

**Rekondisi baja pegas daun bekas dengan menggunakan *heat treatment***

***Reconditioned leaf spring steel by using heat treatment***

**SKRIPSI**

**Oleh:**

**Nama: Febriawan Dwi Candra**

**NPM: 193030094**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN  
BANDUNG  
2025**

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

N a m a : Febriawan Dwi Candra

Nomor Pokok Mahasiswa : 193030094

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam Skripsi yang penulis kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi.
2. Sepanjang pengetahuan penulis, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil plagiarism.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka penulis sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 2 Oktober 2025

Penulis,



Febriawan Dwi Candra

## SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

N a m a : Febriawan Dwi Candra

NPM 193030094

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Jenis Karya : Skripsi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, penulis menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“Rekondisi baja pegas daun bekas dengan menggunakan *heat treatment*”**

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 2 Oktober 2025

Yang menyatakan,

A 10,000 Rupiah Indonesian postage stamp is shown, featuring the Garuda Pancasila emblem and the text 'METERAI TEMPEL' and '10000'. A handwritten signature is written over the stamp.

Febriawan Dwi Candra

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

### Rekondisi baja pegas daun bekas dengan menggunakan *heat treatment*



**Nama: Febriawan Dwi Candra**  
**NPM: 193030094**

Pembimbing Utama

Dr. Ir. Widiyanti Kwintarini, M.T..

Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. Endang Ahdi, M.T

# LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

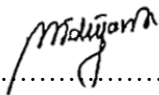
## Rekondisi Baja Pegas Daun Bekas dengan Menggunakan *Heat Treatment*




**Nama: Febriawan Dwi Candra**  
**NPM: 193030094**

Tanggal sidang skripsi : Kamis, 2 Oktober 2025


Ketua : Dr. Ir. Widiyanti Kwintarini, M.T.

  
.....

Sekretaris : Dr. Ir. Endang Ahdi, M.T.

  
.....

Anggota : Dr. Ir. Syahbardia, M.T.

  
.....

Anggota : Dr. Ir. Rachmad Hartono, M.T.

  
.....

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wata'ala tuhan yang maha esa berkat rahmat, hidayah, karunia-nya kepada semua sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan usulan penelitian dengan judul “Rekondisi baja pegas daun bekas dengan menggunakan *heat treatment* dan *quenching* dengan media air”salawat serta salam terlimpah curahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan penghargaan dan rasa terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara moral maupun material, sehingga penyusunan laporan usulan penelitian ini dapat diselesaikan. Ucapan terima kasih secara khusus penulis tujukan kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Sugiharto, MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan.
2. Ibu Dr. Ir. Widiyanti Kwintarini, M.T. selaku pembimbing utama Skripsi.
3. Bapak Dr. Ir. Endang Ahdi, M.T. selaku pembimbing pendamping Skripsi.
4. Kedua orang tua dan kakak penulis yang tak henti-hentinya mendo'akan dan memberikan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan Skripsi.
5. Teman teman Mading yang telah memberikan motivasi untuk menyelesaikan laporan.

Bandung, 2 Oktober 2025

Penulis,



Febriawan Dwi Candra

## DAFTAR ISI

<b>SURAT PERNYATAAN.....</b>	<b>I</b>
<b>SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....</b>	<b>II</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....</b>	<b>III</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI .....</b>	<b>IV</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>V</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>VI</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>IX</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>X</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XII</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1. Latar belakang.....	1
2. Rumusan masalah .....	1
3. Tujuan .....	1
4. Manfaat .....	2
5. Lingkup masalah.....	2
6. Sistematika penulisan.....	2
<b>BAB II STUDI LITERATUR.....</b>	<b>3</b>
1. Baja Pegas.....	3
2. Baja Pegas Daun .....	4
3. Sifat Material Pegas Daun.....	6
4. Cacat Pada Baja Pegas .....	7

5.	Baja Tahan Karat .....	8
6.	<i>Heat Treatment</i> .....	9
7.	<i>Quenching</i> .....	10
1.	Review Jurnal .....	14
	A. Jurnal 1 .....	14
	B. Jurnal 2 .....	14
	C. Jurnal 3 .....	15
	D. Jurnal 4 .....	16
	E. Jurnal 5 .....	17
<b>BAB III METODOLOGI.....</b>		<b>19</b>
1.	Tahapan Penelitian .....	19
2.	Tempat Penelitian .....	20
3.	Peralatan dan material yang digunakan.....	20
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>21</b>
1.	Umum .....	21
2.	Hasil Penelitian (Data dan Temuan) .....	21
	A. Hasil pengujian komposisi.....	21
	B. Hasil pengujian mekanik .....	23
	C. Hasil uji <i>impact</i> .....	24
	D. Hasil Pengujian Tarik .....	26
	E. Hasil pengujian <i>heat treatment</i> .....	30
	F. Hasil uji keras Brinell .....	32
	G. Hasil uji keras <i>Brinell</i> setelah <i>Heat Treatment</i> .....	33
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>36</b>
1.	Kesimpulan .....	36
2.	Saran .....	36
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>37</b>

<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>40</b>
1. Data hasil pengujian/pengukuran .....	40

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Pegas Daun [9].....	5
Gambar 2 Diagram Alir.....	19
Gambar 3 Spesimen pegas daun bekas sebelum (atas) dan sesudah (bawah) uji tarik .....	24
Gambar 4 Spesimen pegas daun baru sebelum (atas) dan sesudah (bawah) uji tarik .....	24
Gambar 5 Spesimen Impact Bekas.....	25
Gambar 6 Spesimen Impact Baru.....	25
Gambar 7 Hasil uji tarik bekas .....	27
Gambar 8 Hasil uji tarik baru .....	28
Gambar 9 <i>Heat Treatment</i> .....	30
Gambar 10 Diagram Fasa Fe-3C.....	31
Gambar 11 Indentor 2,5 mm .....	32
Gambar 12 Titik pengujian.....	32

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Komposisi kimia pegas daun bekas.....	21
Tabel 2 Komposisi kimia pegas daun baru.....	22
Tabel 3 Hasil uji impact bekas .....	25
Tabel 4 Hasil uji Impact Baru .....	26
Tabel 5 Hasil uji tarik bekas.....	27
Tabel 6 Hasil uji tarik baru.....	28
Tabel 7 Hasil uji keras bekas.....	33
Tabel 8 Hasil uji keras baru.....	33
Tabel 9 Hasil uji keras material bekas setelah <i>heat treatment</i> .....	34

## ABSTRAK

Perlakuan panas (*heat treatment*) merupakan salah satu tahap esensial dalam peningkatan performa material pegas daun, yang secara umum terbuat dari baja paduan dengan kadar karbon menengah hingga tinggi. Tujuan utama dari proses ini adalah memperoleh kombinasi sifat mekanik yang optimal, meliputi kekerasan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap beban siklik. Tahapan perlakuan panas yang diaplikasikan meliputi hardening, tempering, dan stress relieving. Pada tahap hardening, material dipanaskan hingga mencapai fasa austenit kemudian didinginkan cepat untuk menghasilkan struktur martensit yang memiliki kekerasan tinggi. Namun, kondisi ini cenderung menurunkan keuletan, sehingga diperlukan proses tempering guna menurunkan kerapuhan sekaligus meningkatkan ketangguhan. Selanjutnya, *stress relieving* dilakukan untuk mengurangi tegangan sisa akibat deformasi maupun pendinginan cepat yang terjadi selama proses sebelumnya. Hasil dari penerapan *heat treatment* menunjukkan adanya peningkatan sifat mekanik pegas daun, terutama pada aspek kekuatan tarik, ketahanan lelah, serta stabilitas dimensi ketika menerima beban berulang. Perlakuan ini juga mampu meminimalkan potensi terjadinya retak dan patah akibat tegangan dinamis, sehingga secara langsung berimplikasi pada peningkatan umur pakai dan reliabilitas komponen. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas memiliki peran strategis dalam menunjang kinerja pegas daun, sekaligus mendukung keamanan dan kenyamanan sistem suspensi kendaraan secara menyeluruh.

**Kata kunci:** Baja pegas daun, *heat treatment*, sifat mekanik, *quenching*.

## ABSTRACT

*Heat treatment is an essential stage in enhancing the performance of leaf spring materials, which are generally made from medium to high carbon alloy steel. The main objective of this process is to obtain an optimal combination of mechanical properties, including hardness, toughness, and resistance to cyclic loading. The heat treatment stages applied include hardening, tempering, and stress relieving. In the hardening stage, the material is heated until it reaches the austenite phase and then rapidly cooled to produce a martensitic structure that has high hardness. However, this condition tends to reduce ductility, so a tempering process is required to reduce brittleness while improving toughness. Subsequently, stress relieving is carried out to reduce residual stresses caused by deformation or rapid cooling that occurs during the previous processes. The results of applying heat treatment show an improvement in the mechanical properties of the leaf spring, especially in tensile strength, fatigue resistance, and dimensional stability when subjected to repeated loads. This treatment also helps minimize the potential for cracking and fracture due to dynamic stresses, which directly impacts the increased service life and reliability of the component. Thus, it can be concluded that heat treatment plays a strategic role in supporting the performance of leaf springs, while also contributing to the overall safety and comfort of vehicle suspension systems.*

**Keywords:** *heat treatment, Leaf spring steel, mechanical properties, quenching,*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1. Latar belakang

Sekarang ini kemajuan di bidang otomotif sangatlah cepat. Kenyamanan dan keamanan dari pengendara menjadi hal utama yang sangat penting. Hal ini menggerakkan banyaknya perusahaan otomotif berlomba-lomba menghasilkan produk dengan kualitas yang baik. Kenyamanan dan keselamatan pengendara bermotor, terutama mobil, seharusnya terjamin baik secara langsung ataupun tak langsung. Salah satu cara agar pengendara mobil merasa aman serta nyaman saat berkendara adalah dengan memastikan sistem suspensinya berfungsi baik, terutama komponen pegas. Salah satu jenis pegas yang digunakan pada kendaraan roda empat adalah pegas daun. Pegas daun dirancang untuk mampu menahan beban yang cukup besar karena mengandalkan kekuatan mekanisnya. Namun, setelah digunakan dalam waktu lama, pegas daun bisa mengalami penurunan kualitas sifat mekanis seperti kekuatan, ketahanan, keuletan, dan kekerasannya. Penurunan ini terjadi karena terus-menerus menerima beban berubah-ubah selama penggunaan. Akibatnya, pegas menjadi kurang kuat atau tidak layak digunakan lagi, sehingga memengaruhi kenyamanan pengendara saat berkendara. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan proses rekondisi terhadap material pegas daun bekas, agar dapat dikembalikan ke kondisi seperti pegas baru dengan kekuatan yang sama.

Untuk merekonstruksi sifat mekanik pegas, bisa dilakukan dengan cara mengolahnya menggunakan proses pemanasan. Dalam penelitian ini, proses pemanasan yang dipakai adalah *quenching* dan *tempering* dengan waktu penahanan tertentu. Sifat mekanik hasil dari proses tersebut akan dianalisis melalui uji tarik dan uji kekerasan. Material pegas bekas yang memiliki sifat mekanik sesuai dengan standar awal dapat memenuhi kembali kelayakannya sesuai dengan standar yang berlaku.

## 2. Rumusan masalah

Berdasarkan permasalahan dan upaya yang akan dilakukan maka rumusan masalah penelitian ini adalah apakah *heat treatment* dan *quenching* dapat memperbaiki sifat mekanik pegas daun bekas agar mendekati sifat pegas daun yang baru.

## 3. Tujuan

Tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini adalah memperbaiki sifat mekanik pegas daun bekas agar mendekati pegas daun baru dengan cara *heat treatment* dan *quenching*.

#### **4. Manfaat**

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah:

- a. Memberikan pengetahuan mengenai pengaruh *heat treatment* pada baja pegas daun.
- b. Memberikan sumbangan pemikiran yang mengarah pada ilmu material dan material khususnya pada bidang produksi material.

#### **5. Lingkup masalah**

Baja pegas daun bekas kendaraan mobil dipakai sebagai media yang akan diuji pada penelitian ini, agar mencapai tujuan yang diharapkan, batasan masalah dibuat untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Spesimen material berupa baja pegas daun bekas tipe lateral pada kendaraan mitsubishi L300.
- b. *Heat treatment* pada pegas daun bekas.
- c. *Quenching* dengan media air.

#### **6. Sistematika penulisan**

Sistematika penulisan proposal usulan penelitian terdiri atas 4 bab dan daftar Pustaka yaitu:

##### **BAB I PENDAHULUAN**

Menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, Batasan masalah, dan sistematika penulisan.

##### **BAB II STUDI LITERATUR**

Bab ini berisi tentang teori-teori dasar pada penelitian.

##### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan tentang tahapan-tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini.

##### **BAB IV RENCANA KEGIATAN DAN PERKIRAAN ANGGARAN**

Bab ini berisi table rencana kegiatan dan biaya yang digunakan untuk tugas akhir.

##### **DAFTAR PUSTAKA**

## BAB II STUDI LITERATUR

### 1. Baja Pegas

Baja pegas dibuat dalam berbagai jenis, bentuk dan ukuran, mulai dari pegas rambut yang halus untuk meteran instrumen hingga pegas penyangga yang sangat besar untuk peralatan kereta api. Baja karbon dan baja paduan digunakan secara luas. Tiga jenis kawat yang digunakan dalam jumlah terbesar aplikasi pegas yang dibentuk dingin adalah kawat pegas yang ditarik keras, kawat temper minyak, dan kawat musik. Tegangan sisa dapat menambah atau mengurangi kekuatan bahan pegas, tergantung pada arahnya. Pegas baja sering dilapisi dengan seng atau kadmium untuk melindunginya dari korosi dan abrasi. Meskipun beberapa pegas luka panas terbuat dari baja yang juga digunakan untuk pegas luka dingin, pegas luka panas biasanya jauh lebih besar, yang menghasilkan perbedaan metalurgi yang signifikan [1].

Saat ini pegas yang dipadamkan dengan minyak dan pegas temper banyak digunakan untuk pegas tugas berat di mana tinggi sifat mekanik adalah pendorong desain utama. Persyaratan utama baja pegas adalah tinggi kekuatan luluh, batas proporsional tinggi, dan tinggi kekuatan kelelahan. Sifat-sifat yang diinginkan ini pegas dapat dicapai pertama-tama dengan karbon yang lebih tinggi konten atau dengan elemen paduan yang sesuai, dan kedua dengan perlakuan panas. Pegas baja digunakan dalam kondisi keras dan berkekuatan tinggi. Untuk mencapai ini properti pegas dikeraskan dan ditempa. Dalam kondisi mengeras, baja harus memiliki 100% martensit untuk mencapai hasil maksimum kekuatan, tetapi juga sangat rapuh, dan dengan demikian, sebagai baja yang dipadamkan digunakan untuk sangat sedikit Teknik aplikasi. Dengan proses *tempering*, sifat-sifatnya baja *quench* dapat dimodifikasi untuk mengurangi kekerasan dan meningkatkan keuletan dan kekuatan impak secara bertahap [2].

