



TUGAS AKHIR - TM145502

**ANALISA REKONDISI BAJA PEGAS DAUN BEKAS SUP 9A
DENGAN METODE QUENCH-TEMPER PADA TEMPERATUR
TEMPERING 480 °C TERHADAP KEKERASAN DAN
KEKUATAN TARIK**

**MIFTAQL HUDHA
NRP 2114 030 071**

**Dosen Pembimbing
Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.
NIP. 19600623 198803 1 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**



TUGAS AKHIR
TM 145502 (MN)

**ANALISA REKONDISI BAJA PEGAS DAUN BEKAS SUP 9A
DENGAN METODE *QUENCH-TEMPER* PADA TEMPERATUR
TEMPERING 480 °C TERHADAP KEKERASAN DAN
KEKUATAN TARIK**

MIFTAQUL HUDHA
NRP. 2114 030 071

Dosen Pembimbing
Ir. Hari Subiyanto, M.Sc
NIP. 19600623 198803 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas VOKASI
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017



**FINAL PROJECT
TM 145502 (MN)**

**RECONDITION ANALYSIS SECONDHAND LEAF SPRING
STELL SUP 9A WITH *QUENCH-TEMPER* METHODS AT
TEMPERING TEMPERATURE 480 °C FOR HARDNESS AND
TENSILE STRENGTH**

Miftaql Hudha
NRP. 2113 030 071

Counselor Lecturer
Ir. Hari Subiyanto, M.Sc
NIP. 19600623 198803 1 002

INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty Vocation
Institute Technology of Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA REKONDISI BAJA PEGAS DAUN BEKAS SUP 9A DENGAN METODE QUENCH TEMPER PADA TEMPERATUR TEMPERING 480°C TERHADAP KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada Bidang Studi Manufaktur
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

Miftaqul Hudha

NRP. 2114 030 071

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing



Ir. Afari Subiyanto, M.Sc
NIP: 19600623-198803 1 002

SURABAYA
JULI, 2017

**ANALISA REKONDISI BAJA PEGAS DAUN BEKAS
SUP 9A DENGAN METODE QUENCH TEMPER PADA
TEMPERATUR TEMPERING 480°C TERHADAP
KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK**

Nama Mahasiswa : Miftaql Hudha
NRP : 2114 030 071
Departemen : Teknik Mesin Industri FV-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Hari Subiyanto, M.Sc

Abstrak

Pada kendaraan mobil, sistem suspensi juga perlu diperhatikan untuk menunjang keamanan dan kenyamanan bagi pengendara. Namun seiring penggunaan dalam jangka waktu yang relatif lama, sifat mekanik pegas juga akan semakin menurun yang menyebabkan kemampuan sistem suspensi pada kendaraan dalam menerima beban dinamis kurang maksimal. Penelitian ini dilakukan dengan merekondisi pegas daun yang telah terpakai (bekas) untuk mengembalikan sifat mekanik pegas daun yang telah terpakai sehingga layak digunakan kembali.

Metodologi pada penelitian ini dilakukan dengan uji laku panas dengan proses pemanasan pada temperatur 850⁰C dengan holding time 60 menit, dilakukan proses quenching menggunakan media pendinginan air bervolume 20 Liter disertai agitasi, dilakukan proses Tempering pada temperatur 480⁰C dengan holding time 90 menit dan didinginkan dengan media udara, kemudian dilakukan uji tarik dan uji kekerasan.

Material pegas daun setelah mengalami proses quench-temper pada temperatur 480⁰C diperoleh kekerasan sebesar 43,01 HRC (400,09 HBN), kekuatan luluh 825,387 MPa, dan kekuatan tarik 1017,146 MPa. Proses rekondisi tidak dapat mengembalikan sifat mekanik seutuhnya.

Kata kunci : Rekondisi, Pegas Daun, Quenching, Tempering, Sifat Mekanik.

**RECONDITION ANALYSYS SECONDHAND LEAF
SPRING STEEL SUP 9A WITH *QUENCH-TEMPER*
METHODE AT *TEMPERING* TEMPERATURE 480°C
FOR HARDNESS AND TENSILE STRENGTH**

Student Name : Miftaql Hudha
NRP : 2114 030 071
Departement : Mechanical Industry
Engineering FV-ITS
Advisor : Ir. Hari Subiyanto, M.Sc

Abstract

In car vehicle, suspension system on the vehicle also needs to be considered in order to support the safety and comfort for the rider. As the use over a relatively long period of time, the mechanical properties of the spring will also decrease which causes the ability of the suspension systems to receive dynamic load are not maximum. This research is with reconditioning leaf spring that has been used (secondhand) to return the of leaf spring that have been used so that feasible to be used again.

Methods in this research begin heat treatment at 850 °C with 60 minutes holding time and quenching cooled using 20 liters of water by means of agitation, then tempering process is done at 480 °C with 90 minutes holding time and cooled by air, lastly hardness and tensile tests.

Test results on steel reconditioned process with quench tempered at temperature 480°C hardness of 43.01 HRC (400,09 HBN), yield strength 825,387 MPa, tensile strength 1017146 MPa,. So the recondition results cannot restore mechanical properties completely.

Keywords: *Reconditioning, Leaf Spring, Quenching, Tempering, Mechanical Properties.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji dan syukur dipanjatkan kehadirat ALLAH SWT karena atas rahmat dan karunia-NYA, sehingga penulis mampu menyelesaikan salah satu syarat wajib bagi mahasiswa untuk menyelesaikan pendidikan pada departemen teknik mesin industri, fakultas vokasi, ITS-Surabaya.

Tugas akhir ini berjudul : **“ANALISA REKONDISI BAJA PEGAS DAUN BEKAS SUP 9A DENGAN METODE *QUENCH-TEMPER* PADA TEMPERATUR *TEMPERING* 480°C TERHADAP KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK”**.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis berusaha menerapkan ilmu yang didapat selama menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Mesin Industri. Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Hari Subiyanto, M.Sc selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, saran dan masukan saat mengerjakan Tugas Akhir ini sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini tepat pada waktunya.
2. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri yang selalu memberikan bantuan dan motivasi.
3. Bapak Ir. Eddy Widiyono, M.Sc selaku dosen wali yang selalu sabar dalam memberikan pengarahan disetiap perwalian.
4. Bapak Ir. Suhariyanto, M.Sc selaku koordinator Tugas Akhir.
5. Tim dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam rangka perbaikan tugas akhir ini.
6. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS, yang telah

memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.

