select heat treatment parameters based on the intended application of the component. The results are expected to serve as a reference for optimizing the reuse of used leaf spring steel in agricultural tool applications.

Keyword:

Used Leaf Spring,
Holding Time, Hardness,
Toughness, Agricultural
Tools

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi di bidang manufaktur dan otomotif menuntut penggunaan material dengan sifat mekanik yang unggul, khususnya dalam hal kekerasan dan ketangguhan terhadap beban dampak. Salah satu material yang banyak digunakan dalam komponen mesin modern adalah baja, terutama karena

kemampuannya dalam menahan pembebanan dinamis, keausan, dan dampak akibat meningkatnya kecepatan putaran serta intensitas kerja mesin. Seiring dengan kemajuan dalam bidang rekayasa material, pengembangan baja dengan sifat mekanik yang disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi terus dilakukan, salah satunya melalui proses perlakuan panas.

Perlakuan panas merupakan metode yang umum digunakan untuk meningkatkan performa mekanik logam, termasuk baja, melalui perubahan struktur mikro akibat pemanasan dan pendinginan yang terkendali. Parameter penting dalam proses perlakuan panas adalah holding time atau waktu penahanan pada suhu tertentu, yang berpengaruh langsung terhadap hasil transformasi fasa dan distribusi karbida, sehingga memengaruhi kekerasan serta ketangguhan material. Pemahaman terhadap pengaruh variasi waktu penahanan ini menjadi penting untuk mengoptimalkan sifat mekanik baja, khususnya dalam aplikasi yang memerlukan kombinasi antara kekerasan tinggi dan kemampuan menahan beban impak. sementara itu pegas daun bekas di masyarakat banyak digunakan sebagai bahan pembuat perkakas contohnya, sabit, cangkul, parang, dan lain – lain.

Saat ini, manusia terus berupaya untuk meningkatkan sifat baja dengan tujuan agar kualitasnya menjadi lebih unggul dan efisien saat digunakan. Salah satu metode yang sering dipakai adalah melalui perlakuan panas. Perlakuan panas tidak hanya mengubah dari sifat material, tetapi juga dapat meningkatkan performanya dengan memperkuat dan menonjolkan karakteristik tertentu dari material baja tersebut. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan bahan dengan sifat yang diinginkan, seperti kekuatan tinggi, keuletan, keuletan, serta untuk menghilangkan tegangan sisa dalam material. (Bhaskara Sardi dkk., 2018).

Penelitian yang dilakukan oleh Yunicho (2022) bertujuan untuk mengkaji pengaruh perlakuan panas terhadap karakteristik mekanik baja pegas daun pada kendaraan Isuzu Elf. Material uji berupa baja karbon dengan kandungan karbon 0,57%. Proses perlakuan panas dilakukan pada suhu 850°C dengan holding time selama 20 menit, setelah itu dilanjutkan dengan proses *quenching* menggunakan tiga jenis media, yaitu air, larutan air garam, dan oli, masing-masing sebanyak 5 liter. Hasil pengujian

menunjukkan bahwa kekerasan tertinggi sebesar 63,3 HRC diperoleh pada spesimen yang didinginkan dengan air garam, sedangkan ketangguhan tertinggi sebesar 0,024 J/mm² ditemukan pada spesimen tanpa perlakuan panas (heat treatment). Sebaliknya, nilai ketangguhan terendah tercatat sebesar 0,012 J/mm² pada spesimen yang didinginkan menggunakan air dan oli bekas. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa variasi media pendinginan setelah heat treatment memengaruhi sifat mekanis baja, di mana pendinginan dengan air garam meningkatkan kekerasan, sementara tidak dilakukan heat treatment justru menghasilkan ketangguhan yang lebih tinggi (Yunicho Mardianzaha, 2022).