Baja pegas adalah nama yang diberikan untuk berbagai macam baja yang digunakan dalam pembuatan pegas, terutama dalam aplikasi suspensi otomotif dan industri. Baja ini umumnya merupakan baja mangan paduan rendah, baja karbon sedang, atau baja karbon tinggi dengan kekuatan luluh yang sangat tinggi. Hal ini memungkinkan benda yang terbuat dari baja pegas untuk kembali ke bentuk aslinya meskipun terjadi defleksi atau puntiran yang signifikan. Untuk pegas yang terkena beban fatik, tuntutan tinggi ditempatkan pada permukaan akhir dan kebersihan bagian dalam (batasan jumlah inklusi non-logam). Berikut

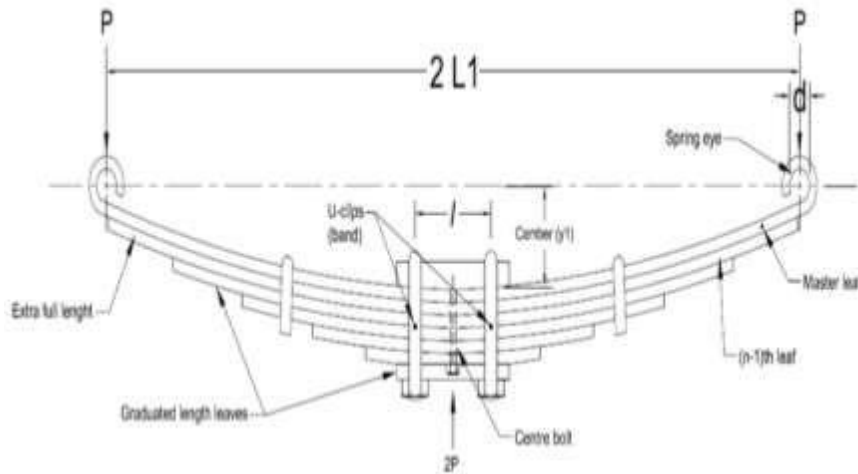
adalah lima jenis pegas suspensi yang umum dikenal yang sebagian besar digunakan pada kendaraan mobil [3].

1. Pegas Daun (*Leaf Spring*) Pegas daun merupakan jenis pegas yang berbentuk seperti lembaran-lembaran pelat yang melengkung dan terbuat dari baja tahan las khusus. Pegas ini sering digunakan pada sistem suspensi mobil mitsubishi L300. Pegas ini dipilih karena modelnya sederhana dibandingkan jenis pegas lainnya, dengan biaya perawatan yang relatif murah, namun masih mampu menahan beban yang cukup besar. Pegas daun disusun secara bertumpuk yang terdiri dari beberapa lapis pegas, mulai dari yang paling pendek hingga yang paling panjang, dan diikat dengan sabuk pengunci yang mengelilingi susunan pegas tersebut. Semakin banyak lapisan pegas, beban yang dapat ditanggung pegas daunpun semakin besar. [4].
2. *Coil Spring*. Pegas koil disebut sebagai pegas yang biasanya terbuat dari baja pegas. Ini ditemukan sebagai salah satu yang ditemukan pada sistem suspensi independen. Selama menyediakan berbagai macam tingkat pegas, mereka ditemukan untuk ditampung di hampir semua jenis ruang terbatas. Membandingkannya dengan pegas daun, dapat dikatakan bahwa pegas inilah yang paling banyak ditemukan dengan berat hanya setengah dari berat yang sebenarnya diperlukan untuk melakukan pekerjaan yang sama [5].
3. *Torsion Spring*. Pegas torsi adalah pegas yang juga digunakan dalam sistem suspensi independen. Pegas suspensi torsi adalah pegas yang memiliki batang yang bekerja di bawah torsi dengan menerima tegangan geser [6].
4. *Rubber Spring*. Pegas karet disebut sebagai pegas yang digunakan pada suspensi karena terbukti menghemat energi yang lebih besar per satuan berat dibandingkan dengan baja [7].

## 2. Baja Pegas Daun

Pegas daun adalah bagian penting dari sistem suspensi mobil. Pegas daun terdiri dari sejumlah lapisan daun dengan gradasi ukuran, lapisan yang lebih besar berada di bagian atas dengan setiap lapisan yang disambungkan ke lapisan lainnya. Pegas daun secara langsung melekat pada rangka, baik di kedua ujungnya atau di salah satu ujungnya. Untuk yang terakhir, ujung depan dipasang ke rangka sementara ujung lainnya dipasang ke lengan ayun pendek melalui belenggu. Fungsi utama pegas daun adalah untuk memberikan kenyamanan kepada penumpang dengan meminimalkan getaran vertikal yang disebabkan

oleh ketidakseragaman geometri jalan. Studi menunjukkan bahwa material pegas daun yang diinginkan wajib mempunyai kekuatan yang tinggi dan modulus elastisitas yang rendah pada arah memanjang [8].



Gambar 1 Pegas Daun [9]

Ada banyak variasi *leaf spring*, berikut merupakan data dari tipe-tipe *leaf spring*

1. *Semi-elliptical spring*. Pegas semi-elips disebut sebagai pegas yang biasanya ditemukan di hampir semua kendaraan. Berbicara secara khusus maka itu pasti dapat ditemukan di truk di mana pegas semi-elips adalah pegas yang dipasang di as roda depan dan belakang.
2. *Quarter-elliptical spring*. Pegas seperempat elips disebut sebagai pegas yang biasa digunakan pada mobil kecil zaman dulu. Beberapa contohnya adalah mobil Chrysler. Ini adalah jenis pegas yang hanya terdiri dari seperempat bagian dari pegas elips penuh yang dipasang bersama dengan rangka dengan bantuan baut [10].
3. *Three-quarter elliptical spring*. Pegas elips tiga perempat disebut sebagai pegas yang ditemukan sebagai kombinasi dari pegas semi-elips dan seperempat elips. Jenis pegas ini ditemukan sebagai pegas yang digunakan pada mobil-mobil lama.
4. *Transverse spring*. Pegas melintang disebut sebagai pegas yang sangat mirip dengan pegas semi elips, tetapi pada saat yang sama bentuk yang diamati ternyata terbalik. Salah satu ujung pegas diamati disambungkan dengan rangka sasis dengan belenggu sedangkan ujung lainnya ditemukan terpasang dengan gandar. Jenis

pegas ini adalah pegas yang dipasang bersama rangka dengan bantuan baut di bagian tengahnya.

5. *Full elliptical spring*. Pegas elips penuh disebut sebagai pegas yang ditemukan terdiri dari dua pegas semi-elips yang ditemukan disatukan secara berlawanan. Ini adalah jenis pegas yang biasa digunakan pada mobil-mobil lama. Pegas ini tidak berhasil karena tidak dapat mempertahankan kesejajaran gandar yang benar.
6. *Platform type spring*. Pegas tipe platform disebut sebagai pegas yang terdiri dari dua pegas semi-elips. Ini adalah pegas yang dipasang bersama dengan rangka sasis dengan bantuan belenggu di satu sisi dan pegas semi-elips dipasang dengan bentuk terbalik di sisi lainnya. Khususnya pada jenis pengaturan ini, berat mobil dibagi menjadi tiga titik yang berbeda [11].

### **3. Sifat Material Pegas Daun**

Fungsi utama pegas daun adalah untuk memberikan kenyamanan kepada penumpang dengan meminimalkan getaran vertikal yang disebabkan oleh ketidakseragaman permukaan jalan [12]. Studi menunjukkan bahwa material pegas daun yang diinginkan harus memiliki kekuatan tinggi dan modulus elastisitas yang rendah pada arah memanjang. Berikut ini adalah sifat yang harus dimiliki oleh pegas daun:

1. Kekuatan tarik, kemampuan pegas daun untuk menahan beban tarik.
2. Kekuatan lentur, sifat ini mengukur kemampuan pegas daun untuk menahan beban lentur atau tegangan yang diberikan pada bidang datar, kekuatan lentur yang tinggi menunjukkan bahwa pegas daun memiliki kemampuan yang baik untuk mempertahankan bentuknya saat diberi beban.
3. Ketahanan lelah, kemampuan pegas daun untuk menahan beban berulang dalam jangka waktu yang lama tanpa mengalami beban struktural, pegas daun yang memiliki ketahanan kelelahan yang tinggi dapat digunakan secara berulang tanpa mengalami penurunan kinerja atau kegagalan.
4. Stabilitas termal, kemampuan pegas daun untuk mempertahankan karakteristik mekaniknya dalam berbagai temperatur tinggi maupun rendah tanpa mengalami deformasi atau perubahan dalam kekuatan dan kekakuan [13].

Seiring berjalannya waktu, pegas dapat mengalami kegagalan yang dapat berdampak buruk pada sistem yang menjadi bagiannya. Penyebab utama kegagalan prematurnya adalah cacat material baku, keausan permukaan, inklusi non-logam, perlakuan panas yang

tidak tepat, dan dekarburisasi. Dalam penelitian ini, pegas suspensi heliks telah dirancang, yang mengalami kegagalan selama manufaktur pada tahap penggulangan. Berikut ini adalah jenis-jenis kegagalan umum pegas:

1. *Fatigue Failure*. Salah satu kegagalan pegas yang paling umum adalah kelelahan fatik. Hal ini terjadi ketika pegas mengalami pembebanan berulang atau siklik dalam waktu yang lama, yang mengakibatkan melemahnya dan berkembangnya retakan di dalam material, yang pada akhirnya menyebabkan kegagalan.
2. Korosi. Korosi adalah penyebab signifikan lain dari kegagalan pegas, terutama di lingkungan dengan kelembaban tinggi atau paparan zat korosif. Ketika pegas terkorosi, integritas strukturalnya akan terganggu, yang mengakibatkan berkurangnya kinerja dan potensi kerusakan.
3. Keausan dan Kerusakan. Pegas dapat mengalami keausan seiring berjalannya waktu, terutama ketika terus digunakan. Kerusakan bertahap ini dapat menyebabkan berkurangnya kinerja pegas, penurunan kapasitas penahan beban, dan pada akhirnya kegagalan.
4. *Overloading*. Menempatkan pegas pada gaya yang berlebihan atau beban berlebih di luar batas desainnya dapat menyebabkan kerusakan langsung atau memperpendek masa pakainya secara signifikan [14].

#### **4. Cacat Pada Baja Pegas**

Seiring berjalannya waktu, pegas dapat mengalami kegagalan yang dapat berdampak buruk pada sistem yang menjadi bagiannya. Penyebab utama kegagalan prematurnya adalah cacat material baku, keausan permukaan, inklusi non-logam, perlakuan panas yang tidak tepat, dan dekarburisasi. Dalam penelitian ini, pegas suspensi heliks telah dirancang, yang mengalami kegagalan selama manufaktur pada tahap penggulangan. Berikut ini adalah jenis-jenis kegagalan umum pegas:

##### *1. Fatigue Failure*

Salah satu kegagalan pegas yang paling umum adalah kelelahan fatik. Hal ini terjadi ketika pegas mengalami pembebanan berulang atau siklik dalam waktu yang lama, yang mengakibatkan melemahnya dan berkembangnya retakan di dalam material, yang pada akhirnya menyebabkan kegagalan [15].

##### *2. Korosi*

Korosi adalah penyebab signifikan lain dari kegagalan pegas, terutama di lingkungan dengan kelembaban tinggi atau paparan zat korosif. Ketika pegas terkorosi, integritas

strukturalnya akan terganggu, yang mengakibatkan berkurangnya kinerja dan potensi kerusakan [16].

### 3. Keausan dan Kerusakan

Pegas dapat mengalami keausan seiring berjalannya waktu, terutama ketika terus digunakan. Kerusakan bertahap ini dapat menyebabkan berkurangnya kinerja pegas, penurunan kapasitas penahan beban, dan pada akhirnya kegagalan [17].

### 4. *Overloading*

Menempatkan pegas pada gaya yang berlebihan atau beban berlebih di luar batas desainnya dapat menyebabkan kerusakan langsung atau memperpendek masa pakainya secara signifikan [18].

### 5. Baja Karbon Sedang

Baja karbon AISI 1050 adalah material yang banyak digunakan dengan karakteristik dan sifat berbeda, baja ini merupakan jenis baja karbon sedang dengan kandungan 0,50%, kandungan karbon ini memberikan keseimbangan yang baik antara kekuatan dan keuletan.

Dari segi sifat mekanik. Baja karbon ini memiliki kekuatan tarik yang relatif tinggi, sehingga mampu menanggung gaya yang signifikan tanpa mudah patah. Ini juga menunjukkan baja AISI 1050 memiliki kekerasan yang layak, sehingga cocok untuk berbagai aplikasi yang memerlukan ketahanan aus [19].

Baja AISI 1050 juga memiliki kemampuan mesin yang baik, dapat dengan mudah dibentuk dan di proses menggunakan teknik pemesinan yang berbeda. Hal ini menunjukkan baja AISI 1050 digunakan untuk memproduksi baja pegas daun. Dari struktur mikronya terdiri dari ferite dan perlite, ferite memberikan keuletan, sedangkan perlite berkontribusi terhadap kekuatan. Kombinasi fasa-fasa ini memberikan baja karbon AISI 1050 kinerja mekanisme secara keseluruhan.

Baja AISI 1050 dapat diberi perlakuan panas untuk lebih meningkatkan sifat-sifatnya melalui proses seperti annealing, quenching, dan tempering, dan ketangguhan baja dapat disesuaikan sesuai dengan kebutuhan spesifik, namun baja AISI 1050 juga rentan terhadap korosi di lingkungan tertentu [20].

## **5. Baja Tahan Karat**

Baja tahan karat merupakan paduan besi dan kromium. Meskipun baja tahan karat harus mengandung setidaknya 10,5% kromium, komponen dan rasio yang tepat akan bervariasi berdasarkan pada mutu yang diminta dan tujuan penggunaan baja. Baja tahan karat adalah bahan serbaguna yang cocok untuk digabungkan ke dalam semua jenis barang dan barang.

Baja tahan karat adalah campuran dari besi, kromium, nikel, dan karbon. Bahan ini banyak digunakan dalam industri makanan dan barang-barang rumah tangga seperti peralatan dapur dan wajan.

Baja tahan karat dibuat melalui proses peleburan di mana logam yang berbeda digabungkan dan dilebur pada temperatur yang sangat tinggi di dalam tungku. Di sini, komposisi paduan yang tepat adalah penting. Hal ini tergantung pada tujuan penggunaannya. Setelah komposisi ditentukan, paduan dipanaskan dalam tungku peleburan sampai temperatur yang tepat tercapai. Temperatur ini dapat mencakup beberapa ratus hingga lebih dari seribu derajat celcius, tergantung pada komposisi baja tahan karat. Ketika paduan sudah cukup meleleh, itu dituangkan ke dalam cetakan. Bahan tersebut kemudian diproses lebih lanjut, misalnya dengan menggiling atau mengelas [21].