7. Kedua orang tua tercinta Bapak Maskud dan Ibu Lisnanik serta kakak penulis Nanang Masudi yang selalu memberikan doa serta dukungannya.
8. Teman-teman seangkatan 2014.
9. Teman-teman dari Laboratorium Metalurgi yang selalu memberikan semangat, dukungan serta motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya, bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Metode Penulisan	3

BAB II DASAR TEORI

2.1 Definisi Baja Pegas	5
2.2 Pegas Daun	6
2.3 Material Baja Pegas	7
2.3.1 Karakteristik material Baja Pegas	7
2.3.2 Sifat Material Pegas Daun	7
2.3.3 Kegagalan Baja Pegas	8
2.3.4 Patah Getas dan Patah Ulet	10
2.3.5 Mekanisme Pembentukan Patah Lelah	10
2.3.6 <i>Strain Hardening</i>	12
2.4 Proses Laku Panas	14
2.4.1 Laku Panas Kondisi Setimbang	16
2.4.2 Laku Panas Kondisi Tidak Setimbang	16
2.4.3 <i>Quenching</i>	17
2.4.4 <i>Tempering</i>	20
2.5 Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanik Baja Pegas	20
2.6 Uji Kekerasan	22
2.7 Penujian tarik	23

2.7.1	Detail Profil Uji Tarik dan Sifat Mekanik Logam	25
2.7.2	Tegangan Luluh Perubahan Elastis dan Plastis	28

BAB III METODOLOGI

3.1	Flowchart Penelitian	31
3.2	material benda Uji	32
3.3	Proses <i>Quenching</i>	34
3.4	Proses <i>Tempering</i>	35
3.5	Uji Kekerasan	38
3.6	Uji Tarik	40

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1	Uji Kekerasan.....	43
4.1.1	Pengaruh Proses <i>Quench-Temper</i> pada Kekerasan Baja Pegas Daun	44
4.2	Uji Tarik.....	44
4.2.1	Pengujian Tarik Pegas Daun Baru	45
4.2.2	Pengujian Tarik Pegas Daun Bekas	47
4.2.3	Pengujian Tarik Pegas Daun Bekas yang Telah Melalui Proses <i>Quenching-Tempering</i>	49
4.2.4	Pengaruh Proses <i>Quench-Temper</i> pada Kekuatan Tarik Baja Pegas Daun	52

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran.....	57

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pegas Daun	6
Gambar 2.2 Gaya yang Diterima pada Pegas	9
Gambar 2.3 Model Wood untuk pengintian retak	11
Gambar 2.4 Mekanisme Penumpulan Ujung Retakan Secara Plastis	12
a. Beban Nol	
b. Beban Tarik Kecil	
c. Beban Tarik Maksimum	
d. Beban-Tekan Maksimum	
e. Beban Nol	
f. Beban Tekan Minimum	
Gambar 2.5 Skema Diagram Tegangan-Regangan yang Menunjukkan Fenomena <i>Strain Hardening</i>	13
Gambar 2.6 Batas Terjadinya <i>Strain Hardening</i> pada Baja	14
Gambar 2.7 Daerah Temperatur Laku Panas	16
Gambar 2.8 Kurva Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kecepatan Pendinginan.....	18
Gambar 2.9 IT diagram baja dengan kandungan karbon antara 0,56% - 0,64%	19
Gambar 2.10 Pita <i>hardenability</i> baja pegas SUP 9A	21
Gambar 2.11 Prinsip Kerja <i>Rockwell</i>	22
Gambar 2.12 Kurva Tegangan-Regangan	23
Gambar 2.13 Data Diagram Tegangan-Regangan Teknik Hasil Uji Tarik	25
Gambar 2.14 Kurva Tegangan Luluh.....	28
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	31
Gambar 3.2 Dimensi Bahan Material Awal Baru	32
Gambar 3.3 Dimensi Bahan Material Awal Bekas	33
Gambar 3.4 Spesimen Awal.....	33
Gambar 3.5 Proses Pemotongan Spesimen	34
Gambar 3.6 Dimensi Spesimen Uji Tarik JIS Z 2201	34
Gambar 3.7 Oven dalam Temperatur 850°C	35

Gambar 3.8 Oven Uji Laku Panas	35
Gambar 3.9 Skema Proses <i>Quenching</i>	36
Gambar 3.10 Media Pendinginan	36
Gambar 3.11 Pemasukan Spesimen ke Dalam Oven	37
Gambar 3.12 Proses Tempering dengan Temperatur 480°C	37
Gambar 3.13 Skema Proses <i>Tempering</i>	38
Gambar 3.14 Pengambilan Spesimen dari Oven	38
Gambar 3.15 pendinginan Udara Setelah Proses <i>Tempering</i>	38
Gambar 3.16 Daerah Indentasi Uji Kekerasan Material.....	39
Gambar 3.17 Alat uji kekerasan	39
Gambar 3.18 Spesimen Tarik.....	40
a. Sebelum Proses Quench-Temper	
b. Spesimen Uji Tarik Setelah Proses <i>Quench-Temper</i>	
c. Spesimen Uji Tarik Keadaan Baru	
Gambar 3.19 Mesin Uji Tarik	41
Gambar 4.1 Grafik Nilai Kekerasan <i>Rockwell C</i> pada Pegas Daun (Baru, Bekas, dan Sesudah <i>Quench-Temper</i>)	43
Gambar 4.2 Spesimen Hasil Uji Tarik Pegas Daun Baru...	45
Gambar 4.3 Diagram Tegangan-Regangan Teknik Spesimen Baja Pegas Baru	46
Gambar 4.4 Spesimen uji tarik sebelum <i>quench-temper</i>	47
Gambar 4.5 Diagram tegangan-regangan Teknik dari Spesimen Baja Pegas bekas	48
Gambar 4.6 Spesimen Uji Tarik Setelah <i>Quench-Temper</i> dengan Temperatur 480°C	49
Gambar 4.7 Diagram tegangan-regangan Teknik dari Spesimen Baja Pegas Bekas Setelah <i>Quench-Temper</i>	51
Gambar 4.8 Grafik Tegangan-Regangan Rata-Rata Pengujian Tarik.....	52
Gambar 4.9 Modulus Resilience Pegas Daun	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Baja Pegas JIS 4801 (Mass %)	5
Tabel 2.2 Sifat Mekanik Baja Pegas (JIS G 4801-1984)	7
Tabel 2.3 Macam-Macam Penyebab Kegagalan pada Baja Pegas	9
Tabel 3.1 Dimensi Awal Baja Pegas Daun Baru	32
Tabel 3.1 Dimensi Awal Baja Pegas Daun Bekas	33
Tabel 3.1 Data Proses <i>Quenching</i>	34
Tabel 3.2 Data proses <i>tempering</i>	37
Tabel 4.1 hasil Uji Kekerasan Rockwell C pada Pegas Daun (Baru, Bekas, dan Sudah <i>Quench-Temper</i>)	43
Tabel 4.2 Hasil data Uji Tarik Baja Pegas Baru	46
Tabel 4.3 Data Hasil pengujian tarik pegas daun baru	46
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Tarik dari Pegas Daun Bekas	48
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Uji tarik Pegas Daun Bekas Sebelum Proses <i>Quench-Temper</i>	48
Tabel 4.6 Hasil pengujian tarik dari pegas daun bekas yang telah melalui proses <i>quenching-tempering</i> pada Mesin Uji Tarik	50
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Uji tarik Pegas Daun Bekas Setelah Proses <i>Quench-Temper</i>	50
Tabel 4.8 Hasil Rata-Rata Uji Tarik Material Baja Pegas Daun (Baru, Bekas, dan Rekondisi <i>Quench-Temper</i> 480°C)	52
Tabel 4.9 Data <i>Modulus Resilience</i> Baja Pegas Daun (Baru, Bekas, dan Rekondisi <i>Quench-Temper</i> 480°C)	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya gaya hidup masyarakat mengakibatkan meningkatnya kebutuhan kendaraan. Dalam hal ini mobil merupakan salah satu kendaraan yang banyak dipilih karena memiliki keunggulan fitur, keamanan, kenyamanan, serta kapasitas penumpang. Pada kendaraan, sistem suspensi pada kendaraan juga perlu diperhatikan guna menunjang keamanan dan kenyamanan bagi pengendara.

