



Analisis Kekuatan Lentur Pegas Daun Truk dan Mobil Hasil *Tempering*

Raihan Insan Nararya^{1*}, Kris Witono², Asrori³, Eko Yudiyanto⁴, Syamsul Hadi⁵
¹⁻⁵ Politeknik Negeri Malang, Malang, Indonesia

Alamat: Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65141

Korespondensi penulis: raihaninsan87@email.com

Abstract. Leaf springs are one of the suspension systems that are still widely used in various modes of transport such as cars and trucks. The spring functions to support the load and reduce vibration from operational activities. This study aims to analyse the bending strength and hardness of steel leaf springs of trucks and cars resulting from tempering heat treatment. The three point bending method was used as the flexural strength testing method and the Rockwell C Hardness method testing was used for hardness testing with leaf springs in raw, tempered 460°C, and tempered 510°C conditions. From the results of the study, the highest average bending strength value of 3733,55 MPa was obtained and an average roughness value of 31,8 HR was obtained for the 510°C tempered truck leaf springs. This also applies to the 510°C tempered car leaf springs, where the average bending strength value obtained is 3392,65 MPa and the average hardness value obtained is 29,5 HR. Thus, it is recommended that tempering heat treatment that can be applied to truck and car leaf springs be carried out at 510°C to increase the bending strength and ductility of the leaf springs.

Keywords: bending strength, hardness test, heat treatment, steel leaf spring, tempering.

Abstrak. Pegas daun merupakan salah satu sistem suspensi yang masih banyak digunakan pada berbagai moda transportasi seperti mobil dan truk. Pegas berfungsi untuk menopang beban muatan dan meredam getaran dari aktivitas operasional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan lentur dan kekerasan pada baja pegas daun truk dan mobil hasil perlakuan panas *tempering*. Metode *three point bending* digunakan sebagai metode pengujian kekuatan lentur dan pengujian metode *Hardness Rockwell C* digunakan untuk pengujian kekerasan dengan pegas daun berada pada kondisi *raw*, *tempering* 460°C, dan *tempering* 510°C. Dari hasil penelitian, didapatkan rata-rata nilai kekuatan lentur tertinggi sebesar 3733,55 MPa dan didapatkan rata-rata nilai kekasaran sebesar 31,8 HR pada pegas daun truk hasil *tempering* 510°C. Hal tersebut juga berlaku pada pegas daun mobil hasil *tempering* 510°C, dimana rata-rata nilai kekuatan lentur yang didapat sebesar 3392,65 MPa dan rata-rata nilai kekerasan yang didapat sebesar 29,5 HR. Sehingga, disarankan perlakuan panas *tempering* yang dapat diterapkan pada pegas daun truk dan mobil dilakukan pada suhu 510°C guna meningkatkan kekuatan lentur dan keuletan pegas daun tersebut.

Kata kunci: baja pegas daun, kekuatan lentur, uji kekerasan, perlakuan panas, *tempering*.

1. LATAR BELAKANG

Dalam jalannya proses produksi, perusahaan manufaktur dan rekayasa di bidang alat berat memiliki visi yakni menjadi perusahaan rekayasa dan manufaktur unit alat berat terbaik dengan menyediakan produk dengan kualitas yang luar biasa. Perusahaan manufaktur alat berat berkomitmen untuk menghasilkan produk berkualitas tinggi untuk mengoptimalkan produktivitas, hingga pada akhirnya akan tercapai nilai jual yang maksimal dan kepuasan pelanggan. Agar tercapainya kondisi tersebut, perusahaan manufaktur yang memproduksi alat berat harus menjamin kualitas maupun kuantitas. Aspek kualitas mengacu pada kelayakan seperti halnya komponen unit atau apakah unit tersebut dapat diandalkan saat digunakan oleh pelanggan. Dari segi kuantitas, mengacu pada harga unit

yang dijual oleh perusahaan manufaktur alat berat apakah sesuai dengan kualitas produk atau tidak (Fikri Firdaus, 2021).

Perusahaan jasa pertambangan juga turut serta berlomba-lomba dalam memberikan jasa penambangan yang terbaik dengan menjaga kualitas, performa, serta keandalan unit dalam beroperasi. Hal ini sejalan dengan adanya target produksi yang telah disepakati. Guna mencapai target, diperlukan performa unit terbaik sehingga produktivitas dan operasional penambangan berjalan efisien dan lancar (Anggraini, 2018). Kemudian, dalam menjaga kualitas dan kondisi unit agar selalu maksimal, perlu diimbangi proses perawatan rutin yang terjadwal. Ketepatan jadwal perawatan akan sangat berdampak terhadap performa unit agar selalu siap beroperasi. Adapun perawatan yang terbagi menjadi tiga jenis yakni, *preventive maintenance*, *predictive maintenance*, dan *corrective maintenance*. Masing-masing jenis perawatan tersebut memiliki tujuannya masing-masing baik untuk mencegah, memprediksi, dan memperbaiki. Kemudian, untuk jadwal perawatan terbagi menjadi harian, mingguan, bulanan, dan tahunan (Aulia Firdaus dkk., 2017). Namun demikian, perawatan yang dilakukan dengan sangat baik tidak akan menghentikan atau menjamin unit terhindar dari kerusakan komponen yang diakibatkan kerusakan secara tidak sengaja saat operasi atau dikarenakan tercapainya umur maksimal dari komponen tersebut.