Baja tahan karat adalah bahan yang tahan lama. Karena tahan terhadap korosi, baja tahan karat dapat bertahan lama tanpa berkarat atau aus. Baja tahan karat juga dapat didaur ulang dan digunakan kembali. Di sisi lain, penting untuk diperhatikan bahwa tidak semua baja tahan karat memiliki kualitas yang sama dan daya tahannya dapat bervariasi tergantung pada jenis baja tahan karat dan aplikasinya [22].

## **6. Heat Treatment**

*Heat treatment* merupakan bagian penting dari proses manufaktur. Hal ini karena perlakuan panas memungkinkan sepotong logam untuk ditingkatkan agar material tersebut lebih tahan terhadap keausan. Perlakuan panas melibatkan pemanasan logam atau paduan ke temperatur tertentu dan kemudian mendinginkannya untuk mengeraskan material. Perlakuan panas dapat digunakan pada berbagai tahap dalam proses manufaktur untuk mengubah sifat tertentu dari logam atau paduan tersebut. Misalnya, Anda dapat menggunakan perlakuan panas untuk membuatnya lebih kuat, lebih keras, lebih tahan lama, atau lebih ulet, tergantung pada apa yang dibutuhkan material agar dapat bekerja dengan baik [23].

Hingga saat ini perlakuan panas pegas daun telah diterima sangat sedikit perhatian dari para insinyur dan ahli metalurgi mobil. Jika bagian yang bergerak dan aus seperti roda gigi, poros engkol, batang penghubung, buku-buku jari kemudi, dll., dikeraskan dan ditempa dengan minyak mentah yang sama, cara yang tidak mekanis dan tidak ilmiah, mobil tidak akan pernah ada mencapai posisi sukses yang didudukinya saat ini. Pegas baja karbon yang sering diberi perlakuan panas secara akurat menunjukkan hasil yang lebih baik dalam berbagai tes daripada pegas komersial rata-rata terbuat dari baja paduan. Contoh

pegas telah dipamerkan dengan- tahan beberapa tes yang luar biasa ketika dibuat dari baja paduan, tetapi ini adalah luar biasa hanya karena kualitas produk komersial yang buruk. Tidak ada hasil yang luar biasa yang ditunjukkan pada roda gigi sampel, karena produk komersial dipanaskan secara seragam dan akurat, dan sampelnya tidak dapat dibuat jauh lebih baik daripada hasil harian. Ketika mereka menjadi penyangga perlakuan panas yang tepat terhadap kekuatan, kualitas keausan, dan terutama daya tahan ketahanan terhadap tekanan jauh lebih besar pada paduan ini daripada baja karbon bahwa pegas yang terbuat dari yang pertama harus jauh lebih ringan, yaitu memiliki lebih sedikit daun atau pelat yang lebih tipis. Namun hal tersebut jarang terjadi, jarang sekali terjadi disebut pengecualian. Jika tidak dikeraskan dan ditempa dengan benar baja paduan sedikit lebih baik daripada baja karbon karena mereka sangat rentan terhadap perlakuan panas, yang harus dilakukan secara akurat dan seragam kekuatan dan umur panjang harus dikembangkan. Pernyataan terakhir juga berlaku untuk baja karbon, tetapi tidak sampai tingkat yang sama [24].

Material pegas daun yang terbuat dari ASTM 1050, yaitu baja karbon medium dengan kandungan karbon sekitar 0,48–0,55%, memiliki sifat mekanik yang dapat mengalami perubahan signifikan melalui proses perlakuan panas (perlakuan panas). Perlakuan panas dilakukan untuk mengubah struktur mikro material sehingga meningkatkan sifat mekanik seperti kekuatan tarik, kekerasan, ketangguhan, dan ketahanan terhadap kelelahan. Proses perlakuan panas meliputi anil, normalisasi, pendinginan, dan tempering yang masing-masing bertujuan memperbaiki sifat mekanik sesuai kebutuhan aplikasi pegas daun. Pengujian mekanik dilakukan untuk mengukur dan memverifikasi perubahan sifat tersebut, misalnya dengan uji tarik untuk mengetahui kekuatan maksimum material, uji kekerasan untuk menentukan tingkat kekerasan permukaan, serta uji kelelahan untuk menilai daya tahan material terhadap beban siklik. Dengan demikian, perlakuan panas merupakan proses pengolahan material yang mengoptimalkan performa pegas daun, sedangkan pengujian mekanik berfungsi sebagai metode evaluasi efektifitas perlakuan panas tersebut. Integrasi kedua tahapan ini sangat penting dalam memastikan bahwa pegas daun bekas memiliki karakteristik mekanik yang sesuai dengan standar kinerja yang diharapkan.

## 7. *Quenching*

*Quenching* merupakan jenis *heat treatment* terhadap logam. *Quenching* menyangkut pendinginan logam secara cepat demi mencocokkan sifat mekanis dari kondisi aslinya. Proses pendinginan cepat yang mengubah sifat spesifik material dengan memanipulasi laju pendinginan. Material dipanaskan di atas temperatur rekristalisasi tetapi di bawah titik leleh

untuk memungkinkan restrukturisasi biji-bijian diikuti dengan pendinginan terkontrol ke temperatur yang telah ditentukan [25].

Tingkat keparahan pendinginan tergantung pada agitasi. Oleh karena itu, besarnya dan turbulensi aliran fluida di sekitar bagian di zona pendinginan sangat penting relatif terhadap keseragaman perpindahan panas di seluruh proses pendinginan. Salah satu kontributor terbesar untuk tidak seragam kekerasan, peningkatan tekanan termal, rak dan distorsi adalah aliran fluida yang tidak seragam di seluruh zona pendinginan dalam pendinginan produksi tangki. Dampak dari aliran yang tidak seragam adalah peningkatan distorsi dan retak. Sangatlah penting untuk mengoptimalkan keseragaman fluida aliran di zona pendinginan untuk memberikan kontrol distorsi yang optimal dan untuk meminimalkan retak [26].

Tersedia berbagai jenis media pendingin yang bisa digunakan untuk proses pendinginan. Setiap media memiliki sifat pendingin yang berbeda. Pemilihan jenis media tergantung pada kecepatan pendinginan yang dibutuhkan, masalah lingkungan media pendinginan, penggantian media pendinginan, dan biaya media pendinginan. Berikut ini adalah jenis-jenis utama media pendinginan:

1. Udara, merupakan bahan pendingin yang sering digunakan untuk mendinginkan logam dalam proses pendinginan. Keuntungan utama dari udara adalah harganya yang terjangkau, karena udara tersedia dalam jumlah yang sangat banyak di bumi. Faktanya, material apa pun yang dipanaskan dan kemudian dibiarkan mendingin hingga mencapai temperatur kamar hanya dengan dibiarkan begitu saja dianggap telah didinginkan dengan udara. Pendinginan udara juga lebih sengaja dilakukan ketika dikompresi dan dipaksakan di sekitar logam yang sedang dipadamkan. Hal ini mendinginkan bagian tersebut lebih cepat daripada udara diam, meskipun udara yang dikompresi masih dapat mendinginkan banyak logam terlalu lambat untuk mengubah sifat mekanik.
2. Minyak. Oli mampu mendinginkan logam yang dipanaskan jauh lebih cepat daripada udara bertekanan. Untuk mendinginkan dengan oli, bagian yang dipanaskan diturunkan ke dalam tangki yang diisi dengan beberapa jenis oli. Oli juga dapat disiramkan melalui bagian tersebut. Berbagai jenis oli sering digunakan tergantung pada aplikasinya karena tingkat pendinginan dan titik nyala yang berbeda-beda [27].
3. Air, bisa digunakan untuk mendinginkan logam yang sudah dipanaskan secara cepat. Air lebih cepat mendinginkan logam dibandingkan minyak. Caranya mirip

dengan cara mendinginkan logam menggunakan minyak, yaitu dengan memasukkan logam ke dalam tangki yang berisi air. Selain itu, air juga bisa disiramkan ke bagian tertentu. Keuntungan menggunakan air adalah tidak ada bahan yang mudah terbakar yang terlibat dalam prosesnya. [28].

4. *Brine* merupakan larutan garam dalam air yang digunakan sebagai media pendingin. Kecepatan pendinginannya lebih tinggi dibandingkan udara, air, maupun minyak karena garam mampu menghambat terbentuknya gelembung udara saat logam panas dicelupkan. Hal ini membuat permukaan logam bersentuhan lebih luas dengan cairan sehingga proses pendinginan menjadi lebih efektif [29].

## 8. Sifat material ferite dan perlite

Ferrite merupakan fasa utama dalam baja karbon rendah yang memiliki struktur kristal *Body Centered Cubic* (BCC) dengan kelarutan karbon yang sangat kecil, hanya sekitar 0,02% pada suhu kamar. Karena kandungan karbonnya sangat rendah, ferrite bersifat lunak, sangat ulet, dan mudah dibentuk. Sifat mekaniknya ditandai dengan kekuatan tarik yang relatif rendah, sekitar 280 MPa, kekerasan hanya sekitar 90–100 HB, namun memiliki regangan yang tinggi sehingga mampu menahan deformasi plastis yang besar sebelum patah. Oleh sebab itu, ferrite berperan penting dalam memberikan keuletan, ketangguhan, dan kemampuan fabrikasi pada baja, sehingga baja karbon rendah yang mengandung dominasi ferrite banyak digunakan pada aplikasi konstruksi umum, pelat baja, dan komponen yang membutuhkan kemampuan bentuk yang baik.

Di sisi lain, pearlite adalah mikrostruktur yang terbentuk pada baja eutektoid (sekitar 0,8% C) atau sebagai bagian dari baja hipoeutektoid dan hipereutektoid, yang terdiri atas lamela ferrite dan cementite ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Struktur lamelar ini memberikan sifat kombinasi antara ferrite yang ulet dan cementite yang keras, sehingga secara keseluruhan pearlite memiliki sifat mekanik yang lebih keras dan lebih kuat dibanding ferrite, dengan kekuatan tarik berkisar antara 700–900 MPa dan kekerasan 200–250 HB. Namun, peningkatan kekuatan ini diimbangi dengan penurunan keuletan; pearlite tidak seplastis ferrite dan cenderung lebih getas, meskipun masih memiliki ketangguhan yang cukup untuk aplikasi teknik.

Dengan demikian, keberadaan ferrite dan pearlite dalam proporsi yang berbeda pada baja karbon sangat menentukan sifat mekaniknya. Ferrite memberikan keuletan dan kemudahan pengerjaan, sedangkan pearlite memberikan kekuatan dan kekerasan. Baja dengan kadar karbon rendah (dominan ferrite) akan lunak dan ulet, baja dengan kadar karbon sedang

(kombinasi ferrite + pearlite) akan memiliki keseimbangan antara kekuatan dan keuletan, sedangkan baja dengan kadar karbon tinggi (dominan pearlite+cementite) akan sangat keras dan kuat tetapi rapuh. Inilah sebabnya variasi komposisi karbon dalam baja sangat mempengaruhi pemilihan aplikasinya di dunia teknik

## 1. Review Jurnal

Review jurnal dijadikan sebagai acuan penelitian lanjutan, terutama pada metode pengujian.

### A. Jurnal 1

Jurnal 1 berisi mengenai pengaruh perlakuan panas terhadap kekuatan autenitis baja *Stainless SS304*.

Judul	Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Kekuatan Autenitis Baja <i>Stainless SS304</i> .
Nama Jurnal	Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2017.
Penulis	Andryansyah, Mudi H, Aris PS, Darlis, Dwijo M, Deswandri, Geni R. Sunaryo.
Tujuan	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektifitas perbaikan kekuatan baja tahan karat austenitik yang telah rusak akibat pemanasan. Salah satu cara yang mungkin dilakukan adalah dengan menyusun kembali unsur-unsur yang telah tersusun pada batas butir dengan pemanasan dan dilanjutkan dengan pendinginan cepat. Untuk melaksanakan penelitian tersebut, akan digunakan tungku pemanas atau nyala api LPG untuk memanaskan dan mendinginkan sampel dengan kecepatan berbeda. Kekuatan tarik suatu logam diukur dengan alat uji kekerasan yang mempunyai korelasi langsung dengan kekuatan tarik logam.
Kesimpulan	Peningkatan nilai kekerasan pada material SS304 tidak dapat dicapai melalui proses perlakuan panas. Variasi pemanasan yang diikuti dengan metode pendinginan berbeda tidak menunjukkan peningkatan, melainkan menghasilkan nilai kekerasan yang cenderung tetap atau menurun. Berdasarkan temuan tersebut, dapat disimpulkan bahwa proses pengelasan pada SS304 berpotensi menyebabkan penurunan kekuatan pada daerah yang terpapar panas.

### B. Jurnal 2

Jurnal 2 berisi mengenai uji eksperimen tingkat kekerasan dan ketangguhan baja pegas JIS SUP 9 dengan metode laku panas *hardening* dan *tempering*.

Judul	Uji eksperimen tingkat kekerasan dan ketangguhan baja pegas JIS SUP 9 dengan metode laku panas <i>hardening</i> dan <i>tempering</i> .
Nama Jurnal	JTM.Volume 05 Nomor 03 Tahun 2017.
Penulis	Ahmad Dzulfikri Halimi S1 Teknik Mesin Manufaktur, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
Tujuan	Mengetahui pengaruh dari proses pemanasan <i>hardening</i> dan <i>tempering</i> terhadap tingkat kekerasan dan ketangguhan baja pegas JIS SUP 9, serta memahami struktur mikro yang terbentuk setelah mengalami perlakuan tersebut. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja pegas karbon sedang yang memenuhi standar JIS grade SUP9.
Kesimpulan	Dari hasil uji ketangguhan dengan uji dampak, terlihat bahwa proses panas yang diberikan memengaruhi sifat baja pegas. Nilai pukul takik pada material yang sudah diberi perlakuan menunjukkan peningkatan yang berfluktuasi. Peningkatan tertinggi terjadi pada variasi temperatur <i>hardening</i> 800°C dan <i>tempering</i> 500°C, yaitu sebesar 42,81 Joule, meningkat 227% dibandingkan ketangguhan bahan baku yang hanya 13,09 Joule. Proses <i>hardening</i> dan <i>tempering</i> juga memperbaiki struktur material baik secara makro maupun mikro. Pada bahan baku, permukaan berbentuk datar tanpa deformasi plastis, menunjukkan bahwa bahan bersifat getas. Namun, pada spesimen yang sudah diberi perlakuan, terjadi perubahan bentuk permukaan samping yang mengalami deformasi plastis dan permukaan yang berserat ( <i>fibrous</i> ).