(Syuffi, 2014) telah melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Variasi Temperatur Hardening terhadap kekerasan Baja S45C dengan media pendingin air”. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *holding time* berpengaruh terhadap tingkat kekerasan material. Proses hardening dilakukan pada variasi suhu 930°C, 955°C, dan 980°C dengan holding time selama 30 menit, diikuti pendinginan menggunakan media air. Pengujian kekerasan dilakukan berdasarkan standar Rockwell Hardness Cone (HRC), dengan hasil masing-masing: 57,9 HRC (930°C), 48,6 HRC (955°C), dan 43,4 HRC (980°C). Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa variasi suhu memberikan pengaruh signifikan terhadap kekerasan baja S45C, dengan suhu optimal pada 930°C yang menghasilkan kekerasan tertinggi sebesar 57,9 HRC.

(Hariyanto, 2018) telah melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi temperatur pemanasan dan durasi holding time terhadap kekerasan baja karbon menengah (St-60) dalam proses hardening, dengan menggunakan suhu 800°C, 830°C, dan 860°C serta waktu penahanan masing-masing selama 15, 20, dan 25 menit. Setelah pemanasan, spesimen didinginkan secara cepat (*quenching*) menggunakan media air. Pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan

tertinggi sebesar 56,27 HRC diperoleh pada suhu 800°C dengan waktu penahanan selama 25 menit. Temuan ini mengindikasikan bahwa penambahan waktu penahanan umumnya meningkatkan kekerasan material, namun pada suhu yang lebih tinggi, waktu penahanan yang terlalu lama justru dapat menyebabkan penurunan kekerasan.

2. Kerangka Teori

2.1. Baja

Baja (steel) merupakan salah satu logam yang memiliki peranan penting dalam industri mesin maupun konstruksi. Baja merupakan logam paduan yang berbasis besi sebagai unsur utama, yang dikombinasikan dengan berbagai elemen lain, terutama unsur karbon.

Pegas diklasifikasikan berdasarkan jenis beban yang diterimanya, seperti pegas tekan, daun, puntir, tarik, volut, piring, cincin, batang puntir, dan spiral. Fungsinya meliputi peredam kejutan, penyimpanan energi, alat ukur, penjepit, serta pemerata tekanan. Baja dengan penampang melingkar merupakan material yang paling umum digunakan.

Lima jenis baja dan beberapa logam non-besi digunakan untuk pegas. Pegas dengan diameter kawat hingga 9,2 mm umumnya dibuat menggunakan kawat tarik keras atau kawat yang ditemper minyak. Sedangkan untuk diameter lebih dari diameter 9,2 mm, digunakan batang rol yang dibentuk panas. Kawat tarik keras tidak memerlukan perlakuan panas pasca pembentukan. Kawat musik (SWP) memiliki mutu tertinggi, sedangkan kawat baja keras (SW) digunakan untuk beban statis dengan harga lebih terjangkau.

Tabel 1. Jenis Material Pegas Silindris Sesuai Penggunaannya (Sularso, 2004)

Pemakaian	Bahan
Pegas biasa (dibentuk panas)	SUP4, SUP6, SUP7, SUP10, SUP11
Pegas biasa (dibentuk dingin)	SW, SUS, SWP, NSWS, BsW, PBW, BeCuW, Kawat ditemper dengan minyak SUP4, SUP6, SUP7, SUP10, SUP11
Pegas tumpuan kendaraan	SWP, SUP6, SUP7, SUP9, SUP10

Pegas pada katup keamanan ketel	SWP, SUP4, SUP6, SUP7,
Pegas untuk governor kecepatan	Kawat ditemper dengan minyak
Pegas untuk katup	untuk pegas katup
Pegas yang digunakan pada pemutar telepon, penutup (shutter) kamera, dudukan, serta mainan	SW BsW PBW, NSWS, BeCuW
Pegas yang dialiri arus listrik	SUS, BsW, NSWS, BeCuW, PBW
Pegas anti magnit	SUS
Pegas tahan panas Pegas tahan korosi	SUS, NSWS, BsW, PBW, BeCuW

2.2 Pegas Daun

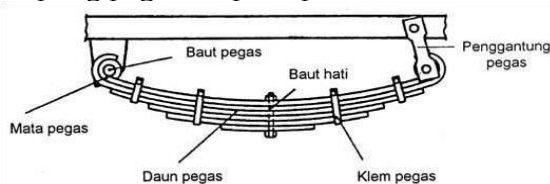
Pegas daun merupakan salah satu bagian dari sistem suspensi yang berfungsi untuk meredam getaran akibat ketidakrataan permukaan jalan. Dibandingkan jenis pegas lainnya, seperti pegas torsi dan pegas koil, pegas daun memiliki kemampuan menahan beban yang lebih besar, sehingga banyak diaplikasikan pada suspensi bagian belakang kendaraan.