Salah satu jenis unit yang banyak digunakan pada industri jasa pertambangan adalah *dump truck*. Beban yang ditopang oleh *dump truck* tidak hanya beban dari muatan yang diangkut saja, melainkan juga beban dari rangka utama, bobot vessel, dan suspensi serta komponen pendukung seperti mekanisme dan silinder hidrolik. Hal ini menyebabkan rangka utama, axle, dan suspensi menerima efek pembebanan yang sangat besar.

Dalam skala yang lebih kecil, kendaraan bermotor menjadi salah satu aspek penting dalam kelancaran proses bisnis suatu industri. Kendaraan bermotor yang sering digunakan adalah kendaraan roda empat berjenis *pick up* dan mobil konvensional untuk membawa penumpang. Kedua jenis mobil tersebut memiliki fungsi yang sama namun memiliki perbedaan dalam hal beban muatan yang dibawa. Mobil *pick up* lebih banyak digunakan untuk membawa muatan barang dikarenakan desain dari mobil tersebut memiliki kelonggaran ruangan dibagian belakang, sedangkan mobil konvensional didesain untuk membawa penumpang didalamnya. Oleh karena itu, sistem suspensi menjadi salah satu komponen penting yang ada didalam kedua jenis kendaraan beroda empat tersebut untuk mendukung kenyamanan pengguna selama berkendara.

Suspensi berfungsi untuk menopang atau menahan serta meneruskan beban muatan menuju axle. Suspensi juga berfungsi sebagai penyerap kejut dan peredam getaran dari

aktivitas operasi di jalan dan juga kejutan yang diterima roda karena medan jalan, sehingga tidak semua kejutan akan diteruskan menuju vessel secara langsung. Adanya suspensi sangat berdampak pada usia komponen yang ada di atasnya, karena getaran yang diterima komponen di atasnya dapat diredam (Kbarek dkk., 2019). Sayangnya, suspensi memiliki kekuatan yang sangat terbatas untuk menahan beban yang berkelanjutan, di mana beban ini dapat mengakibatkan suspensi dalam hal ini pegas daun menjadi retak dan putus secara tiba-tiba atau tidak sengaja patah. Beberapa kemungkinan terjadinya putus pegas di antaranya kondisi lingkungan atau jalan, beban yang berlebihan ataupun karena faktor material seperti lifetime komponen, dan kelelahan material yang diikuti retakan bahkan hingga terjadinya kegagalan atau patah (Hidayat, 2012).

Berdasarkan uraian tersebut, maka diperlukan penelitian tentang analisis kekuatan lentur pegas daun truk dan mobil hasi tempering untuk meminimalisir kemungkinan terjadinya kerusakan pada pegas daun pada kedua kendaraan tersebut.

2. KAJIAN TEORITIS

A. Sistem Suspensi

Suspensi adalah serangkaian komponen yang terdapat pada bagian bawah kendaraan berfungsi untuk meredam dan menyerap getaran di saat kendaraan beroperasi. Suspensi menyerap getaran atau kejutan yang diakibatkan dari kerusakan jalan. Beberapa jenis suspensi lain di antaranya yakni, helical spring, torisoin bar suspension dan air suspension.

B. Dump Truck Tipe FMX-440

Dump truck merupakan kendaraan pengangkut yang digunakan untuk mengangkut material seperti kerikil, batu, pasir, tanah, hasil tambang dan material lainnya. *Dump truck* membutuhkan vessel untuk membawa muatan.

C. Mobil

Mobil merupakan salah satu kendaraan bermotor yang umum digunakan oleh umat manusia. Menurut (Fahrunasrudin, 2017) mobil merupakan sarana transportasi yang berkembang cukup pesat di Indonesia, seiring dengan pertumbuhan penduduk Indonesia yang membutuhkan transportasi mobil dikarenakan keamanan dan kenyamanannya. Mobil menjadi sarana transportasi yang banyak diminati karena keragaman jenis, tipe, hingga harga dan kriteria lain yang ditawarkan.

D. Material Baja Pegas

Baja pegas adalah baja karbon yang mengandung 0,5 - 0,6 % karbon atau baja karbon sedang, dengan kandungan unsur lain Si, Mn dan Cr sampai 1%, selanjutnya dengan Mo, V sampai 0,25% dan B hanya sampai 0,0005 % (Nugroho, 2017). Material pada baja pegas memiliki karakteristik di antaranya sifat mekanik seperti kekuatan tarik, batas elastisitas, batas defleksi, kekerasan, dan modulus elastis serta ketahanan terhadap korosi. Baja pegas yang digunakan pada pegas daun adalah baja SUP9.

E. Teori Kegagalan

Bagian mesin atau struktur dari suatu alat dapat berpotensi mengalami kegagalan baik dalam bentuk retak, patah, regang dan lain-lain. Kegagalan tersebut dapat disebabkan berbagai faktor seperti; desain yang tidak tepat, beban berlebih, lingkungan dan lain-lain. Ketika penyebab kegagalan diketahui, aspek penyebab kegagalan harus dipertimbangkan dalam desain, sehingga kegagalan yang tidak diharapkan tidak terjadi.