### C. Jurnal 3

Jurnal 3 berisi mengenai analisis perumaterial sifat mekanik AL 6063 setelah dilakukan *heat treatment* temperatur tetap dengan waktu tahan yang bervariasi

Judul	Analisis Perumaterial Sifat Mekanik AL 6063 Setelah Dilakukan Heat Treatment Temperatur Tetap Dengan Waktu Tahan Yang Bervariasi.
-------	---

Nama Jurnal	BINA TEKNIKA, Volume 16 Nomor 1, Edisi Juni 2020.
Penulis	Rohmat, Rudianto.
Tujuan	Mengetahui perumaterial sifat mekanik dan struktur mikro dengan cara menganalisa perumaterial material kekerasan dari hasil proses yang di lakukan pada Aluminium alloy. Logam paduan akan mengalami perumaterial sifat dan struktur mikro akibat proses pemanasan dengan media pendingin udara.
Kesimpulan	Hasil uji kadar zat kimia dari bahan Aluminium 6063 menunjukkan kadar Aluminium (Al) sebesar 98,7%, Besi (Fe) 0,230%, Silikon (Si) 0,530%, dan Magnesium (Mg) 0,532%. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa bahan aluminium 6063 merupakan campuran AlMg-Si. Dari hasil pengamatan struktur mikro aluminium 6063 yang telah diolah dengan pemanasan pada temperatur tetap 530°C selama waktu tahan yang berbeda yaitu 30, 40, 50, dan 60 menit serta didinginkan dengan udara, terdapat struktur berupa dendrite Aluminium, tersebarnya butir silikon, serta terbentuknya pertumbuhan ukuran butir.

#### D. Jurnal 4

Jurnal 4 berisi mengenai peningkatkan mutu baja SUP 9 pada pegas daun dengan proses perlakuan panas.

Judul	Meningkatkan mutu baja SUP 9 pada pegas daun dengan proses perlakuan panas.
Nama Jurnal	Metalografi benda uji bekas <i>hardening</i> .
Penulis	Indra Setiawan, Muhamad Sakti Nur Universitas Muhammadiyah Jakarta 2018.
Tujuan	Dalam penelitian ini, dapat mengetahui pengaruh perubahan temperatur sebelum dan setelah proses pemanasan terhadap tingkat kekerasan serta hasil pengamatan metalografi. Uji dilakukan pada sampel yang belum pernah diolah panas sebelumnya, serta pada sampel yang telah diolah panas dengan temperatur 850 derajat Celsius selama 30 menit, menggunakan oli sebagai media pendingin. Setelah itu, sampel tersebut diolah panas kembali ( <i>tempering</i> ) dengan temperatur 480 derajat Celsius selama 15 menit, juga menggunakan oli sebagai media pendingin.
Kesimpulan	Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa spesimen pegas daun baru memiliki kandungan karbon sebesar

	<p>0,504%, sedangkan spesimen pegas daun bekas sebesar 0,510%. Berdasarkan kadar karbon tersebut, kedua spesimen termasuk dalam kategori baja karbon sedang. Pada pengujian tarik diperoleh bahwa spesimen baru memiliki kuat tarik sebesar 1335 N dengan penambahan panjang 68%, lebih tinggi dibandingkan spesimen bekas yang memiliki kuat tarik 1223 N dengan penambahan panjang 52%. Hal ini menunjukkan bahwa spesimen baru memiliki sifat kelenturan yang lebih baik dibandingkan spesimen bekas. Sementara itu, hasil uji kekerasan memperlihatkan bahwa spesimen bekas memiliki nilai kekerasan lebih tinggi, yaitu 45,5 HRc, dibandingkan dengan spesimen baru yang memiliki nilai 44,7 HRc.</p>
--	--

### E. Jurnal 5

Jurnal 5 berisi mengenai efek perlakuan panas pada substrat baja karbon dan lapisan hasil pengerasan permukaan dengan metode MMAW.

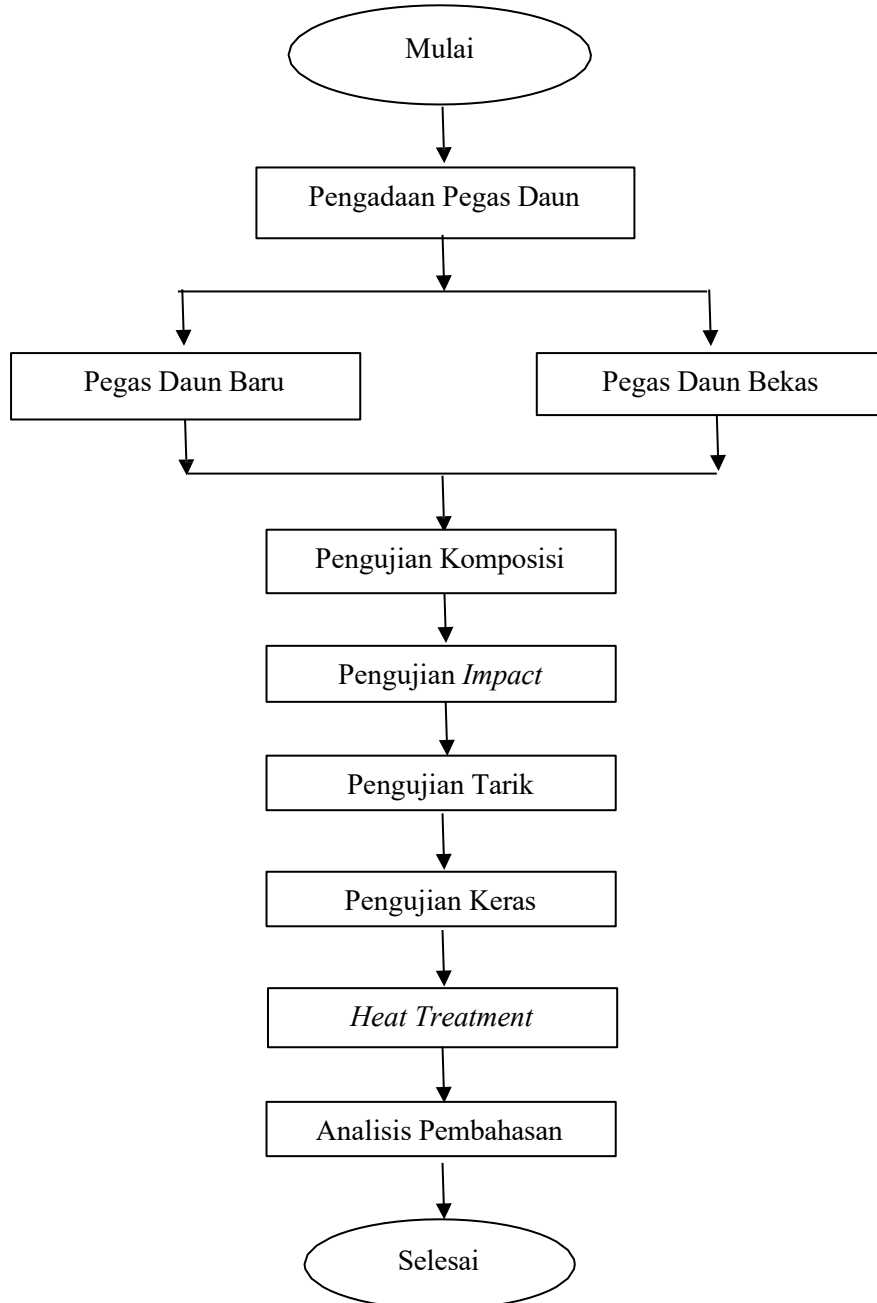
Judul	Efek perlakuan panas pada substrat baja karbon dan lapisan hasil pengerasan permukaan dengan metode MMAW.
Nama Jurnal	Jurnal Mechanical, Volume 11, Nomor 1, Maret 2020
Penulis	Ferry Budhi Susetyo, Siska Titik Dwiwati, Muhammad Yazid, Yos Nofendri.
Tujuan	Upaya peningkatan ketahanan material terhadap keausan maupun benturan dapat dilakukan melalui proses pengelasan MMAW, yang umumnya diaplikasikan untuk menyambungkan dua logam. Salah satu metode yang banyak diterapkan adalah <i>hardfacing</i> dengan teknik MMAW, karena proses ini relatif mudah ditemukan serta banyak digunakan dalam praktik industri.
Kesimpulan	Nilai kekerasan substrat yang dilapisi <i>hard facing</i> meningkat setelah diolah dengan <i>heat treatment</i> dan didinginkan menggunakan media <i>coolant</i> selama 10 menit, yaitu dari 163,96 VHN menjadi 296,3 VHN. Pada waktu 20 menit, kekerasan naik lagi dari 296,3 VHN menjadi 334,98 VHN, namun kemudian menurun kembali menjadi 233,5 VHN. Nilai kekerasan substrat yang dilapisi <i>hard facing</i> juga meningkat setelah diolah dengan <i>heat treatment</i> dan didinginkan menggunakan media oli selama 10 menit, yaitu dari 163,96 VHN menjadi 210,92 VHN. Pada waktu 20 menit, kekerasan naik dari 210,92 VHN menjadi 241,8 VHN, lalu menurun

	<p>kembali menjadi 233,5 VHN. Nilai kekerasan lapisan las <i>hard facing</i> meningkat setelah diolah dengan <i>heat treatment</i> dan didinginkan menggunakan media <i>coolant</i> selama 10 menit, yaitu dari 344,92 VHN menjadi 459,36 VHN. Pada waktu 20 menit, kekerasan naik menjadi 466,78 VHN, kemudian menurun kembali menjadi 407,36 VHN.</p>
--	---

## BAB III METODOLOGI

### 1. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini sebagai berikut:



Gambar 2 Diagram Alir

- a. Uraian diagram air

Adapun penjelasan mengenai diagram alir di atas adalah sebagai berikut:

1. Persiapan Spesimen. Tahap pertama dalam eksperimen ini adalah mempersiapkan material yang akan diuji yaitu spesimen pegas daun yang baru dan bekas dengan kandungan karbon 0,50% - 1.00%.
2. *Heat Treatment*. Proses ini dilakukan pada spesimen baja pegas daun yang bekas untuk menghilangkan tegangan sisa atau *Stress Relief*, dilakukan pada tungku dan dipanaskan hingga fasa yang telah ditentukan dengan temperatur 450°C, setelah itu dilakukan *quenching* dengan media air selama 15 detik.
3. Pengujian Tarik. Baja pegas daun yang bekas dilakukan pengujian tarik untuk mengetahui kekuatan baja pegas daun dengan cara memberikan beban gaya.
4. Pengujian Keras. Baja pegas daun yang bekas dilakukan pengujian kekerasan yang bertujuan untuk mengetahui ketahanan material terhadap deformasi

## **2. Tempat Penelitian**

Penelitian ini bertempat di BBLM (Balai Besar Logam dan Mesin) Jalan Sangkuriang No. 12, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40135.

## **3. Peralatan dan material yang digunakan**

Peralatan dan material yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Pegas daun bekas
2. Pegas daun baru
3. Tungku *heat treatment*
4. *Quenching* dengan media air
5. Sarung tangan

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Umum

Proses penelitian yang telah dilakukan memperoleh data berupa grafik, angka dan gambar dari pengujian yang telah dilakukan. Merekondisi baja pegas daun pegas bekas ini merupakan sebuah rancangan manufaktur dengan menggunakan *heat treatment* sebagai acuan pengembangan data, dimana baja pegas daun bekas di teliti terlebih dahulu kandungan komposisinya, kemudian dilakukannya uji *impact* untuk mendapatkan nilai ketangguhannya, setelah itu pengujian Tarik digunakan guna mengetahui sifat mekanis dan perubahan yang terjadi pada material. Setelah melakukan rangkaian pengujian, baja daun pegas bekas kemudian diberi *heat treatment* atau perlakuan panas agar mengetahui angka atau nilai perbandingan dengan bajau daun pegas bekas yang belum di *heat treatment*.

### 2. Hasil Penelitian (Data dan Temuan)

Penelitian yang sudah dilakukan mendapatkan beberapa data dan temuan yang diperoleh kemudian dijelaskan pada tabel dibawah ini.

#### A. Hasil pengujian komposisi

Uji komposisi dilakukan pada kedua material, pada tabel terlihat sedikit perbedaan antara pegas daun baru dan pegas daun bekas. Dilakukannya pengujian ini agar mengetahui komposisi pada kedua material.

Tabel 1 Komposisi kimia pegas daun bekas

No.	Unsur Kimia	Komposisi (%)
1	Fe	97,6
2	C	<b>0,524</b>
3	Si	0,227
4	Mn	0,843
5	P	0,0157
6	S	0,0055
7	Cr	0,768
8	Mo	<0,0030

No.	Unsur Kimia	Komposisi (%)
9	Ni	<0,0050
10	Al	0,0020
11	Co	0,0038
12	Cu	0,0059
13	Nb	<0,0020
14	Ti	<0,0010
15	V	<0,0010
16	W	<0,0400
17	Pb	<0,0150
18	Sn	<0,0020
19	B	<0,0010
20	Ca	0,0042
21	Zr	<0,0020
22	As	0,0121
23	Bi	<0,0250

Symbol < menyatakan presentasi kimia kurang dari

Baja pegas daun bekas dengan kandungan karbon sekitar 0,5% ini memiliki kekuatan tarik dan kekerasan yang baik.

Tabel 2 Komposisi kimia pegas daun baru

No.	Unsur Kimia	Komposisi (%)
1	Fe	97,4
2	<b>C</b>	<b>0,462</b>
3	Si	0,302
4	Mn	0,866
5	P	0,0171
6	S	<0,0020

No.	Unsur Kimia	Komposisi (%)
7	Cr	0,806
8	Mo	0,0116
9	Ni	0,0341
10	Al	0,0250
11	Co	0,0089
12	Cu	0,0506
13	Nb	0,0031
14	Ti	0,0030
15	V	0,0019
16	W	<0,0400
17	Pb	<0,0150
18	Sn	0,0040
19	B	<0,0010
20	Ca	0,0072
21	Zr	<0,0020
22	As	0,0081
23	Bi	<0,0250

Symbol < menyatakan presentasi kimia kurang dari

Unsur utama Fe 97%, dengan kandungan karbon 0,462% termasuk baja karbon menengah. Dari hasil uji komposisi spesimen, pegas daun bekas memiliki kandungan karbon sebesar 0,524% dan spesimen pegas daun bekas memiliki kandungan karbon sebesar 0,462%. Material kedua pegas tersebut merupakan baja karbon sedang (*medium carbon steel*). Kandungan karbon tersebut dijadikan dasar dalam penentuan temperatur perlakuan panas (*heat treatment*).

#### B. Hasil pengujian mekanik

Tahap awal pengujian spesimen yaitu pemotongan pegas daun baru dan bekas. Pengujian spesimen mengacu pada standar ASTM-E8 untuk uji tarik dan ASTM-E23 untuk uji *Impact*. Pengamatan pada penelitian ini dilakukan di kedua spesimen yang belum maupun

sudah di *heat treatment*. *Smartphone* menjadi alat untuk melakukan pengamatan visual ini agar mengetahui bentuk visual dari spesimen terkait.



Gambar 3 Spesimen pegas daun bekas sebelum (atas) dan sesudah (bawah) uji tarik



Gambar 4 Spesimen pegas daun baru sebelum (atas) dan sesudah (bawah) uji tarik

### C. Hasil uji *impact*

Pengujian *impact* ini menggunakan metode *charpy* V-notch ASTM E23. Spesimen yang digunakan memiliki panjang 55 mm, ketebalan 10 mm, dan tebal 8 mm. V-notch berada di tengah spesimen dengan sudut bukaan 45 derajat. Energi yang diserap dalam uji ini menunjukkan tingkat ketangguhan bahan tertentu dan bisa digunakan untuk memahami sifat transisi lentur-getas bahan tergantung temperturnya.