Selama operasional, beban berulang dari permukaan jalan ditransmisikan melalui roda ke rumah poros belakang, yang dalam jangka waktu tertentu dapat menyebabkan degradasi sifat mekanik pegas daun sebelum mencapai usia pakainya. Penurunan sifat mekanik ini berdampak pada menurunnya kenyamanan berkendara dan menjadikan komponen tidak layak pakai.

Evaluasi terhadap sifat mekanik dilakukan melalui pengujian kekerasan dan impak. Proses rekondisi material diharapkan mampu mengembalikan performa pegas daun agar dapat digunakan kembali, sehingga memberikan efisiensi dalam perawatan kendaraan dan menurunkan biaya penggantian komponen. Hasil pengujian diharapkan menunjukkan bahwa sifat mekanik pegas hasil rekondisi memenuhi standar kelayakan dan memiliki umur pakai yang lebih panjang.

Selama masa penggunaan, deformasi pada pegas daun dapat terjadi, ditandai dengan perubahan bentuk dari elips menuju kondisi mendekati lurus. Untuk mengatasi pemegasan berlebih, sistem suspensi dilengkapi dengan peredam

getaran yang dipasang di antara dudukan penopang pegas. Seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Pegas daun

Beberapa karakteristik dari pegas daun meliputi: memiliki bentuk sangat sederhana, mampu meredam getaran secara mandiri melalui gesekan antar lembaran pegas, serta berfungsi sebagai penopang tanpa memerlukan lengan tambahan karena bentuknya yang memanjang secara melintang.

2.3. Heat Treatment

Perlakuan panas (*heat treatment*) merupakan proses termal yang melibatkan pemanasan dan pendinginan logam atau paduan dalam kondisi padat secara terkontrol, dengan tujuan memperoleh struktur mikro dan sifat mekanik yang diinginkan. Proses ini memiliki beberapa prinsip dasar, salah satunya adalah laju pemanasan, yakni kecepatan pemanasan material hingga mencapai suhu austenit. Pemanasan harus dilakukan tanpa menyebabkan perubahan bentuk fisik material, sehingga material tetap berada dalam fase padat.

Hardening adalah salah satu metode perlakuan panas dengan tujuan untuk meningkatkan nilai kekerasan suatu material. Proses ini melibatkan pemanasan material hingga mencapai fase austenit, kemudian dilanjutkan dengan pendinginan cepat menggunakan media *quenching*, seperti air. Salah satu faktor yang memengaruhi efektivitas *hardening* terhadap kekerasan material adalah potensi oksidasi akibat kontak dengan udara; oleh karena itu, diperlukan upaya untuk meminimalkan interaksi dengan oksigen selama pemanasan.

Proses lain dalam perlakuan panas adalah *annealing*, yaitu pemanasan hingga suhu austenit yang dilanjutkan dengan penahanan pada suhu tersebut untuk waktu tertentu, kemudian didinginkan perlahan di dalam tungku. *Annealing* tidak ditujukan untuk meningkatkan sifat mekanik baja, tetapi lebih untuk menghilangkan tegangan sisa atau memperbaiki struktur mikro. Sementara itu, *normalizing* adalah proses pemanasan hingga suhu austenit, diikuti dengan