(Zainuri, Ach Muhib, 2023) mendefinisikan analisa kegagalan teknik (*engineering failure analysis*) sebagai penyelidikan atau analisis objektif terhadap kegagalan teknik dengan menggunakan sains dan analisa teknik dengan tujuan mengungkapkan penyebab langsung kegagalan dan akar permasalahannya. Kegagalan teknik dapat terjadi ketika suatu komponen atau struktur tidak dapat lagi menjalankan fungsinya dengan aman dan andal.

F. Tegangan (*Stress*)

Tegangan merupakan perilaku material saat diberikan gaya atau beban. Jika suatu material dengan nilai luasan penampang yang sama diberikan beban yang sama dan searah di sepanjang material tersebut nantinya akan timbul tegangan pada material tersebut (Wulandari dkk, 2021). Tegangan atau stress, merupakan gaya reaksi yang diberikan oleh sebuah material untuk mengembalikan struktur material itu sendiri menuju kondisi awal. Tegangan memaksa gaya yang diterima pada struktur untuk Kembali dan besarnya persatuan luas adalah rata di seluruh permukaan material. Secara matematis, tegangan dapat dinyatakan melalui persamaan 2.1:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

dengan:

σ : *Engineering Stress* (Pascal, N/mm², Mpa)

P : Beban yang diberikan (Newton)

A : Luas penampang (mm²)

G. Regangan

Regangan atau *strain* merupakan perubahan dari ukuran sebuah material akibat gaya yang diterima, dan mengakibatkan material mengalami deformasi atau perubahan bentuk baik memanjang, memendek, membesar, mengecil, atau bentuk lain sesuai arah gaya yang diterima. Jika tegangan adalah pembebanan pada material dari arah luar, maka regangan adalah respons material dari pembebanan tersebut (Wulandari dkk, 2021). Regangan secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan 2.2:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

dengan:

ε : Regangan (*strain*)

Δl : Perubahan panjang

l_0 : Panjang awal

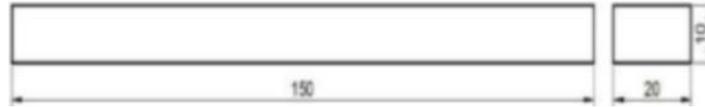
l : Panjang setelah diberi gaya

H. Patahan

Patah atau *fracture* merupakan terbaginya sebuah benda atau komponen menjadi 2 bagian atau lebih akibat terjadinya tegangan baik statis dan dinamis. Tegangan yang ada dalam material bisa jadi tegangan tarik, tegangan tekan, tegangan geser atau torsi. Terdapat dua jenis mode patahan dalam rekayasa material yaitu patahan ulet dan patahan getas. Klasifikasi jenis patah tersebut didasarkan pada jenis material atau bahan yang digunakan, lalu apakah bahan tersebut dapat menyerap beban dan menerima deformasi plastis yang memungkinkan material untuk menyerap sejumlah besar energi sebelum terjadinya patah. Bahan ulet memiliki deformasi plastis yang tinggi, dan pembentukan serta perambatan retak yang memanjang dan menjalar secara bertahap. Sedangkan jika dibandingkan dengan material yang keras atau getas, material tersebut memiliki deformasi plastis yang rendah. Tegangan dan regangan pada patahan ulet dan getas bergantung pada komposisi materialnya. Pada proses terjadinya retakan, hal tersebut melibatkan dua tahapan yaitu terbentuknya retak dan proses rambatan retak.

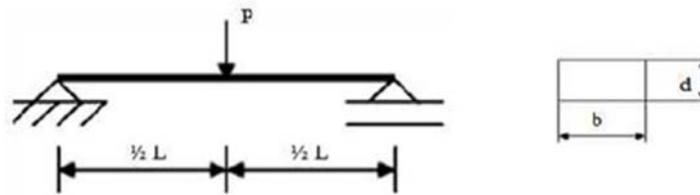
I. Uji Lentur

Uji lentur adalah suatu metode pengujian untuk menilai kekuatan dan kemampuan suatu bahan atau struktur dalam menahan beban lentur atau tekanan. Proses uji lentur melibatkan pemberian beban pada suatu bahan atau struktur dalam suatu bentuk tertentu dan pengukuran deformasi atau perubahan bentuk yang terjadi akibat beban tersebut. Uji ini dapat memberikan informasi mengenai sifat-sifat mekanik dari bahan, seperti kekuatan lentur, modulus elastisitas, keuletan, dan lainnya.