Gambar 5 Spesimen Impact Bekas



Gambar 6 Spesimen Impact Baru

Tabel 3 Hasil uji impact bekas

Parameter Uji	Hasil
Identitas contoh uji	Pegas Daun Bekas
Tebal (t) mm	5,09
Lebar (w) mm	7,04
Luas Penampang, (A.) mm <sup>2</sup>	35,79
Sudut Awal pendulum ( $\alpha$ ), °	140,00
Sudut Akhir pendulum ( $\beta$ ), °	5,20
<b>Energi yang diserap (E), Kgf.m</b>	29,81
Bentuk Notch	V
Dalam Takikan (mm)	1,98
Radius Takikan (mm)	0,73
Sudut Takikan ( $\theta$ )	94

Tabel 4 Hasil uji Impact Baru

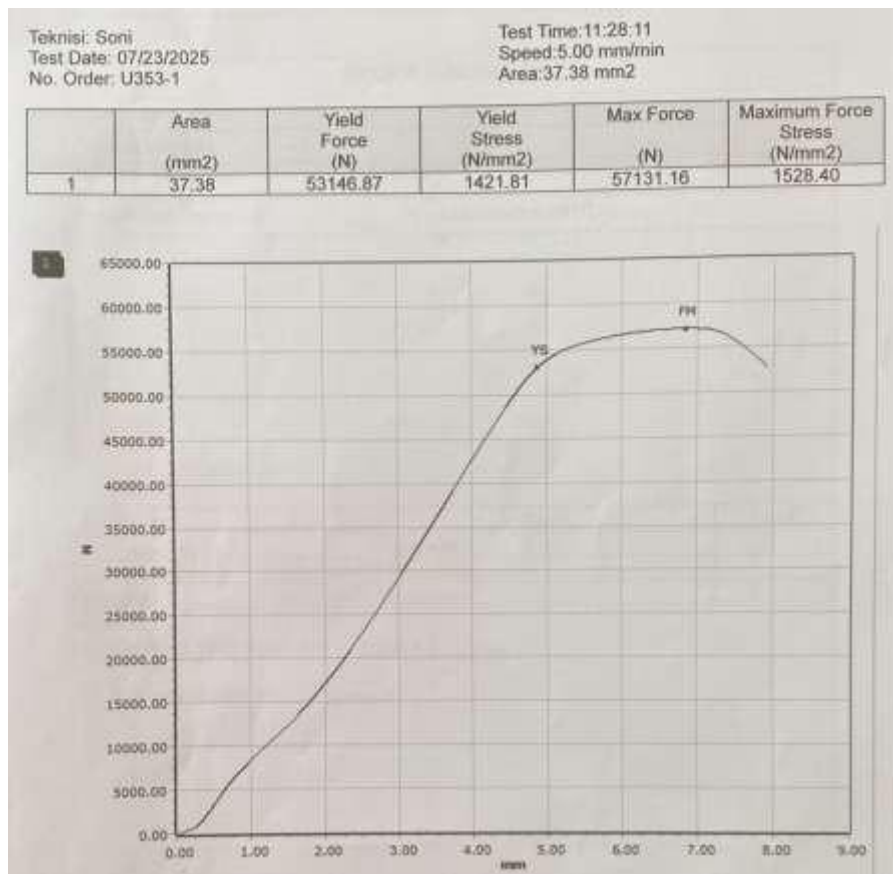
<b>Parameter Uji</b>	<b>Hasil</b>
Identitas contoh uji	Pegas Daun Baru
Tebal (t) mm	5,20
Lebar (w) mm	7,25
Luas Penampang, (A <sub>c</sub> ) mm <sup>2</sup>	37,70
Sudut Awal pendulum ( $\alpha$ ), °	140,00
Sudut Akhir pendulum ( $\beta$ ), °	2,40
<b>Energi yang diserap (E), Kgf.m</b>	29,86
Bentuk Notch	V
Dalam Takikan (mm)	1,85
Radius Takikan (mm)	0,72
Sudut Takikan ( $\theta$ )	95°

#### **D. Hasil Pengujian Tarik**

Pelaksanaan pengujian tarik dilakukan guna memperoleh informasi mengenai sifat mekanis material sekaligus mengamati perubahan yang muncul akibat perlakuan yang diberikan pada spesimen pegas daun baru dan bekas. Pengujian ini menggunakan mesin uji tarik hidrolik UPM 1000, dengan skala beban 100 kN, pengujian tarik pada spesimen pegas daun baru maupun bekas menghasilkan data berupa kurva tegangan-regangan, beban maksimum, tegangan tarik maksimum, serta ukuran penampang setelah pengujian. Hasil tersebut dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5 Hasil uji tarik bekas

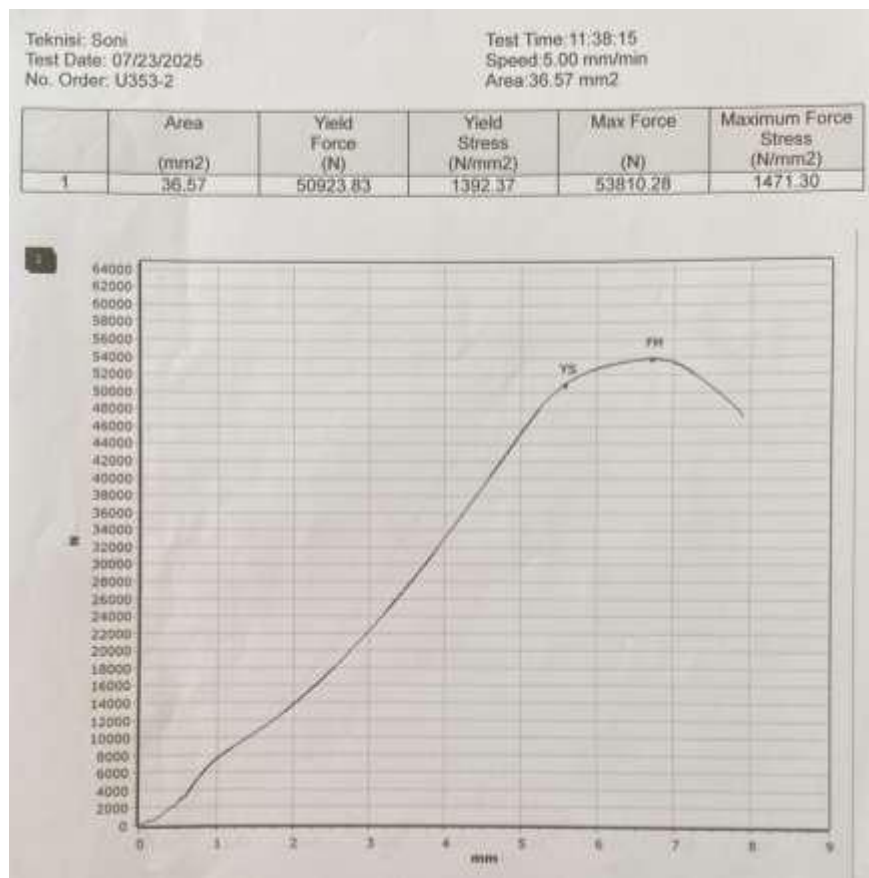
Parameter Uji	Hasil
Identitas contoh uji	Pegas Daun Bekas
Tebal $T_o$ (mm)	3,00
Lebar $W_o$ (mm)	12,46
Luas Penampang, $A_o$ (mm)	37,38
Panjang Ukur Awal, $L_o$ (mm)	50,00
Panjang Ukur Akhir, $L_i$ (mm)	53,91
Regangan, (%)	7,82
Beban Maksimum, $F_{max}$ (N)	57 131,16
Kuat Tarik, $\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	1 528,40
Beban Luluh, $F_\gamma$ (N)	53 146,87
Kuat Luluh, $\sigma_\gamma$ (N/mm <sup>2</sup> )	1 421,81



Gambar 7 Hasil uji tarik bekas

Tabel 6 Hasil uji tarik baru

Parameter Uji	Hasil
Identitas contoh uji	Pegas Daun Bekas
Tebal $T_0$ (mm)	2,94
Lebar $W_0$ (mm)	12,44
Luas Penampang, $A_0$ (mm)	36,57
Panjang Ukur Awal, $L_0$ (mm)	50,00
Panjang Ukur Akhir, $L_i$ (mm)	52,44
Regangan, (%)	4,88
Beban Maksimum, $F_{max}$ (N)	53 810,28
Kuat Tarik, $\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	1 471,30
Beban Luluh, $F_y$ (N)	50 923,83
Kuat Luluh, $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	1 392,37



Gambar 8 Hasil uji tarik baru

Berdasarkan parameter uji yang ditampilkan (tebal, lebar, panjang ukur awal–akhir, beban maksimum, beban luluh, regangan, kuat tarik, dan kuat luluh), maka jenis pengujian yang digunakan adalah uji tarik statis menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) dengan metode standar (umumnya mengikuti ASTM E8 atau SNI 07-0408-1989). Uji ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik utama material, yaitu kuat tarik, kuat luluh, regangan, dan modulus elastisitas (jika dihitung dari kurva tegangan–regangan).

Hasil uji tarik menunjukkan bahwa pegas daun bekas justru memiliki kekuatan tarik dan beban maksimum yang lebih tinggi dibandingkan pegas daun baru. Hal ini dapat dijelaskan melalui fenomena perubahan mikrostruktur akibat proses kerja dan siklus pembebanan selama pemakaian. Selama digunakan, pegas daun bekas mengalami pembebanan berulang (*cyclic loading*) yang menyebabkan terjadinya proses *strain hardening* (*work hardening*), yaitu pengerasan akibat deformasi plastis yang berulang. Akibatnya, dislokasi dalam struktur kristal semakin rapat dan saling mengunci, sehingga material menjadi lebih kuat dan keras, meskipun tingkat keuletannya sedikit berkurang. Kondisi ini sesuai dengan hasil uji yang menunjukkan regangan pegas bekas lebih besar (7,82%) dibanding pegas baru (4,88%), yang berarti pegas bekas masih mampu menahan deformasi dengan kekuatan tinggi.

Selain itu, kemungkinan pegas daun baru masih dalam kondisi mikrostruktur hasil produksi yang belum sepenuhnya homogen atau belum mengalami “penguatan” alami akibat penggunaan. Sebaliknya, pegas daun bekas bisa jadi pernah mengalami efek temper alami akibat gesekan, getaran, atau panas selama pemakaian, sehingga mikrostrukturnya lebih stabil dan memberikan kombinasi antara kekuatan luluh yang tinggi ( $\sigma_y = 1421,81$  N/mm<sup>2</sup>) dan kekuatan tarik maksimum ( $\sigma_u = 1528,40$  N/mm<sup>2</sup>). Hal ini berbeda dengan pegas baru yang meskipun belum pernah digunakan, kekuatannya justru lebih rendah (1471,30 N/mm<sup>2</sup>) karena belum mengalami mekanisme penguatan alami tersebut.

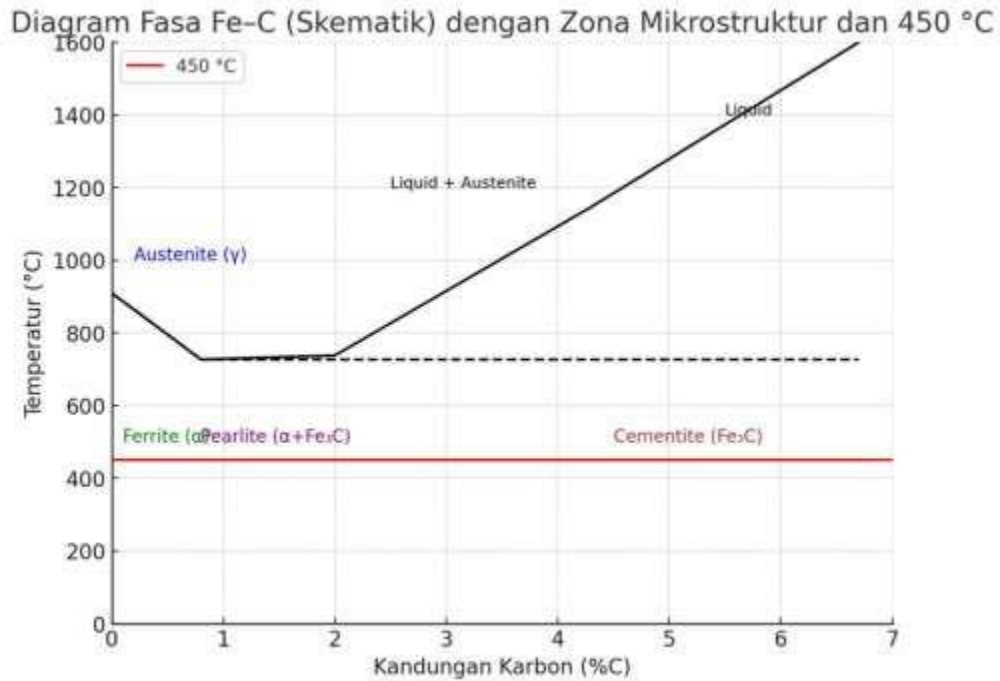
Dengan demikian, fenomena ini dapat disimpulkan bahwa pemakaian jangka panjang pada pegas daun bekas tidak selalu menurunkan sifat mekaniknya, justru dapat meningkatkan kekuatan tarik akibat mekanisme *strain hardening*. Namun, meskipun hasil uji tarik menunjukkan nilai yang lebih baik, dalam aplikasi nyata pegas bekas tidak selalu lebih unggul karena adanya risiko kelelahan material (*fatigue*) yang tidak dapat terdeteksi hanya melalui uji tarik.

### E. Hasil pengujian *heat treatment*

*Heat treatment* dilakukan pada temperatur 450°C dengan *holding time* selama 110 menit untuk mendapatkan fasa ferrite dan perlite, kemudian dilakukan *tempering* ke temperatur yang lebih rendah selama 30 menit dengan tujuan untuk meningkatkan keuletan dan ketangguhan. Setelah itu dilakukannya proses *quenching* dengan media air selama 10 detik dengan tujuan merubah struktur mikro dan menghasilkan sifat-sifat yang diinginkan.