pendinginan di udara terbuka secara perlahan, yang bertujuan untuk memperbaiki homogenitas struktur mikro dan meningkatkan kekuatan material. *Tempering* adalah proses mengeraskan logam khususnya baja, dengan cara memanaskannya kemudian mendinginkannya secara cepat (misalnya dicelup air atau oli) kemudian memanaskannya lagi pada suhu tertentu dan selanjutnya mendinginkan secara perlahan – lahan. yang sama di setiap titik atau bagian. Di mana terjadi perpindahan suatu zat dalam pelarut dari bagian dengan konsentrasi tinggi kebagian dengan konsentrasi rendah atau disebut difusi. *Holding time* bertujuan untuk mengoptimalkan efektivitas proses perlakuan panas terhadap material. Semakin merata distribusi panas yang dicapai selama proses ini, maka semakin baik pula kualitas material yang dihasilkan untuk pengujian. Oleh karena itu, durasi penahanan panas menjadi faktor yang sangat menentukan, khususnya pada perlakuan terhadap baja. Proses *holding time* dilakukan setelah suhu target tercapai, kemudian suhu tersebut dipertahankan dalam jangka waktu tertentu. Pada tahap inilah diharapkan terjadi pemanasan yang homogen di seluruh bagian material. (William D. Callister, Jr', 2009).

2.4 Holding Time

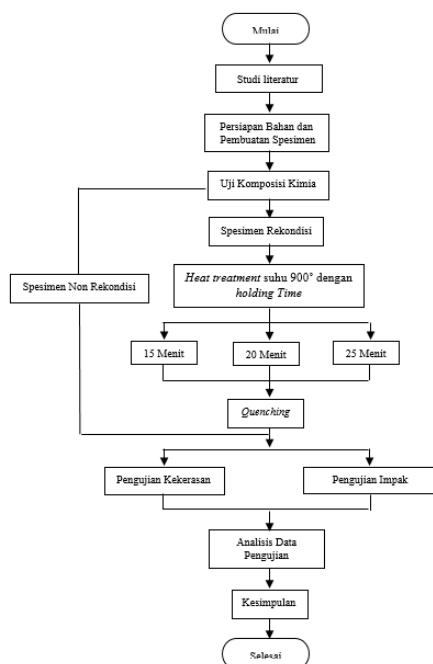
Waktu penahanan (*holding time*) pada proses *hardening* memiliki peran krusial dalam memperoleh tingkat kekerasan maksimum material dengan menjaga suhu tetap pada titik pengerasan selama jangka waktu tertentu. Tahapan ini bertujuan utama untuk menjamin pemanasan yang merata sehingga struktur austenit yang terbentuk menjadi homogen. Selama proses ini, terjadi pelarutan karbida ke dalam matriks austenit serta difusi unsur karbon dan elemen paduan lainnya. Pemanasan yang homogen sangat krusial untuk membentuk fasa austenit yang seragam, yang pada akhirnya menentukan kualitas struktur akhir material. Durasi *holding time* yang tidak tepat dapat menyebabkan transformasi fasa berlangsung tidak sempurna. Jika waktu penahanan terlalu singkat, jumlah karbida yang terlarut tidak mencukupi, sehingga mengakibatkan kekerasan akhir yang

rendah. Namun, jika waktu penahanan terlalu lama, hal ini dapat memicu pertumbuhan butir secara berlebihan yang berdampak buruk terhadap tingkat kekerasan material. Oleh karena itu, penentuan holding time yang optimal merupakan faktor kunci dalam keberhasilan proses perlakuan panas. (Pramono, 2011).

3. Metodologi

3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah pengujian dalam penelitian ini disusun berdasarkan alur kerja yang ditunjukkan pada Diagram Alir pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

3.2 Tempat Penelitian

Spesimen dipersiapkan dan diproses di Workshop Program Studi Teknik Mesin, STT Ronggolawe Cepu. Pengujian komposisi kimia dilaksanakan di Laboratorium Analisa Logam, Tegal, Jawa Tengah, sedangkan pengujian kekerasan dan impak dilakukan di Lab. TC, Undip Semarang.