Pada kendaraan bermotor, sistem suspensi merupakan bagian yang sangat penting karena dapat mempengaruhi keamanan dan kenyamanan bagi pengendara. Pegas adalah komponen utama pada bagian suspensi kendaraan yang berperan sebagai media untuk menerima beban dinamis yang berasal dari permukaan jalan dan getaran pada roda-roda agar tidak diteruskan ke rangka kendaraan secara langsung serta menjaga agar roda tetap bersentuhan dengan permukaan jalan.

Pada kendaraan roda empat seperti truck, kendaraan niaga dengan suspensi rigid, pegas yang paling umum digunakan adalah pegas daun. Dipilihnya pegas daun dikarenakan pegas daun dapat menerima beban dinamis yang lebih besar dari pada pegas jenis lain tanpa mengabaikan kondisi-kondisi seperti luasan tumpuan dari pegas serta hemat dalam hal perawatan.

Seiring penggunaan dalam jangka waktu yang relatif lama, sifat mekanik pada pegas juga akan semakin menurun yang menyebabkan kemampuan sistem suspensi pada kendaraan dalam menerima beban dinamis kurang maksimal. Jika hal ini terus diabaikan dapat menyebabkan rangka pada kendaraan memperoleh getaran yang tidak dapat diredam oleh sistem suspensi secara maksimal dan dapat memicu kerusakan pada komponen lain. serta dapat mengurangi kenyamanan pada pengendara.

Untuk mengatasi masalah ini, hal yang paling umum dilakukan adalah mengganti pegas yang lama dengan pegas baru.

Pada penelitian kali ini akan dilakukan proses rekondisi sebuah material bekas pegas daun yang diharapkan dapat menjadi sebuah solusi untuk mengembalikan kekuatan pada pegas daun bekas agar dapat digunakan kembali. Untuk mengembalikan sifat mekanik pegas dapat dilakukan menggunakan proses perlakuan panas yang meliputi *quenching* dan *tempering* pada waktu penahanan (*holding time*) tertentu. Sifat mekanik dari proses tersebut akan dianalisa dengan menggunakan uji tarik dan uji kekerasan, sehingga dapat dijadikan sebagai alternatif dalam menekan biaya pembelian suku cadang pada kendaraan.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian singkat dan latar belakang, maka diperoleh perumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh proses laku panas dengan metode *quenching* dan *tempering* terhadap sifat mekanik pada baja pegas daun bekas.
2. Apakah sifat mekanik hasil dari proses laku panas *quenching* dan *tempering* pada baja pegas daun bekas dapat mendekati sifat mekanik standar baja pegas daun baru sehingga dapat digunakan kembali.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan pada baja pegas daun bekas pada kendaraan bermotor roda empat. Untuk mencapai tujuan yang diinginkan dari penelitian ini, maka batasan masalah yang diberikan adalah :

1. Spesimen berupa baja pegas daun bekas pada kendaraan bermotor roda empat dengan standart JIS SUP 9A.
2. Pemanasan pada saat *quenching* dan *tempering* sempurna dan merata pada seluruh material yang diuji.
3. Waktu pemindahan spesimen dari oven ke media *quenching* adalah sama untuk semua spesimen.
4. Spesimen yang digunakan berada dalam kondisi utuh (tidak patah).

1.4 Tujuan

Tujuan yang didapat dari penelitian ini antara lain :

1. Untuk mengetahui pengaruh proses laku panas saat temperatur *tempering*, terhadap kekuatan tarik dan kekerasan dari baja pegas daun bekas.
2. Mengembalikan sifat mekanik pada baja pegas daun bekas kendaraan bermotor sesuai dengan standart spesifikasi baja pegas daun dengan proses rekondisi material.
3. Membandingkan antara baja pegas daun yang baru dengan baja pegas daun yang telah direkondisi (bekas).

1.5 Metode Penulisan

Penulisan disusun dalam lima bab yaitu : pendahuluan, dasar teori, metodologi penelitian, analisa data dan pembahasan, serta kesimpulan. Adapun perinciannya adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bagian ini diuraikan latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, serta metode penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Pada bab ini dijelaskan tentang definisi baja pegas (*spring steel*), material baja pegas, proses laku panas (*quenching* dan *tempering*), serta pengaruh perlakuan panas (*heat treatment*) terhadap baja pegas.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang data spesimen awal, metode pengujian yang digunakan, diagram alir dari prosedur yang diperlukan untuk penelitian ini.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan data yang diperoleh dari percobaan atau pengujian yang dilakukan, yang meliputi hasil uji komposisi kimia, hasil uji tarik, dan hasil uji kekerasan serta analisa tentang hasil yang telah diperoleh selama percobaan dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini dijelaskan tentang kesimpulan dari hasil percobaan yang telah dianalisa beserta dengan saran untuk penelitian berikutnya.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Definisi Baja Pegas

Baja dapat didefinisikan sebagai suatu campuran dari besi dan karbon, dimana unsur karbon (C) menjadi dasar campurannya. Di samping itu masih ada campuran lain yang ada di dalam baja yaitu sulfur (S), fosfor (P), silicon (Si), dan mangan (Mn) dengan kadar tertentu.