Gambar 9 *Heat Treatment*



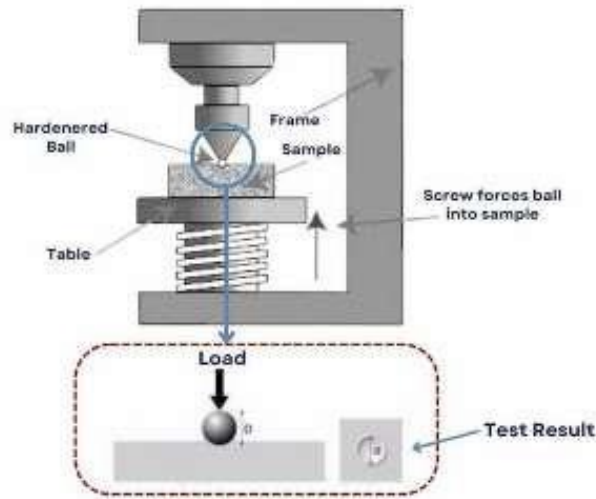
Gambar 10 Diagram Fasa Fe-3C

Diagram fasa Fe-C dengan garis pada 450 °C membantu menjelaskan bagaimana komposisi karbon dan perlakuan panas menentukan mikrostruktur akhir dan sifat mekanik baja, pada 450 °C berada jauh di bawah temperatur transformasi austenit (727 °C), sehingga pada suhu ini tidak ada austenit stabil, yang ada adalah fasa padat akhir seperti ferrite, pearlite, dan cementite tergantung kadar karbon. Jika baja dipanaskan di atas garis austenitisasi lalu dipadamkan cepat, akan terbentuk martensit (struktur sangat keras dan rapuh) yang kemudian bila di-temper pada sekitar 400–500 °C akan mengalami pemecahan martensit menjadi ferrite yang lebih halus dan presipitasi karbida halus (temper-karbida), sehingga terjadi penurunan kekerasan bersamaan dengan peningkatan keuletan dan stabilitas dimensi akibat hilangnya tegangan sisa. Sebaliknya, baja yang tidak mengalami perlakuan panas khusus tetapi telah bekerja dalam kondisi siklik (sebagai pegas) dapat mengalami work-hardening dan pembentukan dislokasi yang meningkatkan kekuatan tarik dan kuat luluh local, fenomena ini menjelaskan mengapa pegas bekas nilai  $\sigma_u$  dan  $F_{max}$  lebih tinggi pada uji tarik. Namun, diagram juga mengingatkan bahwa peningkatan fraksi fasa keras (mis. cementite atau martensit yang tidak sempurna di-temper) meningkatkan kekerasan dan kekuatan tetapi mengurangi ketangguhan; oleh karena itu meskipun pegas bekas dapat tampil “lebih kuat” di uji tarik statis (akibat work-hardening atau pengaruh batch/heat treatment sebelumnya), komponennya bisa lebih rentan terhadap retak fatigue dan kegagalan mendadak dalam kondisi pembebanan bolak-balik. Secara praktis,

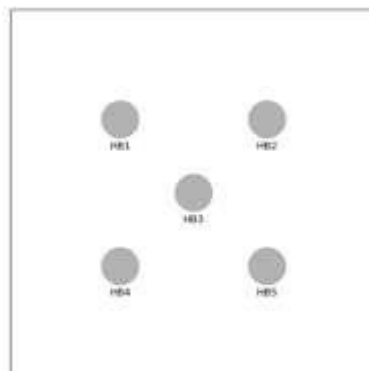
memahami posisi pada diagram Fe–C dan proses termal (austenitisasi, quenching, tempering pada kisaran 450 °C) membantu menjelaskan trade-off antara kekuatan, kekerasan, dan keuletan: perlakuan panas terkontrol (austenitisasi + pendinginan + *tempering*) biasanya adalah jalan untuk mendapatkan kombinasi sifat yang diinginkan untuk pegas kekuatan tinggi dengan ketangguhan yang baik, sementara pemakaian jangka panjang cenderung memodifikasi sifat melalui pengerasan kerja tetapi membawa risiko penurunan umur *fatigue* yang tidak terlihat pada uji tarik.

#### F. Hasil uji keras *Brinell*

Kekerasan adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan deformasi pada permukaannya. Pengujian ini dilakukan pada indentasi yang dihasilkan dan dikonversi menjadi nilai kekerasan relatif terhadap skala kekerasan uji tertentu. Pengujian dilakukan dengan Mesin Uji Kekerasan *Brinell* Merek : Future Tech, Model : LC 200 RB. Indentor yang dipakai adalah bola baja keras atau bola karbida tungsten dengan diameter 2,5 mm.



Gambar 11 Indentor 2,5 mm



Gambar 12 Titik pengujian

Tabel 7 Hasil uji keras bekas

Identitas Contoh Uji	Beban Yang Digunakan (Kgf)	Diameter Indentor (mm)	Hasil Uji					
			HB <sub>1</sub>	HB <sub>2</sub>	HB <sub>3</sub>	HB <sub>4</sub>	HB <sub>5</sub>	HB <sub>rata-rata</sub>
U384-1 Lama	187,5	2,5	400,28	413,06	400,77	419,40	392,43	405,19

Berdasarkan tabel hasil uji keras Brinell pada spesimen pegas daun dengan beban 187,5 kgf dan diameter indentor 2,5 mm, diperoleh nilai kekerasan bervariasi antara 392,43 HB hingga 419,40 HB, dengan rata-rata sebesar 405,19 HB. Nilai ini menunjukkan bahwa material pegas daun bekas masih memiliki tingkat kekerasan yang relatif tinggi meskipun telah lama digunakan. Variasi hasil uji di setiap titik (sekitar  $\pm 13$  HB dari rata-rata) dapat disebabkan oleh ketidakseragaman struktur mikro akibat proses kerja berulang (fatigue) maupun efek panas dan gesekan selama pemakaian.

Kekerasan yang masih tinggi ini menandakan bahwa material pegas memiliki kandungan karbon menengah-tinggi dengan struktur dominan perlit dan sementit yang relatif stabil. Namun, dibandingkan dengan pegas baru atau setelah perlakuan panas, pegas bekas biasanya cenderung mengalami sedikit penurunan homogenitas sifat mekanik akibat adanya strain hardening dan kemungkinan mikro retak pada permukaan. Dengan demikian, meskipun hasil kekerasan rata-rata menunjukkan angka yang cukup baik, dari sisi performa aktual material berpotensi mengalami penurunan daya tahan terhadap beban dinamis jangka panjang.

Tabel 8 Hasil uji keras baru

Identitas Contoh Uji	Beban Yang Digunakan (Kgf)	Diameter Indentor (mm)	Hasil Uji					
			HB <sub>1</sub>	HB <sub>2</sub>	HB <sub>3</sub>	HB <sub>4</sub>	HB <sub>5</sub>	HB <sub>rata-rata</sub>
U384-2 Baru	187,5	2,5	426,21	422,31	433,05	433,17	420,26	427,00

Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa pegas daun baru memiliki nilai kekerasan rata-rata 427 HB, dengan sebaran nilai yang cukup seragam (rentang 420–433 HB). Hal ini menunjukkan bahwa material pegas baru memiliki struktur mikro yang masih homogen, tanpa adanya pengaruh kelelahan material, deformasi plastis, atau perubahan mikrostruktur

akibat penggunaan dalam jangka panjang. Konsistensi nilai kekerasan ini mengindikasikan bahwa distribusi fasa pada baja pegas (biasanya dominan pearlite + sedikit ferrite atau tempered martensite, tergantung perlakuan panas pabrik) berada dalam kondisi stabil dan sesuai dengan standar desainnya.

Jika dibandingkan dengan pegas daun bekas (sekitar 405 HB), nilai kekerasan pegas baru lebih tinggi. Ini berarti pegas baru mampu menahan beban dan tekanan yang lebih besar sebelum mengalami deformasi plastis. Selain itu, homogenitas nilai HB pada spesimen baru lebih baik dibandingkan dengan pegas bekas, yang memiliki variasi lebih besar antar titik uji. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pegas daun baru memiliki kekerasan tinggi, seragam, dan secara mekanik lebih andal untuk digunakan, sesuai dengan fungsi utamanya sebagai komponen elastis pada sistem suspensi kendaraan.

### G. Hasil uji keras *Brinell* setelah *Heat Treatment*

Setelah material melalui proses *heat treatment*, dilakukannya lagi pengujian keras *brinell* untuk melihat perbandingan material yang belum dan sudah mengalami proses *heat treatment*.

Tabel 9 Hasil uji keras material bekas setelah *heat treatment*

Identitas Contoh Uji	Beban Yang Digunakan (Kgf)	Diameter Indentor (mm)	Hasil Uji					
			HB <sub>1</sub>	HB <sub>2</sub>	HB <sub>3</sub>	HB <sub>4</sub>	HB <sub>5</sub>	HB <sub>rata-rata</sub>
U401/ Pegas daun bekas	187,5	2,5	429,19	429,96	419,83	425,46	425,50	425,39 ± 3,44

Hasil pengujian kekerasan Brinell pada pegas daun baru menunjukkan nilai rata-rata sebesar 427 HB, sedangkan pada pegas daun bekas didapatkan nilai rata-rata sebesar 405 HB, dan setelah dilakukan proses *heat treatment*, nilai kekerasan pegas daun bekas meningkat kembali menjadi sekitar 425 HB. Perbedaan nilai kekerasan ini memberikan gambaran yang jelas mengenai kondisi mikrostruktur dan sifat mekanik material. Pada pegas baru, nilai kekerasan yang lebih tinggi menunjukkan bahwa material masih berada pada kondisi optimum dengan struktur mikro yang relatif homogen, didominasi oleh fasa pearlite halus dan ferrite yang keras, sehingga mampu memberikan kekuatan dan ketahanan aus yang baik. Sementara itu, penurunan kekerasan pada pegas bekas diakibatkan oleh pengaruh pemakaian dalam jangka waktu lama yang menyebabkan terjadinya kelelahan

material (*fatigue*), relaksasi tegangan, serta kemungkinan deformasi plastis mikro akibat beban berulang. Hal ini mengindikasikan adanya degradasi sifat mekanik yang berhubungan langsung dengan penurunan kemampuan pegas dalam menahan beban. Menariknya, setelah dilakukan proses *heat treatment*, kekerasan pegas bekas meningkat mendekati nilai pegas baru, yaitu 425 HB, yang berarti perlakuan panas berhasil memperbaiki struktur mikro dengan memperhalus kembali pearlite dan memulihkan tegangan sisa pada material. Jika dikaitkan dengan kekuatan tarik, maka nilai 405 HB pada pegas bekas berkisar di sekitar 1397 MPa, sedangkan pegas baru mencapai 1473 MPa, dan pegas bekas setelah heat treatment meningkat menjadi 1466 MPa. Dari data ini dapat disimpulkan bahwa proses *heat treatment* efektif dalam mengembalikan sifat mekanik pegas mendekati kondisi awalnya, sehingga komponen dapat kembali memiliki performa yang mendekati pegas baru.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 1. Kesimpulan

1. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan bahwa spesimen pegas daun baru memiliki kadar karbon sebesar 0,524%, sedangkan spesimen pegas daun bekas memiliki kadar karbon 0,462%. Berdasarkan kandungan tersebut, kedua spesimen dapat dikategorikan sebagai baja karbon sedang.
2. Uji tarik menunjukkan bahwa pegas daun bekas memiliki nilai kuat tarik dan beban maksimum yang relatif tinggi akibat adanya *strain hardening* selama pemakaian. Namun, meskipun lebih kuat, pegas bekas berisiko mengalami kerusakan akibat *fatigue* yang tidak terdeteksi hanya melalui uji tarik.
3. Pada pengujian keras *brinell* sebelum proses *heat treatment*, spesimen baru memiliki nilai rata-rata 427 HB dan spesimen bekas memiliki nilai rata-rata 405 HB. Setelah dilakukannya proses *heat treatment*, nilai rata-rata pegas daun bekas bertambah menjadi 425 HB.
4. Perbedaan nilai kekerasan dan kekuatan tarik ini membuktikan bahwa pemakaian jangka panjang menurunkan homogenitas mikrostruktur dan menyebabkan degradasi sifat mekanik, sedangkan *heat treatment* efektif memulihkan sifat tersebut.
5. Secara keseluruhan, pegas baru tetap memiliki sifat mekanik paling stabil, tetapi pegas bekas yang sudah di *heat treatment* masih layak digunakan kembali karena sifatnya mendekati pegas baru.

### 2. Saran

Penelitian lanjutan disarankan untuk menggunakan uji *fatigue*, pada pengujian *fatigue* mewakili banyak pengujian mekanik, dengan dilakukannya uji *fatigue* juga dapat mengetahui berapa lama spesimen dapat menahan beban yang berulang ulang, seperti cara kerja pegas daun pada kendaraan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Joseph R. Davis, "Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys," in *ASM HANDBOOK*, 1990, pp. 302–326. [Online]. Available: <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v01.9781627081610>
- [2] Z. Li, D. Zhang, Z. Zhao, C. Xia, Y. Zhu, and Z. Liu, "Effect of Heat Treatment on Microstructures and Mechanical Properties of Mg–5.5Gd–3.5Nd–0.5Zn–0.4Zr Alloy," *Trans. Indian Inst. Met.*, vol. 75, no. 11, pp. 2883–2890, 2022, doi: 10.1007/s12666-022-02646-x.
- [3] S. Das, S. Talukdar, V. Solanki, A. Kumar, and G. Mukhopadhyay, "Breakage of Spring Steel During Manufacturing: A Metallurgical Investigation," *J. Fail. Anal. Prev.*, vol. 20, pp. 1462–1469, Oct. 2020, doi: 10.1007/s11668-020-00993-9.
- [4] P. S. Gaikwad, "MavMatrix Comparison of steel and composite leaf springs using FEA Presented to the Faculty of the Graduate School of," 2018.
- [5] G. Vukelic and M. Brcic, "Failure analysis of a motor vehicle coil spring," *Procedia Struct. Integr.*, vol. 2, pp. 2944–2950, 2016, doi: 10.1016/j.prostr.2016.06.368.
- [6] A. Sudano, D. Accoto, L. Zollo, and E. Guglielmelli, "Design, development and scaling analysis of a variable stiffness magnetic torsion spring," *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, vol. 10, 2013, doi: 10.5772/57300.
- [7] M. Berg, "A model for rubber springs in the dynamic analysis of rail vehicles," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part F J. Rail Rapid Transit*, vol. 211, no. 2, pp. 95–108, Mar. 1997, doi: 10.1243/0954409971530941.
- [8] D. Landau, "INFLUENCES AFFECTING THE FUNDAMENTAL DEFLECTION OF LEAF SPRINGS," vol. 8, pp. 83–96, 1913.
- [9] S. Elsheltat, A. Alshara, and W. Elshara, "Modeling and Finite Element Analysis of Leaf Spring Using Pro-Engineer and ANSYS Softwares," no. November, pp. 626–636, 2018, doi: 10.21467/proceedings.4.30.
- [10] F. N. Ahmad Refngah, S. Abdullah, A. Jalar, and L. B. Chua, "Fatigue life evaluation of two types of steel leaf springs," *Int. J. Mech. Mater. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 136–140, 2009.
- [11] D. . S. Suresh, K. Muneendra, and R. Mohammed, "Design and Analysis of Steel