3.3 Bahan Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini merupakan baja pegas daun bekas yang berasal dari kendaraan Isuzu ELF. Material ini dipilih karena ketersediaannya yang relatif mudah ditemukan dan kandungan unsur paduan yang masih mendukung untuk proses rekondisi

melalui perlakuan panas. sesuai dengan kebutuhan pengujian dan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Baja Bekas daun pegas

3.4 Proses Pemanasan baja dan pendinginan dengan cepat

Perlakuan panas dilakukan dengan memanaskan sembilan spesimen dalam oven, dibagi tiga kelompok berdasarkan waktu penahanan: 15, 25, dan 30 menit, masing-masing terdiri dari tiga spesimen. Pemanasan dilakukan hingga mencapai suhu austenisasi sebesar 900°C. Setelah itu, dilakukan pengujian kekerasan Rockwell dan uji impak. Selain itu, terdapat 2 spesimen yang tidak mengalami perlakuan (non-rekondisi), serta 1 spesimen digunakan untuk uji komposisi kimia. Dengan demikian, jumlah keseluruhan spesimen yang digunakan adalah 12. Adapun prosesnya berlangsung sebagai berikut:

1. Baja di kelompokkan menurut suhu yang akan dilakukan pengujian, dimana suhu yang digunakan 800°C, 850°C, dan 900°C dan setiap variasi suhu terdapat tiga spesimen.
2. Sebelum proses *hardening* dilakukan, maka *oil* harus sudah ada dalam bak almunium sebanyak 3 liter *oil* untuk 9 spesimen, setiap 3 spesimen memerlukan 1 liter media pendingin.
3. Proses *hardening* diawali dengan memasukkan tiga spesimen ke dalam furnace yang disetel pada suhu 800°C. Setelah suhu tercapai, dilakukan holding time selama 30 menit. Langkah ini diulang untuk setiap variasi suhu, dengan persiapan alat keselamatan seperti sarung tangan dan tang sebelum pengambilan spesimen.
4. Setelah suhu mencapai 800°C dengan waktu penahanan selama 30 menit, spesimen awal diangkat menggunakan tang dan alat bantu pengambil spesimen. Proses pengambilan dilakukan secara cepat, kemudian spesimen segera dicelupkan ke dalam media pendingin berupa oli. Proses pendinginan berlangsung selama 5 menit, dan prosedur ini diulangi untuk setiap variasi suhu berikutnya.
5. Setelah 5 menit, kumpulkan seluruh spesimen dengan pinset dan biarkan hingga benar-benar kering sebelum dimasukkan ke dalam kantong spesimen.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengujian Komposisi kimia

Analisis awal dilakukan melalui pengujian komposisi kimia untuk mengidentifikasi kandungan unsur dalam material baja pegas daun. Selanjutnya, dilakukan pengujian kekerasan Rockwell dan uji impak, masing-masing sebanyak tiga kali ulangan, serta satu spesimen nonrekondisi sebagai kontrol. Pengujian dilaksanakan dengan variasi waktu tahan (*holding time*) selama 15, 25, dan 30 menit. Nilai yang digunakan merupakan rata-rata dari hasil pengujian, sebagaimana disajikan pada Tabel 2. pengujian komposisi kimia.

Tabel 2. Hasil pengujian Komposisi Kimia

N0.	Unsur	Kandungan Unsur
1	Fe	Balance
2	C	0,586
3	Si	0,234
4	Mn	0,840
5	P	0,0030
6	S	0,0030
7	Cr	0,731
8	Ni	0,029
9	Mo	0,026
10	Cu	0,040
11	Al	0,020
12	V	0,0050
13	W	0,030
14	Co	0,0050
15	Nb	0,0050
16	Ti	0,0030
17	Mg	-

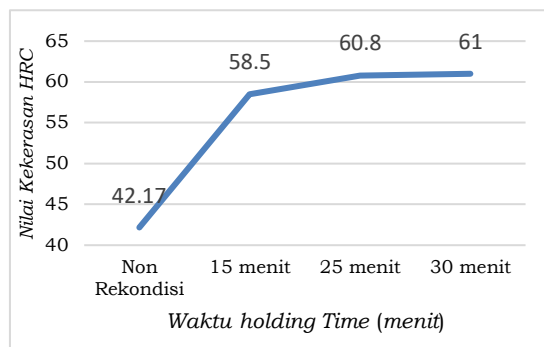
Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia, baja pegas daun pada kendaraan Isuzu ELF diklasifikasikan sebagai baja karbon sedang, ditinjau dari kandungan karbon yang mencapai 0,58%.