Gambar 1. Standar Uji Lentur ASTM E23-02

Pada pengujian lentur, penulis menggunakan metode pengujian lentur *three point bending*. *Three point bending* merupakan pengujian yang menggunakan 2 tumpuan dan 1 penekan. Keunggulan dari metode pengujian *three point bending* adalah kemudahan dalam persiapan benda uji dan pengujian serta pembuatan *point* lebih mudah. (Khamid, 2011)



Gambar 2. Three Point Bending Method

Secara matematis, pengujian lentur metode *three point bending* dapat dinyatakan dalam persamaan 2.3:

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2}$$

dengan:

σ_f : Tegangan lengkung (kgf/mm²)

P : Beban atau gaya yang terjadi (kgf)

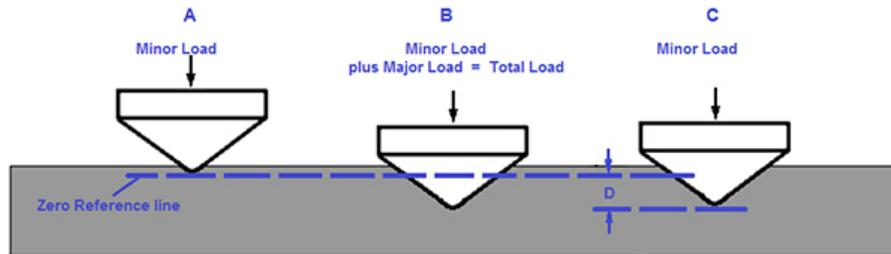
L : Jarak point (mm)

B : Lebar benda uji

d : Ketebalan benda uji (mm)

J. Uji Kekerasan Rockwell C

Uji kekerasan *rockwell* merupakan salah pengujian yang sering dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari sebuah material. Pengujian ini banyak digunakan untuk material yang keras. Hal tersebut dikarenakan sifat-sifatnya yang cepat, bebas dari kesalahan manusia, mampu untuk membedakan perbedaan kekerasan yang kecil pada baja atau logam yang diperkeras, dan ukuran lekukannya kecil. Sehingga, bagian bagian yang mendapatkan perlakuan panas dapat diuji tanpa menimbulkan kerusakan. (Hera Setiawan, 2013)



Gambar 3. Ilustrasi Pengujian Kekerasan Metode *Rockwell*

Pengujian kekerasan *rockwell* memiliki tujuan untuk menentukan kekerasan material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji atau spesimen yang berupa bola baja maupun kerucut intan yang ditekankan pada permukaan spesimen material uji. Pengukuran pengujian dapat dilakukan dengan bantuan sebuah kerucut intan dengan sudut puncak 120° . Prinsip kerja pengujian kekerasan metode *rockwell* adalah menekankan *penetrator* kedalam benda kerja dengan pembebanan, dan kedalaman *indentasi* yang akan memberikan harga kekerasan. (Hera Setiawan, 2013)

Secara matematis, nilai kekerasan metode *rockwell* dapat dihitung melalui persamaan 2.4:

$$HR = N - \left(\frac{d}{s}\right) \quad (2.4)$$

dengan:

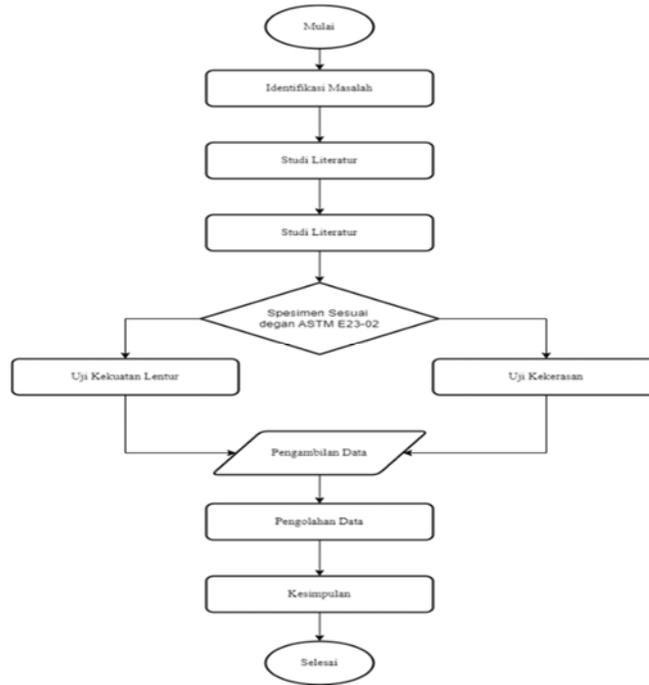
HR : *Hardness Rockwell Value*

N : 100 atau 130, tergantung pada ukuran kekerasan *rockwell* yang digunakan

d : Kedalaman penetrasi dihitung dari titik 0 (mm)

s : 0,001 atau 0,002, tergantung pada ukuran kekerasan *rockwell*

3. METODE PENELITIAN



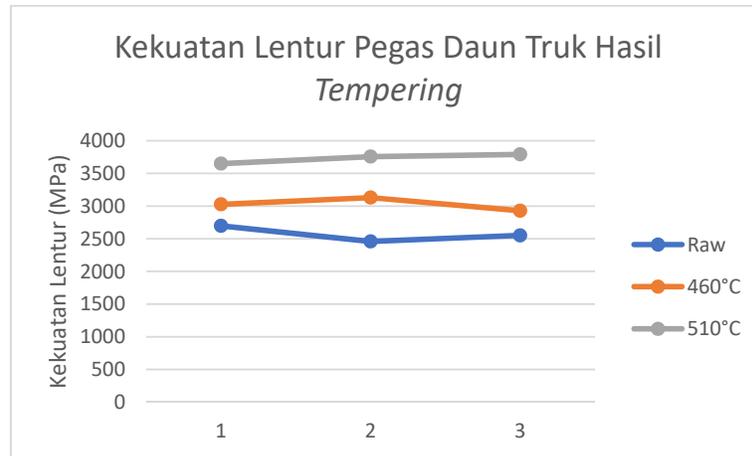
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Pegas Daun Truk