Tabel 2.1 Komposisi Baja Pegas JIS 4801 (Mass %) [8]

Grade	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	B	Composition system
SUP3	0.82	0.25	0.45	-	-	-	-	High carbon steel
SUP6	0.60	1.65	0.85	-	-	-	-	Si-Mn steel
SUP7	0.60	2.00	0.85	-	-	-	-	
SUP9	0.56	0.25	0.80	0.80	-	-	-	Mn-Cr steel
SUP9A	0.60	0.25	0.85	0.85	-	-	-	
SUP10	0.51	0.25	0.80	0.95	-	0.20	-	Cr-V steel
SUP11A	0.60	0.25	0.85	0.85	-	-	0.0005	Mn-Cr-B steel
SUP12	0.55	1.40	0.75	0.75	-	-	-	Si-Cr steel
SUP13	0.60	0.25	0.85	0.80	0.30	-	-	Cr-Mo steel

Kandungan karbon dalam baja sekitar 0.1% - 2%, sedangkan unsur lainnya dibatasi kadarnya. Unsur paduan yang bercampur dalam lapisan baja digunakan untuk membuat baja bereaksi terhadap pengerjaan panas atau menghasilkan sifat-sifat khusus. Pembebanan unsur yang tepat pada baja akan memberikan kualitas yang baik sesuai dengan aplikasi pemakaiannya salah satu contohnya adalah pegas.

Pegas adalah baja dengan kandungan karbon tinggi yaitu 0,5 % - 1% yang dicampur dengan Si, Mn, dan Cr sampai 1% selanjutnya dengan Mo, V sampai 0,25% dan dengan B yang jarang dilakukan sampai 0,0005%. Pegas merupakan komponen penahan beban yang baik terutama pada kendaraan bermotor.

Pegas merupakan salah satu komponen penting dalam kendaraan bermotor sehingga diperlukan baja dengan sifat mekanik tertentu agar dapat memenuhi spesifikasi sebagai baja

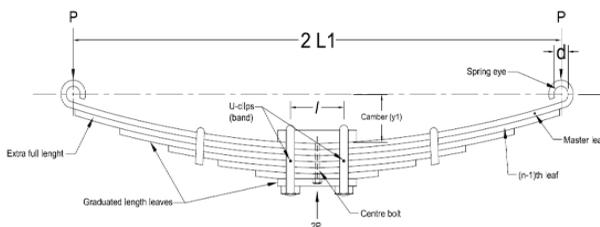
pegas. Sifat mekanik tersebut antara lain kekuatan elastic, kekuatan, ketangguhan dan *resilience*.

2.2 Pegas Daun

Pegas daun atau *leaf spring* adalah pegas yang memiliki bentuk lembaran-lembaran pelat melengkung yang terbuat dari *special alloy steel*. Pegas jenis ini adalah salah satu jenis pegas pada sistem suspensi yang sering digunakan pada kendaraan terutama pada kendaraan roda empat. Pegas jenis ini dipilih karena konstruksi yang paling sederhana dari sistem suspensi jenis lain, biaya perawatan cukup terjangkau, serta dapat menerima beban yang besar. Selain

Konstruksi pegas daun disusun secara berlapis yang terdiri dari beberapa lembar pegas dari pendek hingga terpanjang yang terikat oleh sabuk pengunci yang melingkari sekeliling susunan pegas dan dengan menggunakan baut pengunci atau *center pin* yang berada pada lubang tengah susunan pegas. Semakin banyak jumlah lapisan pegas daun yang digunakan, maka beban yang mampu diredam oleh pegas juga akan semakin besar.

Pemasangan pegas daun terhadap *axle* dipengaruhi oleh jenis kendaraanya. Jika kendaraan ini direncanakan supaya lantainya rendah, maka pemasangan pegas daun ditempatkan pada bawah *axle*. Sebaliknya, jika diinginkan lantai kendaraan yang tinggi, maka pemasangan pegas daun ditempatkan pada bagian atas *axle*. Hal yang perlu diperhatikan pada pegas daun adalah jarak antara kedua *spring eye*.



Gambar 2.1 Pegas Daun [4]

2.3 Material Baja Pegas

2.3.1 Karakteristik Material Baja Pegas

Pertimbangan karakteristik dasar baja pegas adalah melalui pemilihan materialnya, yaitu sifat mekanik (terutama kekuatan tarik, batas *elastisitas*, batas defleksi pegas, kekerasan, dan modulus *elastic*), dan ketahanan terhadap korosi.

Tabel 2.2 Sifat Mekanik Baja Pegas (JIS G 4801-1984) [8]

Steel grade	Heat treatment		Mechanical properties				
	Quench (C°)	Temper (C°)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	El. % JIS No. 4 or No. 7	RA. % JIS No. 4	Hardness HB
SUP3	830-860	450-500	≥ 834	≥ 1079	≥ 8	-	341-401
SUP6	830-860	480-540	≥ 1070	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363-429
SUP7	830-860	480-540	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363-429
SUP9	830-860	460-510	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363-429
SUP9A	830-860	460-520	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363-429
SUP10	840-870	470-640	≥ 1079	≥ 1226	≥ 10	≥ 30	363-429
SUP11A	830-860	460-520	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363-429
SUP12	830-860	510-570	≥ 1079	≥ 1226	≥ 9	≥ 20	363-429
SUP13	830-860	510-570	≥ 1079	≥ 1226	≥ 10	≥ 30	363-429

Dari tabel 2.2 menjelaskan tentang spesifikasi sifat mekanik pada baja pegas SUP dari masing-masing *grade* dan batas perlakuan panas yang dilakukan terhadap material baja pegas berdasarkan standar JIS G 4801-1984.

2.3.2 Sifat Material Pegas Daun

Pegas daun berfungsi sebagai lengan penyangga dan untuk meredam beban kejut, guncangan dan getaran yang diterima oleh kendaraan. Berikut ini adalah sifat yang harus dimiliki oleh pegas daun :

1. Kekuatan

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan material menjadi patah. Berdasarkan pada jenis beban yang bekerja, kekuatan

dibagi dalam beberapa macam yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lengkung.

2. Ketangguhan

Merupakan kemampuan material untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan.

3. Ductile

Material akan meregang dan mengalami deformasi sebelum patah, yang disebut dengan benda elastis (*ductile*). Bila sesuatu material terdeformasi secara *ductile*, menandakan bahwa *strain* terdistribusi secara merata.

4. Tahan aus

Aus adalah kerusakan yang terjadi di permukaan suatu material karena material lain terutama gesekan antara pegas daun.

5. Tahan korosi

Korosi adalah kerusakan logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki atau disebut juga perkaratan.