4.3 Nilai Pengujian Kekerasan

Hasil Rockwell yang telah dilakukan pada baja pegas daun dipanaskan sampai suhu austenisasi dengan suhu 900 °C dengan variasi waktu penahan 15, 25, 30 menit dan Non rekondisi. Seperti yang ditampilkan dalam, Tabel 3. dan Gambar 4.

Tabel 3. Kekerasan baja pegas

Holding Time	Nilai Kekerasan Rockwell (HRC)			Rata-rata (HRC)
	Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3	
Non Rekondisi	43	41,5	42	42,17
15 menit	58,0	58,5	59,0	58,5
25 menit	60,0	61,0	61,5	60,8
30 menit	62,0	60,0	61,0	61



Gambar 4. Nilai rata - rata pengujian kekerasan

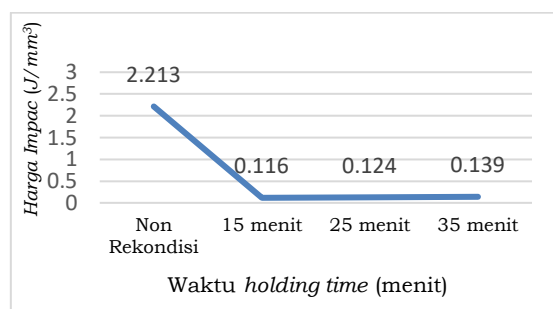
Hasil pengujian kekerasan Rockwell sesuai pada Gambar 4. menunjukkan peningkatan signifikan pada nilai kekerasan baja pegas daun setelah dilakukan proses perlakuan panas. Spesimen nonrekondisi memiliki nilai kekerasan terendah, yaitu sekitar 43 HRC. Setelah dilakukan pemanasan pada suhu austenisasi 900 °C dengan *holding time* 15 menit, nilai kekerasan meningkat tajam menjadi sekitar 59 HRC. Peningkatan terus terjadi pada *holding time* 25 menit, mencapai nilai sekitar 61 HRC, dan sedikit meningkat pada *holding time* 30 menit menjadi sekitar 61,5 HRC. Pola ini menunjukkan bahwa waktu penahanan memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kekerasan material, meskipun pada waktu penahanan yang lebih lama kenaikannya mulai cenderung stagnan.

4.4 Hasil Pengujian Impact

Pengujian impak dilakukan terhadap spesimen baja pegas daun yang telah mengalami proses pemanasan hingga suhu austenisasi 900 °C, dengan variasi waktu penahanan selama 15, 25, dan 30 menit. Sebagai pembandingan, juga disertakan satu spesimen nonrekondisi. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui ketangguhan material terhadap beban kejut setelah perlakuan panas dengan waktu penahanan yang berbeda, dimana hasilnya sesuai Tabel 4. dan Gambar 5.

Tabel 4. Hasil Pengujian *Impact*

Holding Time	Spesimen	Sudut awal (α°)	Sudut akhir (β°)	Pendulum (W) (Kg)
Non Rekondisi		140,18	133,1	1,862
		140,18	132,3	3,140
		140,18	133,2	1,638
	Rata - rata	140,18	132,8	2,213
15 menit	1	140,18	136,6	0,108
	2	140,18	136,6	0,126
	3	140,18	136,6	0,116
	Rata - rata	140,18	137,6	0,116
25 menit	1	140,18	137,0	0,139
	2	140,18	136,8	0,105
	3	140,18	137,0	0,129
	Rata - rata	140,18	136,9	0,124
30 menit	1	140,18	136,6	0,121
	2	140,18	136,6	0,124
	3	140,18	135,7	0,173
	Rata - rata	140,18	136,3	0,139