Berikut adalah data hasil pengujian kekuatan lentur pegas daun truk hasil *tempering* dengan pengujian dilakukan sebanyak tiga replikasi:

Tabel 1. Hasil Pengujian Kekuatan Lentur Pegas Daun Truk

Perlakuan	Beban	L	b	h ²	Kekuatan Lentur	Rata-rata	
Raw	1	120	50	64	2696,82	2569,22	
	2				2458,82		
	3				28355,65		
460°C	1				33630,92	3026,78	3028,52
	2				34776,34	3129,87	
	3				32543,46	2928,91	
510°C	1				40562,52	3650,63	3733,55
	2				41753,82	3757,84	
	3				42135,25	3792,17	



Gambar 4. Grafik Nilai Kekuatan Lentur Pegas Daun Truk

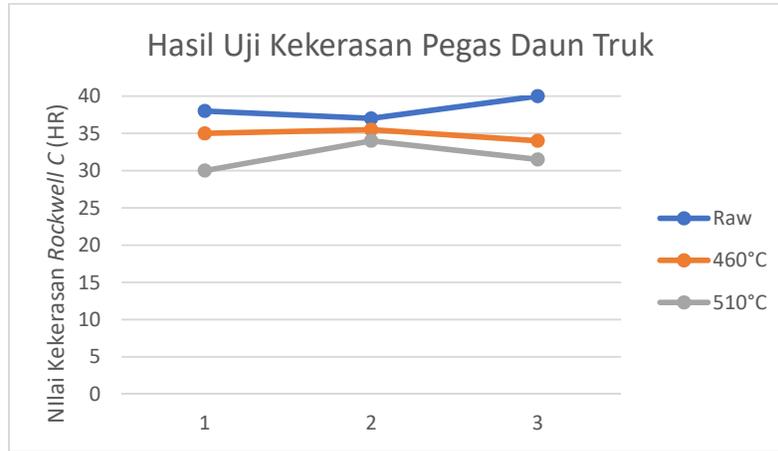
Gambar 4, merupakan grafik nilai kekuatan lentur pegas daun truk hasil *tempering*. Dapat dilihat bahwasannya terjadi perbedaan nilai yang signifikan antara pegas daun truk hasil *tempering* dengan yang tidak diberi perlakuan panas *tempering*. Terdapat perbedaan rata rata kekuatan lentur sebesar 459,30 MPa antara spesimen *raw* dengan spesimen *tempering* 460°C. Kemudian, perbedaan rata rata nilai antara *tempering* 460°C dengan *tempering* 510°C mengalami kenaikan yang cukup signifikan, yaitu sebesar 705,03 MPa. Sehingga, perlakuan panas *tempering* pada suhu 460°C terbukti mampu meningkatkan kekuatan lentur pegas daun truk sebesar 17,8% dari kekuatan lentur *raw material* serta perlakuan panas *tempering* pada suhu 510°C mampu meningkatkan kekuatan lentur sebesar 45,3% atau 1164,33 MPa dari kekuatan lentur *raw material*.

B. Hasil Pengujian Kekerasan Pegas Daun Truk

Berikut adalah data hasil pengujian kekerasan pegas daun truk hasil *tempering* dengan pengujian dilakukan sebanyak tiga replikasi:

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan Pegas Daun Truk

Suhu	HR			Rata-rata (HR)
	1	2	3	
Raw	38	37	40	38,3
460°C	35	35.5	34	34,8
510°C	30	34	31.5	31,8



Gambar 5. Gradik Nilai Kekerasan Pegas Daun Truk

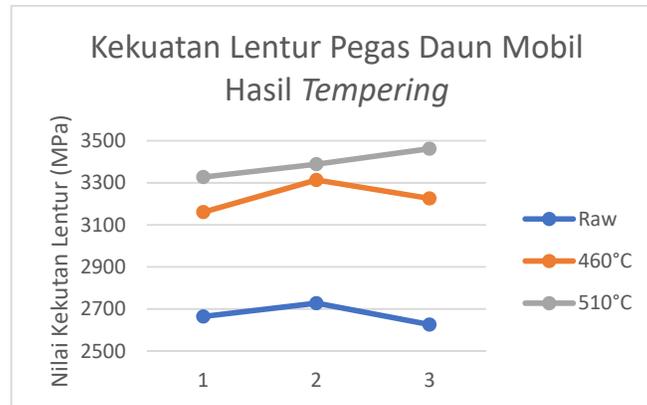
Berdasarkan gambar 5, terlihat nilai kekerasan spesimen hasil *tempering* mengalami tren penurunan yang tidak terlalu signifikan pada tiap level perlakuan yang digunakan. Pada spesimen yang mendapatkan perlakuan panas *tempering* 460°C mengalami penurunan nilai sebesar 3,5 HR atau sebesar 10,05% dari nilai kekerasan spesimen *raw*. Kemudian, spesimen dengan perlakuan panas *tempering* 510°C mengalami penurunan nilai sebesar 6,5 HR atau sebesar 20,4% dari nilai kekerasan spesimen *raw*. Dari hasil pengujian tersebut, didapatkan hasil bahwasannya suhu *tempering* mempengaruhi nilai kekerasan suatu material yang menyebabkan sifat dari material tersebut menjadi ulet. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai spesimen yang mendapatkan perlakuan panas *tempering* dengan suhu yang semakin tinggi, nilai kekerasan dari material tersebut semakin mengecil.