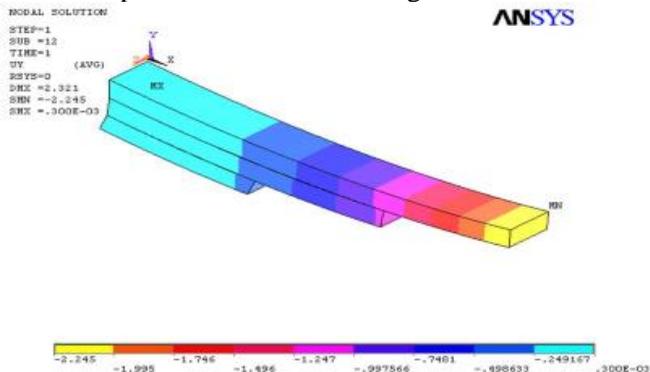
2.3.3 Kegagalan baja pegas

Baja pegas sangat berpengaruh pada keamanan dan kenyamanan saat berkendara. Pada hal ini baja pegas berperan sebagai penahan beban. Saat menahan beban baja pegas dapat mengalami kerusakan dan kegagalan. Kegagalan tersebut dikarenakan pembebanan yang terjadi dan intensitas pembebanannya. Biasanya pegas cenderung mengalami kegagalan pada kondisi pada saat pembebanan berulang-ulang walaupun beban yang diterima berada di bawah batas elastisitasnya.

Tabel 2.3 Macam-Macam Penyebab Kegagalan pada Baja Pegas [8]

Fracture	<u>Fracture with repeated stresses</u>
	1. Fatigue with no corrosion
	2. Corrosion fatigue
	3. Fatigue from fretting corrosion or wear
	<u>Fracture with impact stress</u>
1. Brittle fracture (Low temperature brittle fracture)	
2. Ductile fracture	
	<u>Fracture with static stress</u>
	1. Stress corrosion cracking
	2. Delayed fracture (Hydrogen embrittlement fracture)
Deformation (Permanent set)	1. Yielding, plastic deformation (due to over stressing)
	2. Static creep
	3. Dynamic creep
	4. Stress relaxation
Decrease of cross-sectional dimensions	1. Wear
	2. Fretting
	3. General corrosion
	4. Local corrosion
	5. Erosion

Pada tabel 2.3 di atas menjelaskan tentang pembagian jenis kegagalan pada pegas berdasarkan penyebab terjadinya kegagalan pada pegas. Selain karena pengaruh pegas sudah melalui batas lelah karena beban yang berulang juga dapat disebabkan oleh beban yang diterima melebihi batas elastis pada pegas sehingga pegas tidak dapat kembali pada kondisi semula meskipun beban sudah dihilangkan.



Gambar 2.2 Gaya yang Diterima pada Pegas [4]

Berdasarkan gambar 2.2 pada rangkaian pegas daun ketika menerima gaya bagian yang mengalami defleksi paling besar berada pada ujung pegas akibat menerima tegangan bending. Semakin ke daerah tengah defleksi yang terjadi semakin kecil.

2.3.4 Patah Getas dan Patah Ulet

Patahan adalah spesimen dari sebuah benda menjadi 2 atau lebih potongan karena terjadinya tegangan statik dan pada temperature yang relatif rendah terhadap titik leleh dari suatu material. Tegangan yang terjadi pada material bisa merupakan tegangan tarik, tegangan kompresi, tegangan geser ataupun torsi. Dalam rekayasa material terdapat dua jenis mode patahan yang mungkin terjadi yaitu patahan ulet dan patah getas. Klasifikasi jenis patahan ini berdasarkan kemampuan sebuah material dalam menerima deformasi plastis yang dapat menyerap energi yang besar sebelum terjadi patahan. Material yang ulet mempunyai deformasi plastis yang tinggi, pembentukan *small cavity* di ujung retak, serta retak memanjang atau menjalar bertahap. Sedangkan pada material yang getas mempunyai deformasi plastis rendah, tegangan lokal meningkat pada ujung retak sehingga retak menjalar dengan sangat cepat. Pada Gambar 2.11. ditunjukkan diagram tegangan dan regangan dari patahan ulet dan getas.

Patahan ulet dan getas pada suatu material tergantung pada kondisi pembebanan. Pada proses terjadinya patahan melibatkan dua tahap yaitu terbentuknya retak dan perambatan sebagai respon dari tegangan yang dialami oleh material. Modus patahan sangat bergantung pada perambatan retak.

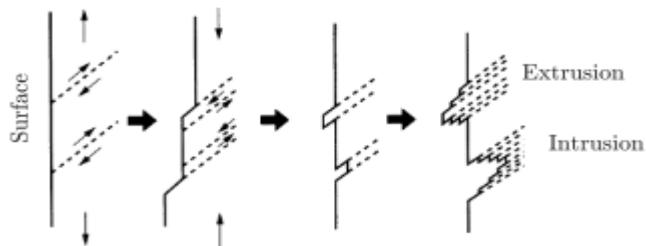
2.3.5 Mekanisme Pembentukan Patah Lelah

Kelelahan mengakibatkan terjadinya patah lelah. Patah lelah terjadi melalui tiga tahap yaitu tahap retak awal (*crack initiation*), tahap penjarangan retak (*crack propagation*), dan tahap patah statis. Dan setelah retak lelah merambat cukup

jauh, maka beban yang bekerja hanya akan didukung oleh penampang tersisa yang belum retak dan akhirnya komponen akan patah (tahap *final failure*).

1. Tahap Retak Awal (*Crack Initiation*)

Tahap ini dimulai dari permukaan material. Hal ini terjadi karena permukaan menerima beban terbesar dan paling memungkinkan terjadinya konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh adanya perubahan dimensi pada permukaan atau proses pengerjaan tertentu pada material. Adanya cacat dalam menyebabkan juga konsentrasi tegangan. Fenomena awal retak secara sederhana diberikan oleh Wood.



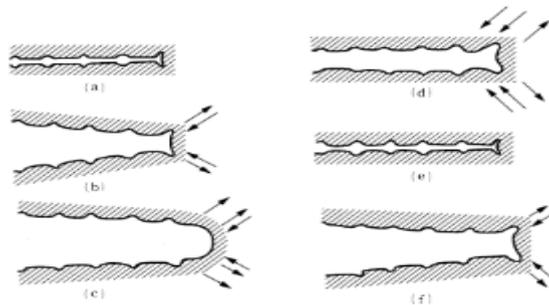
Gambar 2.3 Model Wood untuk pengintian retak [8]

Pada beban tarik pertama, slip terjadi dengan membentuk permukaan bertingkat yang membentuk sudut 45° dengan sumbu tegangan. Hal ini akibat tegangan geser maksimal yang terjadi pada sudut tersebut. Pembebanan selanjutnya menyebabkan slip pada arah yang berlawanan. Slip ini terjadi pada bidang yang berdekatan dengan yang pertama. Dan selanjutnya merupakan proses pengulangan dalam pembebanan siklus yang sama. Tahap retak awal ini meliputi fase *cyclic slip*, fase pembentukan inti retak (*crack nucleation*) dan pertumbuhan retak mikro (*growth of microcrack*).