Gambar 5. Nilai Rata-rata Uji Impact

Berdasarkan Gambar 5. Hasil uji impact terhadap variasi waktu holding, terlihat bahwa nilai ketangguhan material mengalami penurunan yang sangat drastis setelah dilakukan proses re-kondisi. Pada kondisi awal (non rekondisi), nilai impact sebesar 2,213 J/mm³ menunjukkan bahwa material memiliki ketangguhan yang tinggi, artinya mampu menyerap energi benturan dalam jumlah besar sebelum mengalami kerusakan. Namun setelah dilakukan perlakuan panas dengan holding time selama 15 menit, nilai impact turun tajam menjadi 0,116 J/mm³. Selanjutnya, meskipun terjadi sedikit peningkatan nilai impact pada holding time 25 dan 35 menit (menjadi 0,124 dan 0,139 J/mm³), nilainya tetap jauh lebih rendah dibandingkan kondisi awal. Penurunan drastis ini dapat dijelaskan oleh terbentuknya struktur martensit yang meskipun meningkatkan kekerasan material, namun bersifat getas dan kurang mampu menyerap energi benturan. Dengan demikian, proses perlakuan panas cenderung mengorbankan sifat keuletan demi peningkatan kekerasan, yang dapat menjadi pertimbangan penting dalam pemilihan perlakuan tergantung pada aplikasi akhir material. Jika dibutuhkan material yang tangguh terhadap benturan,

maka perlakuan re-kondisi seperti ini perlu dipertimbangkan ulang atau disesuaikan parameternya agar tidak mengurangi ketangguhan secara signifikan.

5. Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan Rockwell dan uji impact pada baja pegas daun Isuzu ELF yang telah mengalami proses perlakuan panas pada suhu austenitasi 900 °C dengan variasi waktu penahanan (*holding time*) 15, 25, dan 30 menit, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai kekerasan meningkat secara signifikan seiring bertambahnya waktu penahanan. Spesimen nonrekondisi memiliki nilai kekerasan terendah (sekitar 43 HRC), sedangkan spesimen dengan holding time 30 menit menunjukkan nilai kekerasan tertinggi (sekitar 61,5 HRC). Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan panas efektif dalam meningkatkan kekerasan material pegas daun.
2. Nilai ketangguhan (uji impact) menunjukkan tren sebaliknya. Spesimen nonrekondisi memiliki nilai impact tertinggi (sekitar 2,2 J/mm³), sedangkan semua spesimen yang telah mengalami perlakuan panas menunjukkan penurunan drastis dalam ketangguhan, mendekati nol. Ini menunjukkan bahwa peningkatan kekerasan akibat perlakuan panas berdampak pada menurunnya kemampuan material dalam menyerap energi kejutan.
3. Terdapat trade-off antara kekerasan dan ketangguhan, di mana peningkatan kekerasan melalui proses perlakuan panas menyebabkan penurunan signifikan pada sifat keuletan material. Oleh karena itu, pemilihan parameter perlakuan panas harus mempertimbangkan kebutuhan aplikasi akhir dari komponen tersebut.

Daftar Pustaka

- Bhaskara Sardi, V., Jokosisworo, S., & Yudo, H. (2018). JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Pengaruh Normalizing dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (*Holding Time*) Baja ST 46 terhadap Uji Kekerasan, Uji Tarik, dan Uji Mikrografi. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 6(1), 142.
- Hariyanto, Y. A. (2018). *Proses Hardening yang dilakukan oleh Aldo Rendra (2008) bahwa nilai kekerasan material*

- baja SK3 (*Holding Time*) serta media pendinginan yang digunakan . proses hardening antara lain temperatur pemanasan , waktu pemanasan , waktu pendingin yang dig. 7 (1), 3283–3300.
- Pramono, A. (2011). Karakterisrik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprochet Rantai. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 5 (1), 32–38.
- Sularso, K. S. (2004). *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. PT. PRADNYA PARAMITA.
- Syuffi, R. F. (2014). PENGARUH VARIASI TEMPERATUR HARDENING TERHADAP KEKERASAN BAJA S45C DENGAN MEDIA PENDINGIN AIR Abstrak. 03, 106–112.
- William D. Callister, Jr', D. G. R. (2009). *Materials Science And Engineering an Introduction*.
- Yunicho Mardianzaha, M. (2022). Uji Eksperimen Heat Treatment Baja Pegas Dengan Variasi Media Pendinginan Terhadap Sifat Mekanis. 1, 9–15.