C. Hasil Pengujian Kekuatan Lentur Pegas Daun Mobil

Berikut adalah data hasil pengujian kekuatan lentur pegas daun mobil hasil *tempering* dengan pengujian dilakukan sebanyak tiga replikasi:

Tabel 3. Hasil Pengujian Kekuatan Lentur Pegas Daun Mobil

Perlakuan	Beban	L	b	h ²	Kekuatan Lentur	Rata-rata
Raw	1	120	50	64	2663,88	2672,19
	2				2727,34	
	3				2625,34	
460°C	1	120	50	64	3160,48	3233,22
	2				3313,38	
	3				3225,79	
510°C	1	120	50	64	3327,34	3392,65
	2				3388,44	
	3				3462,15	



Gambar 6. Grafik Nilai Kekuatan Lentur Pegas Daun Mobil

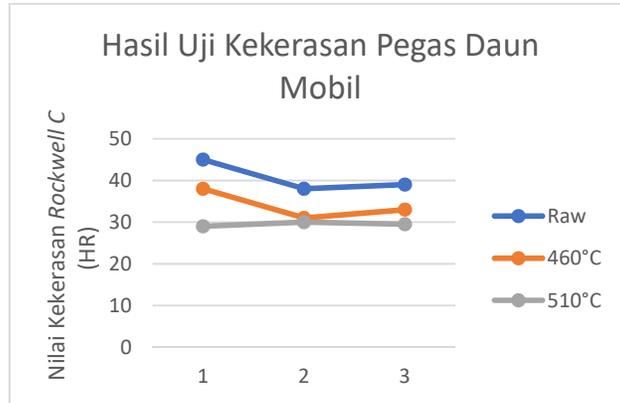
Gambar 6, menunjukkan grafik nilai dari kekumendaatan lentur pegas daun mobil yang mendapatkan perlakuan panas *tempering* maupun tidak mendapatkan. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat adanya peningkatan kekuatan lentur yang signifikan antar spesimen *raw* dengan spesimen *tempering* 460°C dan 510°C. Terjadi peningkatan kekuatan lentur pegas daun mobil hasil *tempering* 460°C sebesar 561,03 MPa atau meningkat sebesar 20,9% dari kekuatan lentur spesimen *raw*. Pada spesimen *tempering* 510°C terjadi peningkatan yang sangat signifikan dari nilai kekuatan lentur spesimen *raw* yaitu sebesar 720,46 MPa atau sebesar 26,96%.

D. Hasil Pengujian Kekerasan Pegas Daun Mobil

Berikut adalah data hasil pengujian kekerasan pegas daun truk hasil *tempering* dengan pengujian dilakukan sebanyak tiga replikasi:

Tabel 4. Hasil Pengujian Kekerasan Pegas Daun Truk

Suhu	HR			Rata-rata (HR)
	1	2	3	
Raw	45	38	39	40,6
460°C	38	31	33	34
510°C	29	30	29.5	29,5



Gambar 7. Grafik Nilai Kekerasan Pegas Daun Mobil

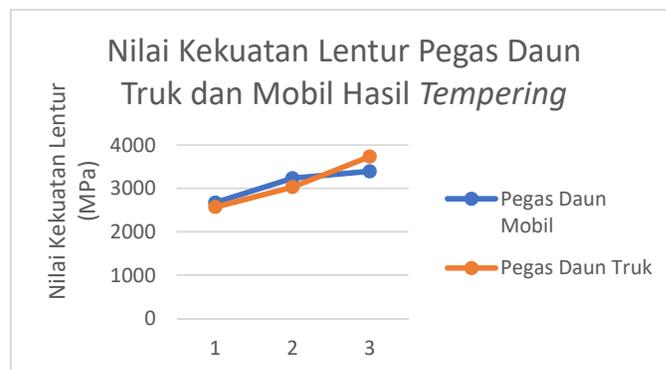
Gambar 4.4 merupakan grafik hasil uji kekerasan pada spesimen pegas daun mobil hasil *tempering* maupun tidak. Pada grafik tersebut terlihat bahwa nilai kekerasan spesimen menunjukkan tren penurunan pada tiap level perlakuan panas *tempering*. Nilai rata-rata kekerasan spesimen *raw* menurun sebesar 16,3% terhadap nilai rata-rata kekerasan spesimen *tempering* 460°C. Kemudian, nilai rata-rata kekerasan spesimen *raw* terhadap spesimen *tempering* 510°C menurun sebesar 27,45%. Hal tersebut membuktikan bahwasannya semakin tinggi suhu perlakuan panas *tempering* maka akan semakin ulet material yang diberikan perlakuan tersebut.