- and Composite Material Leaf Spring,” *Int. J. Mod. Trends Sci. Technol.*, vol. 5, no. 9, pp. 12–20, 2019.
- [12] D. Ashok, M. V Mallikarjun, V. R. Mamilla, and P. G. Student, “International Journal of Emerging trends in Engineering and Development DESIGN AND STRUCTURAL ANALYSIS OF COMPOSITE MULTI LEAF SPRING,” *Issue*, vol. 2, no. June, 2012.
- [13] N. P. E. Utami *et al.*, “Material Selection and Mechanical Properties in Leaf Spring Application: a Review,” *Austenit*, vol. 14, no. 2, pp. 113–118, 2022, doi: 10.53893/austenit.v14i2.4878.
- [14] R. K. Luo and W. X. Wu, “Fatigue failure analysis of anti-vibration rubber spring,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 13, no. 1, pp. 110–116, 2006, doi: 10.1016/j.engfailanal.2004.10.012.
- [15] Z. Hashin, “Fatigue failure criteria for unidirectional fiber composites,” *J. Appl. Mech. Trans. ASME*, vol. 48, no. 4, pp. 846–852, 1981, doi: 10.1115/1.3157744.
- [16] P. R. Roberge, *Principles and Practice Principles and Practice Editors*. 2008.
- [17] K. V. Arun and K. V. Swetha, “Influence of Material Condition on the Dry Sliding Wear Behavior of Spring Steels,” *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, vol. 10, no. 04, pp. 323–337, 2011, doi: 10.4236/jmmce.2011.104023.
- [18] P. D. Chinh, “Mechanics of Materials and Structures SHAKEDOWN WORKING LIMITS FOR CIRCULAR SHAFTS AND HELICAL,” vol. 5, no. 3, 2010.
- [19] G. Krauss, “Tempering of Lath Martensite in Low and Medium Carbon Steels: Assessment and Challenges,” *Steel Res. Int.*, vol. 88, no. 10, pp. 1–18, 2017, doi: 10.1002/srin.201700038.
- [20] T. Senthilkumar and T. K. Ajiboye, “Effect of Heat Treatment Processes on the Mechanical Properties of Medium Carbon Steel,” *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, vol. 11, no. 02, pp. 143–152, 2012, doi: 10.4236/jmmce.2012.112011.
- [21] L. C. F. Canale, R. N. Penha, G. E. Totten, A. C. Canale, and M. R. Gasparini, “Overview of factors contributing to steel spring performance and failure,” *Int. J. Microstruct. Mater. Prop.*, vol. 2, no. 3–4, pp. 262–309, 2007, doi: 10.1504/ijmmp.2007.015310.
- [22] L. Gardner, “The use of stainless steel in structures,” *Prog. Struct. Eng. Mater.*, vol. 7, no. 2, pp. 45–55, 2005, doi: 10.1002/pse.190.

- [23] H. Danninger and M. Dlapka, "Heat treatment of sintered steels-what is different?," *HTM - J. Heat Treat. Mater.*, vol. 73, no. 3, pp. 117–130, 2018, doi: 10.3139/105.110353.
- [24] S. A. E. International and A. Engineers, "Heat Treatment of Leaf Springs Author (s): E. F. Lake Published by : SAE International," vol. 8, pp. 248–254, 1913.
- [25] J. Kalinowski *et al.*, "Quenching effects in organic electrophosphorescence," *Phys. Rev. B - Condens. Matter Mater. Phys.*, vol. 66, no. 23, pp. 1–15, 2002, doi: 10.1103/PhysRevB.66.235321.
- [26] L. de Campos Franceschini Canale and G. E. Totten, "Quenching technology: A selected overview of the current state-of-the-art," *Mater. Res.*, vol. 8, no. 4, pp. 461–467, 2005, doi: 10.1590/s1516-14392005000400018.
- [27] D. Said *et al.*, "Effect of the oxidation stability of soybean oil and palm oil on steel quenching performance," *ASM Heat Treat. Soc. - 26th Conf. Expo. Gearing Up Success*, no. February 2016, pp. 258–265, 2011, doi: 10.31399/asm.cp.ht2011p0258.
- [28] X. Luo and G. E. Totten, "Evolution from cooling modeling to cooling engineering of the steel quenching process: A technology overview," *Mater. Perform. Charact.*, vol. 8, no. 2, 2018, doi: 10.1520/MPC20180028.
- [29] L. Wei and P. Wei, "New Type of Quenching Medium-Aerosol Quenching Research Summary," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1639, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1639/1/012101.
- [30] N. M. A. Rahman, L. C. Haw, K. A. Kamaluddin, and M. S. I. Abdullah, "Investigating photovoltaic module performance using aluminium heat sink and forced cold-air circulation method in tropical climate conditions," *Energy Reports*, vol. 9, pp. 2797–2809, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.egy.2023.01.130.

# LAMPIRAN

## 1. Data hasil pengujian/pengukuran

	<b>Kementerian Perindustrian</b> REPUBLIK INDONESIA	<b>BALAI BESAR STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI LOGAM DAN MESIN</b> <b>LABORATORIUM KALIBRASI DAN PENGUJI</b> <small>Jalan Sangkaring No. 22 Bandung 40125 Telp: 022-2503171, e-mail: sekretariat_balai@kemperin.go.id</small>		 <small>Keanggotaan Nasional LK - 001 - IDN LP - 021 - IDN</small>
Nomor	: 0398-9/UJI BBLM/VI/2025	No. Order	: U262_2025-1	
Tanggal	: 11 Juni 2025	Halaman	: 1 dari 2	

<b>LAPORAN PENGUJIAN</b> <b>TEST REPORT</b>	
<b>JENIS PENGUJIAN</b> <i>Type of Testing</i>	: Uji Komposisi Kimia
<b>STANDAR ACUAN / METODE UJI</b> <i>Test Method/ Reference Standard</i>	: ASTM E415
<b>MEREK / TIPE</b> <i>Brand/ Type</i>	: Pegas Daun Bekas
<b>TANGGAL TERIMA</b> <i>Received Date</i>	: 03 Juni 2025
<b>TANGGAL PENGUJIAN</b> <i>Tested Date</i>	: 04 Juni 2025
<b>TEMPERATUR DAN KELEMBAPAN</b> <i>Temperature and humidity</i>	: 22,3°C / 54 %
<b>PEMILIK</b> <i>Owner</i>	: Febriawan Dwi Candra
<b>ALAMAT PEMILIK</b> <i>Owner Address</i>	: Negeri Tengah No. 29 Kec.Sukasari, Bandung
<b>BERITA ACARA / TANGGAL PENGAMBILAN CONTOH</b> <i>Sampling Report/ Sampling Date</i>	: -
<b>LEMBAGA SERTIFIKASI PRODUK</b> <i>Certification Body</i>	: -
<b>HASIL PENGUJIAN</b> <i>Test Result</i>	: Terlampir <i>Attached</i>

	Ketua Tim Pengujian dan Kalibrasi Elis Sofianti NIP. 197109301994032002
---	---

Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang telah diterbitkan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara



Nomor : 0398-9/UJI BBLM/VI/2025

No. Order : U262\_2025-1

Tanggal : 11 Juni 2025

Halaman : 2 dari 2

## HASIL PENGUJIAN TEST RESULT



PERHATIAN : 1. Hasil pengujian kalibrasi ini hanya untuk contoh/alar yang diuji/dikalibrasi  
2. Dilarang menyalin/mengyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

No	Unsur Kimia	Komposisi (%)	No	Unsur Kimia	Komposisi (%)
1	Fe	97,6	13	Nb	<0,0020
2	C	0,524	14	Ti	<0,0010
3	Si	0,227	15	V	<0,0010
4	Mn	0,843	16	W	<0,0400
5	P	0,0157	17	Pb	<0,0150
6	S	0,0055	18	Sn	<0,0020
7	Cr	0,768	19	B	<0,0010
8	Mo	<0,0030	20	Ca	0,0042
9	Ni	<0,0050	21	Zr	<0,0020
10	Al	0,0020	22	As	0,0121
11	Co	0,0038	23	Bi	<0,0250
12	Cu	0,0059			

Catatan : Pengujian dilakukan dengan Mesin PMI Master Smart Oxford,

No. Seri : 57T0028, Probe : 66T0020.

Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang telah diterbitkan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara

Nomor : 0399-9/UJI BBLM/VI/2025

No. Order : U262\_2025-2

Tanggal : 11 Juni 2025

Halaman : 1 dari 2

## **LAPORAN PENGUJIAN TEST REPORT**

JENIS PENGUJIAN : Uji Komposisi Kimia  
*Type of Testing*

STANDAR ACUAN/ METODE UJI : ASTM E415  
*Test Method/ Reference Standard*

MEREK/ TIPE : Pegas Daun Baru  
*Brand/ Type*

TANGGAL TERIMA : 03 Juni 2025  
*Received Date*

TANGGAL PENGUJIAN : 04 Juni 2025  
*Tested Date*

TEMPERATUR DAN KELEMBAPAN : 22,3°C / 54 %  
*Temperature and humidity*

PEMILIK : Febriawan Dwi Candra  
*Owner*

ALAMAT PEMILIK : Negla Tengah No. 29 Kec.Sukasari, Bandung  
*Owner Address*

BERITA ACARA/ TANGGAL  
PENGAMBILAN CONTOH : -  
*Sampling Report/ Sampling Date*

LEMBAGA SERTIFIKASI PRODUK : -  
*Certification Body*

HASIL PENGUJIAN : Terlampir  
*Test Result*  
*Attached*



Ketua Tim Pengujian dan Kalibrasi  
Elis Sofianti  
NIP. 197109301994032002

Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang telah diterbitkan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara

PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
2. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

Nomor : 0399-9/UJI BBLM/VI/2025

No. Order : U262\_2025-2

Tanggal : 11 Juni 2025

Halaman : 2 dari 2

## HASIL PENGUJIAN TEST RESULT



PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
2. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

No	Unsur Kimia	Komposisi (%)	No	Unsur Kimia	Komposisi (%)
1	Fe	97,4	13	Nb	0,0031
2	C	0,462	14	Ti	0,0030
3	Si	0,302	15	V	0,0019
4	Mn	0,866	16	W	<0,0400
5	P	0,0171	17	Pb	<0,0150
6	S	<0,0020	18	Sn	0,0040
7	Cr	0,806	19	B	<0,0010
8	Mo	0,0116	20	Ca	0,0072
9	Ni	0,0341	21	Zr	<0,0020
10	Al	0,0250	22	As	0,0081
11	Co	0,0089	23	Bi	<0,0250
12	Cu	0,0506			

Catatan : Pengujian dilakukan dengan Mesin PMI Master Smart Oxford,

No. Seri : 57T0028, Probe : 66T0020.

*Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang telah diterbitkan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara*

Nomor : 0487-9/UJI BBLM/VII/2025 No. Order : U353\_2025-3  
Tanggal : 29 Juli 2025 Halaman : 1 dari 2

## **LAPORAN PENGUJIAN**

### **TEST REPORT**

JENIS PENGUJIAN : Uji Tarik  
*Type of Testing* : Tensile Test

STANDAR ACUAN/ METODE UJI : ASTM E23  
*Test Method/ Reference Standard*

MEREK/ TIPE : - / Pegas Daun Bekas  
*Brand/ Type*

TANGGAL TERIMA : 22 Juli 2025  
*Received Date*

TANGGAL PENGUJIAN : 23 Juli 2025  
*Tested Date*

TEMPERATUR DAN KELEMBAPAN : 23,2 °C / 74 %  
*Temperature and humidity*

PEMILIK : Febriawan Dwi Candra  
*Owner*

ALAMAT PEMILIK : Negeri Tengah No. 29 Kec. Sukasari, Bandung  
*Owner Address*

HASIL PENGUJIAN : Terlampir  
*Test Result* : Attached



Ketua Tim Pengujian dan Kalibrasi  
Yoyon Suyono  
NIP. 196804111996031001

PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
3. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

Nomor : 0487-9/UJI BBLM/VII/2025

No. Order : U353\_2025-3

Tanggal : 29 Juli 2025

Halaman : 2 dari 2

## HASIL PENGUJIAN TEST RESULT



PERHATIAN : 1. Hasil pengujian kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
3. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

Parameter Uji	Hasil
Identitas contoh uji	Pegas Daun Bekas
Tebal (t) mm	5,09
Lebar (w) mm	7,04
Luas Penampang, (A <sub>n</sub> ) mm <sup>2</sup>	35,79
Sudut Awal pendulum (α), °	140,00
Sudut Akhir Pendulum (β), °	5,20
<b>Energi yang diserap (E), Kgf.m</b>	<b>29,81</b>
Bentuk Notch	V
Dalam Takikan (mm)	1,98
Radius Takikan (mm)	0,73
Sudut Takikan (°)	94°

Catatan : Pengujian dilakukan dengan Mesin Uji Impak Merek Hung Ta

No. Seri : 7438, Kapasitas 30 kgf m.

*Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang telah diterbitkan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara.*

Nomor : 0488-9/UJI BBLM/VII/2025

No. Order : U353\_2025-4

Tanggal : 29 Juli 2025

Halaman : 1 dari 2

## **LAPORAN PENGUJIAN**

### **TEST REPORT**

**JENIS PENGUJIAN**  
*Type of Testing*

: Uji Tarik  
*Tensile Test*

**STANDAR ACUAN / METODE UJI**  
*Test Method / Reference Standard*

: ASTM E23

**MEREK / TIPE**  
*Brand / Type*

: - / Pegas Daun Baru

**TANGGAL TERIMA**  
*Received Date*

: 22 Juli 2025

**TANGGAL PENGUJIAN**  
*Tested Date*

: 23 Juli 2025

**TEMPERATUR DAN KELEMBAPAN**  
*Temperature and humidity*

: 23,2 °C / 74 %

**PEMILIK**  
*Owner*

: Febriawan Dwi Candra

**ALAMAT PEMILIK**  
*Owner Address*

: Negla Tengah No. 29 Kec. Sukasari, Bandung

**HASIL PENGUJIAN**  
*Test Result*

: Terlampir  
*Attached*



Ketua Tim Pengujian dan Kalibrasi  
Yoyon Suyono  
NIP. 196804111996031001

PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
3. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

Nomor : 0488-9/UJI BBLM/VII/2025

No. Order : U353\_2025-4

Tanggal : 29 Juli 2025

Halaman : 2 dari 2

## HASIL PENGUJIAN TEST RESULT



PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
3. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

Parameter Uji	Hasil
Identitas contoh uji	Pegas Daun Baru
Tebal (t) mm	5,20
Lebar (w) mm	7,25
Luas Penampang, (A <sub>0</sub> ) mm <sup>2</sup>	37,70
Sudut Awal pendulum (α), °	140,00
Sudut Akhir Pendulum (β), °	2,40
<b>Energi yang diserap (E), Kgf.m</b>	<b>29,86</b>
Bentuk Notch	V
Dalam Takikan (mm)	1,85
Radius Takikan (mm)	0,72
Sudut Takikan (°)	95°

Catatan : Pengujian dilakukan dengan Mesin Uji Impak Merek Hung Ta

No. Seri : 7438, Kapasitas 30 kgf m.

*Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang telah diterbitkan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara*

Nomor : 0485-9/UJI BBLM/VII/2025 No. Order : U353\_2025-1  
Tanggal : 29 Juli 2025 Halaman : 1 dari 2

## **LAPORAN PENGUJIAN** **TEST REPORT**

JENIS PENGUJIAN : Uji Tarik  
*Type of Testing* : Tensile Test

STANDAR ACUAN/ METODE UJI : ASTM E8/E8M  
*Test Method/ Reference Standard*

MEREK/ TIPE : - / Pegas Daun Bekas  
*Brand/ Type*

TANGGAL TERIMA : 22 Juli 2025  
*Received Date*

TANGGAL PENGUJIAN : 23 Juli 2025  
*Tested Date*

TEMPERATUR DAN KELEMBAPAN : 23,2 °C / 74 %  
*Temperature and humidity*

PEMILIK : Febriawan Dwi Candra  
*Owner*

ALAMAT PEMILIK : Negla Tengah No. 29 Kec. Sukasari, Bandung  
*Owner Address*

HASIL PENGUJIAN : Terlampir  
*Test Result* : Attached



Ketua Tim Pengujian dan Kalibrasi  
Yoyon Suyono  
NIP. 196804111996031001

PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
3. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang telah diterbitkan oleh  
Balai Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara

Nomor : 0485-9/UJI BBLM/VII/2025

No. Order : U353\_2025-1

Tanggal : 29 Juli 2025

Halaman : 2 dari 2

## HASIL PENGUJIAN TEST RESULT



Parameter	Hasil Uji
Identitas contoh uji	Pegas Daun Bekas
Tebal, $T_0$ (mm)	3,00
Lebar, $W_0$ (mm)	12,46
Luas Penampang, $A_0$ (mm)	37,38
Panjang Ukur Awal, $L_0$ (mm)	50,00
Panjang Ukur Akhir, $L_1$ (mm)	53,91
Regangan, (%)	7,82
Beban Maksimum, $F_{max}$ (N)	57 131,16
Kuat Tarik, $\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	1 528,40
Beban Luluh, $F_y$ (N)	53 146,87
Kuat Luluh, $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	1 421,81

Catatan : Pengujian dilakukan dengan Mesin Uji Tarik Merek JTM

No. Seri : 0623, Kapasitas 100 kN.

*Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang telah diterbitkan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara*

PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
3. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

Nomor : 0485-9/UJI BBLM/VII/2025

No. Order : U353\_2025-2

Tanggal : 29 Juli 2025

Halaman : 1 dari 2

## LAPORAN PENGUJIAN TEST REPORT

**JENIS PENGUJIAN**

*Type of Testing*

: Uji Tarik

*Tensile Test*

**STANDAR ACUAN / METODE UJI**

*Test Method / Reference Standard*

: ASTM E8/E8M

**MEREK / TIPE**

*Brand / Type*

: - / Pegas Daun Baru

**TANGGAL TERIMA**

*Received Date*

: 22 Juli 2025

**TANGGAL PENGUJIAN**

*Tested Date*

: 23 Juli 2025

**TEMPERATUR DAN KELEMBAPAN**

*Temperature and humidity*

: 23,2 °C / 74 %

**PEMILIK**

*Owner*

: Febriawan Dwi Candra

**ALAMAT PEMILIK**

*Owner Address*

: Negla Tengah No. 29 Kec. Sukasari, Bandung

**HASIL PENGUJIAN**

*Test Result*

: Terlampir

*Attached*



Ketua Tim Pengujian dan Kalibrasi

Yoyon Suyono

NIP. 196804111996031001

PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
3. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang telah diterbitkan oleh  
Balai Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara

Nomor : 0485-9/UJI BBLM/VII/2025

No. Order : U353\_2025-2

Tanggal : 29 Juli 2025

Halaman : 2 dari 2

## **HASIL PENGUJIAN**

### **TEST RESULT**



Parameter	Hasil Uji
Identitas contoh uji	Pegas Daun Baru
Tebal, $T_o$ (mm)	2,94
Lebar, $W_o$ (mm)	12,44
Luas Penampang, $A_o$ (mm <sup>2</sup> )	36,57
Panjang Ukur Awal, $L_o$ (mm)	50,00
Panjang Ukur Akhir, $L_e$ (mm)	52,44
Regangan, (%)	4,88
Beban Maksimum, $F_{max}$ (N)	53 810,28
Kuat Tarik, $\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	1 471,30
Beban Luluh, $F_y$ (N)	50 923,83
Kuat Luluh, $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	1 392,37

Catatan : Pengujian dilakukan dengan Mesin Uji Tarik Merek JTM

No. Seri : 0623, Kapasitas 100 kN.

*Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang telah diterbitkan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara*

PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
3. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

Nomor : 0511-9/UJI BBLM/VIII/2025 No. Order : U384\_2025-1  
Tanggal : 05 Agustus 2025 Halaman : 1 dari 2

## **LAPORAN PENGUJIAN TEST REPORT**

JENIS PENGUJIAN : Uji Kekerasan Brinell  
*Type of Testing* : Brinell Hardness Test

STANDAR ACUAN / METODE UJI : SNI 8387  
*Test Method / Reference Standard*

MEREK / TIPE : - / Pegas Daun Bekas  
*Brand / Type*

TANGGAL TERIMA : 04 Agustus 2025  
*Received Date*

TANGGAL PENGUJIAN : 05 Agustus 2025  
*Tested Date*

TEMPERATUR DAN KELEMBAPAN : 22,0 °C / 70 %  
*Temperature and humidity*

PEMILIK : Febrian Dwi Candra  
*Owner*

ALAMAT PEMILIK : Negla Tengah No. 29 Kec. Sukasari, Bandung  
*Owner Address*

HASIL PENGUJIAN : Terlampir  
*Test Result* : Attached



Ketua Tim Pengujian dan Kalibrasi  
Yoyon Suyono  
NIP. 196804111996031001

PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
3. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

Nomor : 0511-9/UJI BBLM/VIII/2025

No. Order : U384\_2025-1

Tanggal : 05 Agustus 2025

Halaman : 2 dari 2

**HASIL PENGUJIAN**  
**TEST RESULT**



Identitas Contoh Uji	Beban Yang Digunakan (Kgf)	Diameter Indentor (mm)	Hasil Uji					HB <sub>rata-rata</sub>
			HB <sub>1</sub>	HB <sub>2</sub>	HB <sub>3</sub>	HB <sub>4</sub>	HB <sub>5</sub>	
U384-1 Lama	187,5	2,5	400,28	413,06	400,77	419,40	392,43	405,19

Catatan : Pengujian dilakukan dengan Mesin Uji Kekerasan Brinell  
Merek : Future Tech, Model : LC 200 RB

PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
3. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

Nomor : 0512-9/UJI BBLM/VIII/2025 No. Order : U384\_2025-2  
Tanggal : 05 Agustus 2025 Halaman : 1 dari 2

## **LAPORAN PENGUJIAN TEST REPORT**

**JENIS PENGUJIAN** : Uji Kekerasan Brinell  
*Type of Testing* : Brinell Hardness Test

**STANDAR ACUAN/ METODE UJI** : SNI 8387  
*Test Method/ Reference Standard*

**MEREK/ TIPE** : - / Pegas Daun Baru  
*Brand/ Type*

**TANGGAL TERIMA** : 04 Agustus 2025  
*Received Date*

**TANGGAL PENGUJIAN** : 05 Agustus 2025  
*Tested Date*

**TEMPERATUR DAN KELEMBAPAN** : 22.0 °C / 70 %  
*Temperature and humidity*

**PEMILIK** : Febrian Dwi Candra  
*Owner*

**ALAMAT PEMILIK** : Negla Tengah No. 29 Kec. Sukasari, Bandung  
*Owner Address*

**HASIL PENGUJIAN** : Terlampir  
*Test Result*



Ketua Tim Pengujian dan Kalibrasi  
Yoyon Suyono  
NIP. 196804111996031001

PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
3. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang telah diterbitkan oleh  
Balai Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara

Nomor : 0512-9/UJI BBLM/VIII/2025

No. Order : U384\_2025-2

Tanggal : 05 Agustus 2025

Halaman : 2 dari 2

## HASIL PENGUJIAN TEST RESULT



Identitas Contoh Uji	Beban Yang Digunakan (Kgf)	Diameter Indentor (mm)	Hasil Uji					HB <sub>rata-rata</sub>
			HB <sub>1</sub>	HB <sub>2</sub>	HB <sub>3</sub>	HB <sub>4</sub>	HB <sub>5</sub>	
U384-2 Baru	187,5	2,5	426,21	422,31	433,05	433,17	420,26	427,00

Catatan : Pengujian dilakukan dengan Mesin Uji Kekerasan Brinell  
Merek : Future Tech, Model : LC 200 RB

PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
3. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

Nomor : 0511-9/UJI BBLM/VIII/2025 No. Order : U384\_2025-1  
Tanggal : 05 Agustus 2025 Halaman : 1 dari 2

## **LAPORAN PENGUJIAN**

### **TEST REPORT**

JENIS PENGUJIAN : Uji Kekerasan Brinell  
*Type of Testing* : Brinell Hardness Test

STANDAR ACUAN / METODE UJI : SNI 8387  
*Test Method / Reference Standard*

MEREK / TIPE : - / Pegas Daun Bekas  
*Brand / Type*

TANGGAL TERIMA : 04 Agustus 2025  
*Received Date*

TANGGAL PENGUJIAN : 05 Agustus 2025  
*Tested Date*

TEMPERATUR DAN KELEMBAPAN : 22.0 °C / 70 %  
*Temperature and humidity*

PEMILIK : Febrian Dwi Candra  
*Owner*

ALAMAT PEMILIK : Negla Tengah No. 29 Kec. Sukasari, Bandung  
*Owner Address*

HASIL PENGUJIAN : Terlampir  
*Test Result*



Ketua Tim Pengujian dan Kalibrasi  
Yoyon Suyono  
NIP. 196804111996031001

PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
3. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

Nomor : 0511-9/UJI BBLM/VIII/2025

No. Order : U384\_2025-1

Tanggal : 05 Agustus 2025

Halaman : 2 dari 2

## HASIL PENGUJIAN TEST RESULT



Identitas Contoh Uji	Beban Yang Digunakan (Kgf)	Diameter Indentor (mm)	Hasil Uji					HB <sub>rata-rata</sub>
			HB <sub>1</sub>	HB <sub>2</sub>	HB <sub>3</sub>	HB <sub>4</sub>	HB <sub>5</sub>	
U384-1 Lama	187,5	2,5	400,28	413,06	400,77	419,40	392,43	405,19

Catatan : Pengujian dilakukan dengan Mesin Uji Kekerasan Brinell  
Merek : Future Tech, Model : LC 200 RB

PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
3. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

*Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang telah diterbitkan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara*

Nomor : 0512-9/UJI BBLM/VIII/2025

No. Order : U384\_2025-2

Tanggal : 05 Agustus 2025

Halaman : 1 dari 2

## **LAPORAN PENGUJIAN**

### **TEST REPORT**

JENIS PENGUJIAN : Uji Kekerasan Brinell  
*Type of Testing* : Brinell Hardness Test

STANDAR ACUAN/ METODE UJI : SNI 8387  
*Test Method/ Reference Standard*

MEREK/ TIPE : - / Pegas Daun Baru  
*Brand/ Type*

TANGGAL TERIMA : 04 Agustus 2025  
*Received Date*

TANGGAL PENGUJIAN : 05 Agustus 2025  
*Tested Date*

TEMPERATUR DAN KELEMBAPAN : 22.0 °C / 70 %  
*Temperature and humidity*

PEMILIK : Febrian Dwi Candra  
*Owner*

ALAMAT PEMILIK : Negla Tengah No. 29 Kec. Sukasari, Bandung  
*Owner Address*

HASIL PENGUJIAN : Terlampir  
*Test Result* : Attached



Ketua Tim Pengujian dan Kalibrasi  
Yoyon Suyono  
NIP. 196804111996031001

PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
3. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

Nomor : 0512-9/UJI BBLM/VIII/2025

No. Order : U384\_2025-2

Tanggal : 05 Agustus 2025

Halaman : 2 dari 2

**HASIL PENGUJIAN**  
**TEST RESULT**



Identitas Contoh Uji	Beban Yang Digunakan (Kgf)	Diameter Indentor (mm)	Hasil Uji					HB <sub>rata-rata</sub>
			HB <sub>1</sub>	HB <sub>2</sub>	HB <sub>3</sub>	HB <sub>4</sub>	HB <sub>5</sub>	
U384-2 Baru	187,5	2,5	426,21	422,31	433,05	433,17	420,26	427,00

Catatan : Pengujian dilakukan dengan Mesin Uji Kekerasan Brinell  
Merek : Future Tech, Model : LC 200 RB

PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
3. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini

Dokumen ini telah ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang telah diterbitkan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara

Nomor : 0554-9/UJI BBLM/VIII/2025 No. Order : U401\_2025  
Tanggal : 21 Agustus 2025 Halaman : 1 dari 2

## **LAPORAN PENGUJIAN**

### **TEST REPORT**

JENIS PENGUJIAN : Uji Kekerasan Brinell  
*Type of Testing* : Brinell Hardness Test

STANDAR ACUAN / METODE UJI : SNI 8387  
*Test Method / Reference Standard*

MEREK / TIPE : -/-  
*Brand / Type*

TANGGAL TERIMA : 20 Agustus 2025  
*Received Date*

TANGGAL PENGUJIAN : 20 Agustus 2025  
*Tested Date*

TEMPERATUR DAN KELEMBAPAN : 21,7 °C / 78 %  
*Temperature and humidity*

PEMILIK : Febriawan Dwi Candra  
*Owner*

ALAMAT PEMILIK : Negla Tengah No. 29 Kec. Sukasari, Bandung  
*Owner Address*

BERITA ACARA / TANGGAL PENGAMBILAN CONTOH : -  
*Sampling Report / Sampling Date*

LEMBAGA SERTIFIKASI PRODUK : -  
*Certification Body*

HASIL PENGUJIAN : Terlampir  
*Test Result* : Attached

PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
2. Dilarang mengutip/menyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini



Ketua Tim Pengujian dan Kalibrasi  
Yoyon Suyono  
NIP. 196804111996031001

Dokumen ini telah dilandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat elektronik yang telah diterbitkan oleh Balai Besar Sertifikasi Elektronik (BSrE), Badan Siber dan Sandi Negara

Nomor : 0554-9/UJI BBLM/VIII/2025

No. Order : U401\_2025

Tanggal : 21 Agustus 2025

Halaman : 2 dari 2

## **HASIL PENGUJIAN**

### **TEST RESULT**



Identitas Contoh Uji	Diameter Indentor (mm)	Beban yang digunakan (Kgf)	Hasil Uji					HB Rata-rata
			HB <sub>1</sub>	HB <sub>2</sub>	HB <sub>3</sub>	HB <sub>4</sub>	HB <sub>5</sub>	
U401 / Pegas daun bekas	2,5	187,5	429,19	429,96	419,83	425,46	425,50	425,39 ± 3,44

Catatan : Pengujian dilakukan dengan Mesin Uji Kekerasan

Merek : Future Tech, Model : LC-200 RB

PERHATIAN : 1. Hasil pengujian/kalibrasi ini hanya untuk contoh/alat yang diuji/dikalibrasi  
2. Dilarang mengutip/meyalin sebagian isi laporan/sertifikat ini