2. Tahap Perambatan Retak (*Crack Propagation*)

Perambatan retak pada suatu komponen terjadi jika tegangan maksimum pada ujung retakan berada di atas kekuatan material. Hal ini mengakibatkan peningkatan konsentrasi tegangan pada ujung retak. Awal retakan mula-mula menjalar pada bidang slip di dalam beberapa butir dengan kecepatan yang sangat lambat. Pengamatan secara makro tidak menampakkan perambatan ini. Peristiwa ini disebut perambatan retak tahap I.

Selanjutnya pertumbuhan retak pada tahap II ditandai dengan adanya striasi. Pada tahap ini pertumbuhan retak tegak lurus dengan tegangan tarik maksimum. Retakan mulai kelihatan dengan mata telanjang, oleh karena itu disebut dengan retak makro. Pengamatan retak pada penelitian biasanya difokuskan pada tahap ini. Adapun model mekanisme crack secara plastis terdapat pada Gambar 2.18 dibawah ini.

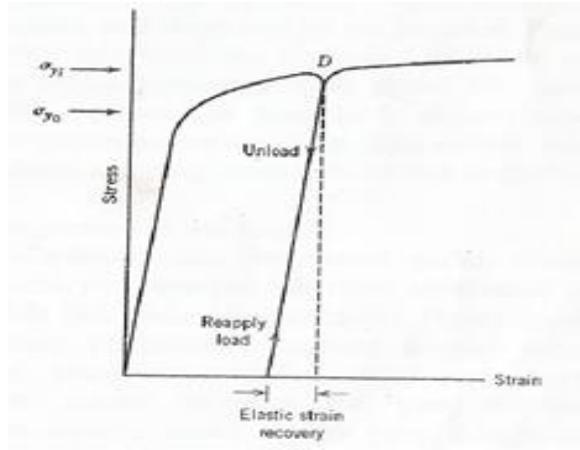


Gambar 2.4 Mekanisme Penumpulan Ujung Retakan Secara Plastis (a) Beban Nol (b) Beban Tarik Kecil (c) Beban Tarik Maksimum (d) Beban-Tekan Maksimum (e) Beban Nol (f) Beban Tekan Minimum [8]

2.3.6 *Strain Hardening*

Strain hardening adalah fenomena dimana material yang ulet menjadi lebih keras dan kuat diakibatkan oleh

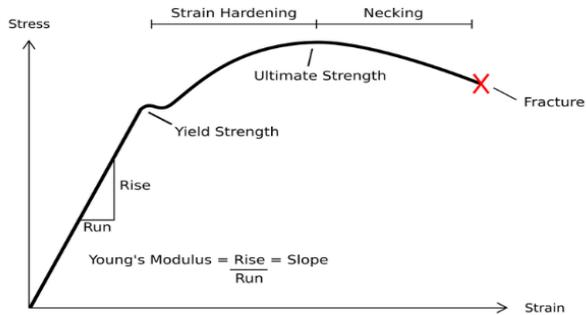
deformasi plastic. Biasanya disebut dengan *work hardening*, karena temperatur pada saat terjadi deformasi berada pada temperatur ruangan atau dapat dikatakan pengerjaan dingin. Derajat deformasi plastic (*degree of plastic deformations*) lebih mudah dijelaskan sebagai persentase pengerjaan dingin (*percent cold work*).



Gambar 2.5 Skema Diagram Tegangan-Regangan yang Menunjukkan Fenomena *Strain Hardening* [3]

Gambar 2.7 menunjukkan terjadinya fenomena *strain hardening*. Pada awalnya logam dengan *yield strength* awal σ_{y1} . Logam tersebut menjadi lebih kuat dan lebih keras karena terjadi peningkatan *yield strength*.

Jika suatu material di deformasi plastic kemudian tegangannya dihilangkan, maka akan terdapat regangan permanen. Bila kemudian tegangannya diberikan lagi, maka material tersebut akan mengalami deformasi *elastic* terlebih dahulu. Hal ini mengakibatkan kekuatan luluhnya menjadi lebih tinggi dari kekuatan luluh sebenarnya. Sedangkan jumlah deformasi *elastic* yang terjadi sebelum akhirnya mencapai kekuatan luluh disebut dengan regangan *elastic* balik.



Gambar 2.6 Batas Terjadinya *Strain Hardening* pada Baja [3]

Dari gambar 2.6 Dapat diketahui bahwa saat baj diberi pembebanan di atas batas yield baja akan mengalami deformasi plastis yang menyebabkan naiknya nilai kekerasan pada baja. Fenomena *strain hardening* pada baja terjadi di antara daerah *yield strength* dan *ultimate strength*.

2.4 Proses Laku Panas

Proses laku panas adalah kombinasi dari proses pemanasan dan pendinginan yang dilakukan pada suatu material logam dengan kecepatan pendinginan yang telah ditentukan terhadap logam tersebut dalam keadaan padat sebagai upaya untuk memperoleh suatu sifat-sifat tertentu yang dapat merubah sifat baja dari yang lunak menjadi sangat keras atau juga dapat membentuk sifat baja dari yang mudah patah menjadi lebih ulet. Pembentukan sifat-sifat dalam baja tergantung pada kandungan karbon, temperatur pemanasan, sistem pendinginan serta bentuk dan ketebalan bahan.

Tujuan dari perlakuan panas adalah untuk mempersiapkan material pada pengolahan berikutnya, mempermudah proses machining, menghilangkan tegangan dalam, menghomogenkan ukuran butiran, memperbaiki keuletan dan kekuatan material, mengeraskan logam sehingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat. Perlakuan panas hampir

dilakukan pada material yang akan dilakukan untuk pengerjaan lebih lanjut, dengan kata lain perlakuan panas menyiapkan material setengah jadi untuk dilakukan pengerjaan selanjutnya. Dari sini tampak bahwa proses laku panas dapat digunakan untuk melakukan manipulasi sifat mekanik sesuai dengan kebutuhan dan keperluan.