E. Perbandingan Kekuatan Pegas Daun Truk dan Mobil Hasil Tempering

Berikut adalah hasil perbandingan nilai kekuatan lentur serta nilai kekerasan pegas daun truk dan mobil hasil *tempering*:

Tabel 5. Perbandingan Kekuatan Lentur Pegas Daun Truk dan Mobil

Perlakuan	Pegas Daun Truk	Pegas Daun Mobil
Raw	2569,22	2672,19
460°C	3028,52	3233,22
510°C	3733,55	3392,65



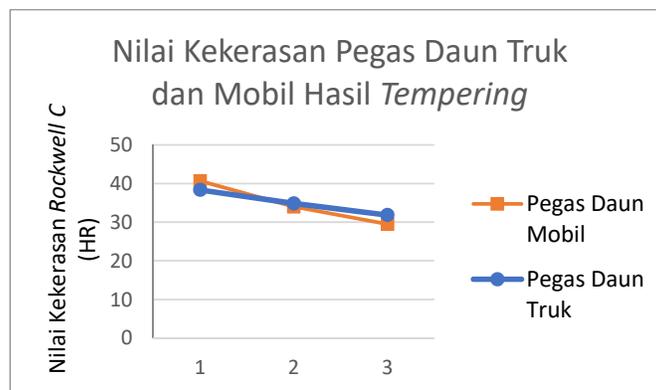
Gambar 8.

Grafik Hasil Pengujian Kekuatan Lentur Pegas Daun Truk dan Mobil

Dari hasil pengujian kekuatan lentur terhadap kedua pegas tersebut, dalam kondisi belum mendapatkan perlakuan panas tempering, diketahui bahwa pegas daun mobil memiliki nilai kekuatan lentur lebih tinggi sebesar 102,97 MPa daripada pegas daun truk. Pada kondisi telah dilakukan *tempering* dengan suhu 460°C, nilai kekuatan lentur pegas daun mobil relatif lebih tinggi sebesar 204,70 MPa daripada nilai kekuatan lentur pegas daun truk. Namun, pada perlakuan panas *tempering* 510°C, nilai kekuatan lentur pegas daun truk memiliki nilai lebih tinggi sebesar 304,90 MPa daripada pegas daun mobil. Sehingga, dari hasil pengujian terhadap kedua pegas daun hasil *tempering* tersebut, dapat dikatakan bahwa *tempering* berpengaruh terhadap meningkatnya kekuatan lentur dari masing masing pegas daun. Semakin tinggi suhu *tempering* yang diterapkan pada masing-masing pegas daun maka semakin tinggi juga nilai kekuatan lentur kedua pegas tersebut.

Tabel 6. Perbandingan Nilai Kekerasan Pegas Daun Truk dan Mobil

Perlakuan	Pegas Daun Truk	Pegas Daun Mobil
Raw	38,3	40,6
460°C	34,8	34
510°C	31,8	29,5



Gambar 9.

Grafik Hasil Pengujian Kekerasan Pegas Daun Truk dan Mobil

Dari hasil pengujian kekerasan terhadap kedua pegas tersebut, pada spesimen tanpa perlakuan panas *tempering*, pegas daun mobil memiliki nilai kekerasan lebih tinggi sebesar 2,3 HR daripada pegas daun truk. Pada perlakuan panas *tempering* 460°C, perbedaan nilai kekerasan antara pegas daun truk dan mobil tidak terlalu jauh, hanya sebesar 0,8 HR. Sedangkan pada *tempering* 510°C, perbedaan nilai kekerasan antara pegas daun truk dan mobil sebesar 2,3 HR. Dari hasil pengujian terhadap kedua pegas tersebut, perlakuan panas *tempering* pada suhu 510°C terbukti efektif untuk

meningkatkan keuletan dari kedua pegas tersebut. Semakin tinggi suhu *tempering* yang digunakan maka semakin rendah nilai kekerasan yang didapatkan pada ke kedua pegas daun tersebut.

F. Nilai Optimal *Tempering* Pegas Daun Truk dan Mobil

Pengujian kekuatan lentur dan kekerasan yang telah dilakukan terhadap kedua pegas terbukti mampu meningkatkan kekuatan lentur dan keuletan dari masing masing pegas. Dari hasil pengujian, pada suhu *tempering* tertinggi yaitu 510°C terbukti efektif meningkatkan kekuatan lentur dan menurunkan kekerasan dari kedua pegas daun tersebut. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan adanya perubahan struktur mikro berupa sebaran *martensite* yang berkurang sehingga menyebabkan material tersebut menjadi ulet. Perlakuan panas *tempering* suhu 510°C pada pegas daun truk terbukti mampu meningkatkan kekuatan lentur dan menurunkan kekerasan terhadap kedua pegas daun tersebut. Pada pegas daun truk kekuatan lentur meningkat sebesar 45,3% dari nilai kekuatan lentur *raw* material. Sedangkan untuk nilai kekerasannya menurun sebesar 20,4% dari nilai kekerasan *raw* material.