Proses laku panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan dimulai dengan pemanasan sampai temperatur tertentu. Yang membedakan proses laku panas dengan proses laku panas yang lain adalah :

1. Tinggi temperatur pemanasan
2. Lamanya waktu penahanan
3. Laju pendinginan

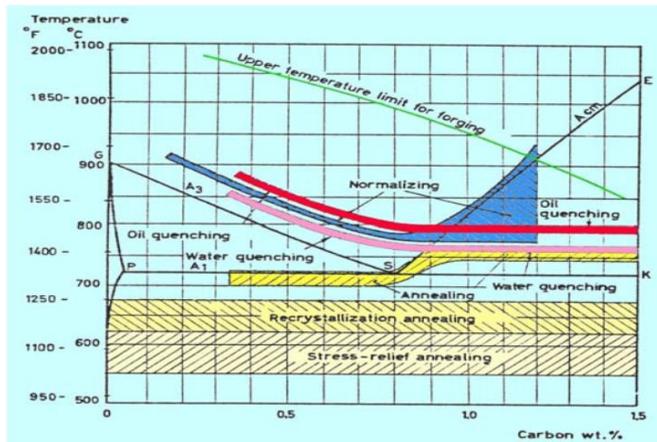
Selama pemanasan, yang biasa dilakukan hingga mencapai daerah austenit, baja akan mengalami transformasi fase, akan terbentuk austenite. Dengan memberikan waktu penahanan yang cukup akan memberikan kesempatan kepada atom-atom untuk berdiffusi menghomogenkan austenit yang baru terbentuk itu. Pada pendinginan kembali, austenit akan bertransformasi lagi dan struktur mikro yang terbentuk tergantung pada laju pendinginan. Dengan laju pendinginan yang berbeda akan terbentuk struktur mikro yang berbeda, tentunya sifat mekaniknya pun akan berbeda. Proses perlakuan panas dapat dibedakan menjadi dua, yaitu laku panas kondisi setimbang dan laku panas kondisi tidak setimbang. Laku panas kondisi setimbang untuk menaikkan sifat keuletan/ketangguhan, sedangkan laku panas kondisi tidak setimbang untuk menaikkan kekuatan/kekerasan.

Dari sini dapat disimpulkan bahwa proses laku panas merupakan salah satu dari rangkaian proses produksi. Proses laku panas hendaknya tidak dipandang suatu proses tersendiri yang terpisah dari rangkaian proses produksi. Proses laku panas dengan proses lain dapat saling mempengaruhi, sehingga dalam proses laku panas hendaknya memperhatikan proses yang telah dialami sebelumnya dan proses apa yang akan dialami selanjutnya serta

sifat mekanik yang akan dihasilkan dari rangkaian proses tersebut.

2.4.1 Laku Panas Kondisi Setimbang

Laku panas adalah kombinasi dari proses pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan pada logam/paduan untuk memperoleh sifat tertentu. Salah satu dari laku panas tersebut dilakukan dengan kondisi setimbang.



Gambar 2.7 Daerah Temperatur Laku Panas [1]

2.4.2 Proses Laku Panas Kondisi Tidak Setimbang

Proses laku panas kondisi tidak setimbang dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan kekerasan dan kekutan yang lebih tinggi. Ada beberapa jenis dari perlakuan panas non equilibrium, misalnya Hardening, Martempering, Austempering, Surface hardening (*Carburizing, Cyaniding, Flame hardening, Induction hardening, Nitriding*).

Proses laku panas pada keadaan tidak setimbang ini dilakukan dengan cara memberikan pendinginan cepat pada

logam yang sudah dipanaskan sehingga tidak ada kesempatan bagi material yang sudah dipanaskan untuk mencapai kondisi yang setimbang karena waktu dibutuhkan untuk transformasi/dekomposisi tidak cukup.

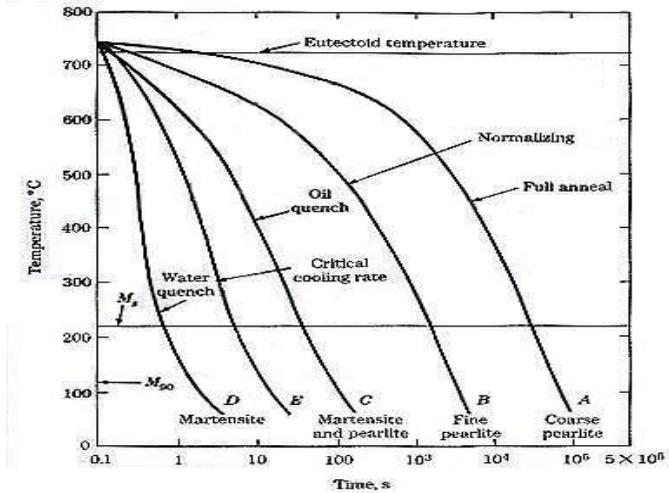
2.4.3 Quenching

Proses *quenching* bertujuan untuk mengeraskan suatu material dengan melakukan pemanasan logam hingga mencapai temperatur austenit kemudian ditahan pada temperatur dan waktu yang telah ditentukan yang bertujuan agar austenit pada material menjadi homogen, dari proses tersebut kemudian dilanjutkan dengan proses pendinginan cepat yang dilakukan pada logam dengan mencelupkan baja ke dalam media pendingin sehingga sifat kekerasan yang diinginkan pada baja dapat tercapai. Pada perlakuan *quenching* ini terjadi percepatan pendinginan dari temperatur akhir perlakuan dan mengalami perubahan dari austenit menjadi martensite untuk menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Dengan pendinginan yang cepat, maka tidak ada waktu yang cukup bagi fasa austenit untuk berubah menjadi perlit dan ferit atau perlit dan sementit. Oleh karena itu austenit berubah menjadi martensite yang bersifat sangat keras tergantung kadar karbon.

Suatu baja pada dasarnya mempunyai kekerasan maksimum yang tergantung pada komposisi kimia (kadar karbon dan unsur paduannya) dan struktur martensit yang terbentuk ialah pada saat dilakukan pendinginan cepat. Makin tinggi kadar karbonnya, maka akan berpengaruh terhadap banyaknya martensit yang terbentuk sehingga akan berpengaruh terhadap kekerasan bahan.