Sedangkan pada pegas daun mobil, *tempering* suhu 510°C menjadi nilai optimal yang dapat diterapkan pada pegas daun tersebut. Perlakuan panas tersebut mampu meningkatkan kekuatan lentur sebesar 26,96% dari kekuatan lentur pegas daun mobil tanpa *tempering*. Selain itu, perlakuan panas *tempering* suhu 510°C mampu menurunkan kekerasan material tersebut sebesar 27,45% dari nilai kekerasan pegas daun mobil tanpa perlakuan panas *tempering*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan nilai suhu optimal untuk diterapkannya perlakuan panas *tempering* pada pegas daun truk dan mobil adalah sebesar 510°C. Pada suhu tersebut, pegas daun truk mengalami peningkatan kekuatan lentur sebesar 45,3% atau 1164,33 Mpa dari kekuatan lentur *raw* material. Sedangkan nilai kekerasannya menurun sebesar 20,4% atau sebesar 6,5 HR.

Hal tersebut juga berlaku pada pegas daun mobil, dimana didapatkan peningkatan kekuatan lentur sebesar 26,96% atau sebesar 720,46 Mpa dari kekuatan lentur *raw* material. Sedangkan nilai kekerasannya menurun sebesar 11,1 HR atau sebesar 27,45%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu perlakuan panas *tempering* yang diterapkan maka semakin tinggi kekuatan lentur sebuah baja pegas daun dan semakin rendah nilai kekerasannya.

DAFTAR REFERENSI

- Amin, A. S., Rizal, Y., & Suropto, H. (2022). Kajian uji bending pegas daun pada truk angkutan barang. *ENOTEK: Jurnal Energi dan Inovasi Teknologi*, 2(01), 26–29.
- Andreas, L. I. (2023). Pengaruh perlakuan panas single dan double quenching-tempering terhadap struktur mikro dan sifat mekanik baja JIS SUP 9A (Doctoral dissertation, Universitas Lampung).
- Anggraini, L. (2018). Fatigue analysis pada pegas daun jenis SST 74 dalam aplikasi industri alat berat dengan pemodelan metode elemen hingga. *ROTASI*, 20(2), 118–123.
- ASTM E 23-02. Standard test methods for Rockwell bending of metallic materials.
- Fahrunasrudin, A. (2017). Sistem rekomendasi pembelian mobil menggunakan metode weighted product (WP).
- Fikri Firdaus. (2021). Kualitas produk dan promosi dalam mempengaruhi keputusan konsumen menggunakan jasa penyewaan produk alat berat: Studi kasus pada PT. Surya Trias Gemilang. *Jurnal Akuntansi, Ekonomi dan Manajemen Bisnis*, 1(3).
- Firdaus, A., Turmizi, & Ariefin. (2017). Perencanaan perawatan preventive dan corrective pada komponen sistem hidrolik excavator Komatsu PC200-8. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 1(1).
- Hidayat, T. (2012). Analisa kegagalan pegas daun (leaf spring) pada Toyota Kijang Kapsul 7K-EI tahun 2000. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 1(1), 1–8.
- Husaini, Handayani, R. L., Ali, N., & Sadrawi, M. (2021). Failure analysis of a fractured leaf spring as the suspension system applied on the dump truck. *Key Engineering Materials*, 892, 89–98.
- Husaini, R., Riantoni, R., Ali, N., & Putra, T. E. (2019). Failure analysis of the leaf spring of truck Colt Diesel using finite element method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 547(1).
- Kbarek, T., Riupassa, H., & Kenny, H. (2019). Analisis getaran suspensi mobil Mitsubishi Fuso 125 PS akibat profil jalan sinusoidal. *DINAMIS*, 16(1), 104–110.
- Khamid, A. (2011). Rancang bangun alat uji bending dan hasil pengujian bahan besi cor. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Negeri Diponegoro.
- MA Chaudhari, & ER Deore. (2015). Design and analysis of leaf spring of tanker trailer suspension system. *International Journal of Novel Research in Electrical and Mechanical Engineering*, 2(3).
- Muhib Zainuri, A. (2023). Analisis kegagalan teknik: Teori praktis dengan pendekatan studi kasus.

- Nugroho, F. (2017). Studi komparasi pengaruh variasi arus pengelasan terhadap kekuatan impak, kekerasan, dan struktur mikro sambungan las pegas daun baja SUP 9 pada proses las SMAW. *Angkasa*, 9(2), 57–66.
- Pasaribu, T. (2019). Analisis kegagalan pegas daun kendaraan bus dengan kapasitas 7 ton. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, 6(1), 13–21.
- Permana, B. A., & Sakti, M. A. (2020). Studi eksperimen kekuatan impact dan bending baja karbon pegas daun AISI 1095 pada mobil Kijang Kapsul 7K-EFI tahun 2000 dengan perlakuan panas tempering. *JPTM: Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 9(3).
- Saputra, R., & Tyastomo, E. (2016). Perbandingan kekerasan dan struktur mikro pegas daun yang mengalami proses heat treatment. *Bina Teknika: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik UPN “Veteran” Jakarta*, 12(2).
- Setiawan, H. (2013). Pengujian kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro produk cor propeler kuningan. *Jurnal Simetris*, 3(1).
- Wulandari, A. I., Alamsyah, & Agusty, C. L. (2021). Analisis tegangan regangan pada pelat deck dan bottom kapal ferry Ro-Ro menggunakan finite element method. *Jurnal Teknik Mesin*, 15(1).