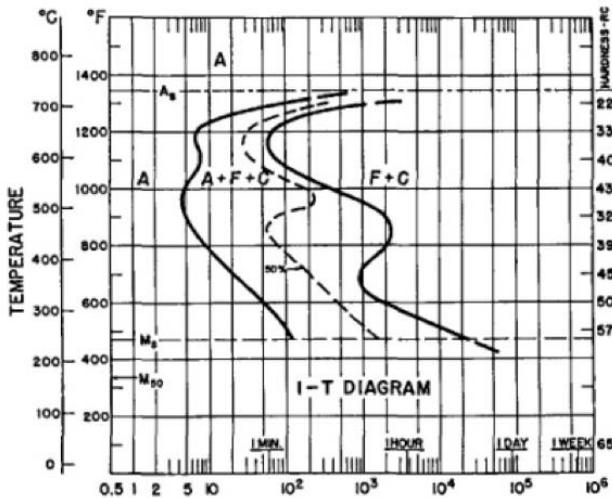
Struktur martensit merupakan struktur yang memiliki sifat yang keras dan getas, karena telah mengalami perlakuan panas hingga mencapai austenit stabil pada suhu kritis yang kemudian didinginkan dengan cepat dengan media pendingin yang bermacam-macam. Untuk mendapatkan nilai kekerasan

baja yang optimal perlu diperhatikan temperatur dan waktu tahan proses austenisasi. Apabila temperatur dan waktu tahan austenisasi terlalu kecil, maka tidak akan diperoleh pengerasan pada baja yang maksimal.



Gambar 2.8 Kurva Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kecepatan Pendinginan [3]

Dari gambar 2.8 menunjukkan bahwa jenis media pendingin yang digunakan berpengaruh terhadap kecepatan pendinginan pada logam. Selain jenis media pendingin, kecepatan pendinginan pada logam juga dapat dipengaruhi oleh Volume logam, Volume media pendingin, luas permukaan material, dan penambahan pengadukan (*agitasi*) pada media pendingin.



Gambar 2.9 IT diagram baja dengan kandungan karbon antara 0,56% - 0,64% [2]

Dalam proses quenching selain memperhatikan media pendingin, yang harus diperhatikan adalah volume dari media pendingin tersebut. Jika volume media pendingin sedikit, maka proses pendinginan kurang maksimal. Struktur martensit dapat diperoleh jika laju pendinginan dapat mencapai critical cooling rate (CCR). Diagram transformasi isothermal pada gambar 2.8 menunjukkan dimulainya transformasi austenit sampai menjadi martensit.

Pada dasarnya baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan. Melalui proses tempering, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun, sedang keuletan dan ketangguhan akan meningkat. Pada saat tempering proses difusi dapat terjadi yaitu karbon dapat melepaskan diri dari martensit berarti keuletan (ductility) dari baja naik, akan tetapi kekuatan tarik, dan kekerasan menurun. Sifat-sifat mekanik baja yang telah

dicelup, dan di-temper dapat diubah dengan cara mengubah temperatur tempering.

2.4.4 Tempering

Baja yang dikeraskan dengan pembentukan *martensite*, pada kondisi setelah proses *quenching* biasanya masih sangat getas, sehingga baja tidak cukup baik untuk digunakan. Pembentukan *martensite* juga meninggalkan tegangan sisa yang sangat tinggi. Karena hal tersebut setelah proses pengerasan (*hardening*) selalu diikuti dengan proses pemanasan kembali (*tempering*).

Tempering dilakukan dengan cara memanaskan kembali baja yang sudah dilakukan proses *quenching* pada temperatur di bawah temperatur kritis bawah, lalu membiarkannya beberapa saat pada temperatur tersebut, lalu didinginkan kembali. Secara umum dapat dikatakan jika temperatur *tempering* makin tinggi, maka kekerasan yang diakibatkan akan semakin rendah, sedangkan ketangguhannya akan semakin meningkat.

Hubungan antara pengaruh suhu *tempering* terhadap ketangguhan impak dan kekuatan tarik pada baja dimana ketangguhan impak cenderung naik seiring dengan naiknya temperatur *tempering*.

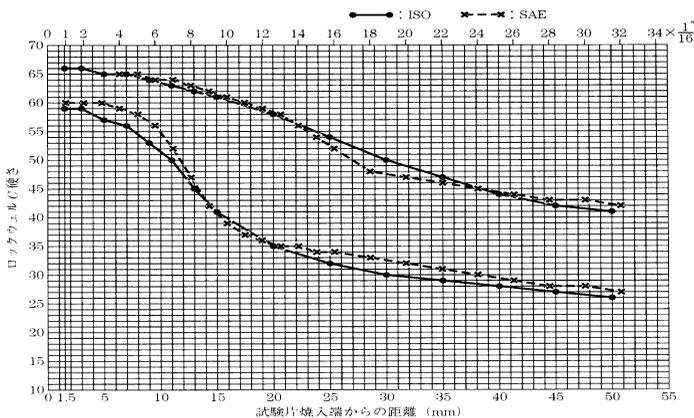
2.5 Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanik Baja Pegas

Sebagai petunjuk pertama dalam pemilihan baja pegas yang dipakai sebagai bahan konstruksi otomotif maupun perancangan adalah kekuatan dan keuletan yang memadai. Satu dari sekian sifat baja yang paling penting adalah kekuatan, tetapi pada umumnya bila kekuatan baja dinaikkan, maka dampaknya adalah keuletannya cenderung menurun, maka kekuatan yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan karena beban kejut (benturan). Untuk mendapatkan kekuatan yang cukup dan

keuletan yang baik pada pegas, maka dilakukan pengerasan celup (*quenching*) dan pemanasan ulang (*tempering*).

Karena karakteristik dari *martensite* adalah sangat keras dan getas, membuat baja tersebut belum memenuhi spesifikasi sebagai baja pegas. Oleh karena itu, perlu adanya dilakukan proses pemanasan ulang (*tempering*). Sehingga kekuatannya menjadi naik, keuletannya tinggi dan juga kekerasannya memadai dalam penggunaannya sebagai baja pegas. Gambar 2.8 menjelaskan kemampuan untuk dikeraskan tersebut, maka akan dapat diperoleh kekerasan dan kekuatan serta ketangguhan yang optimal untuk baja pegas.

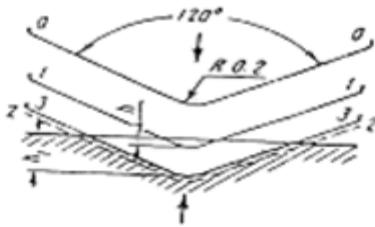
Pada proses produksi baja pegas, proses laku panas yang digunakan adalah *quenching* dan *tempering*. Pada proses *quenching* sempurna, martensit pada baja pegas dapat terbentuk. Apabila proses *quenching* kurang sempurna maka kekerasan yang diperoleh akan lebih rendah dibanding dengan *quenching* yang sempurna. Sedangkan dari hasil proses tempering diperoleh kekerasan dan kekuatan tarik yang lebih rendah dari hasil *quenching*.



Gambar 2.10 Pita *hardenability* baja pegas SUP 9A [8]

2.6 Uji Kekerasan

Pada pengujian kekerasan rockwell, angka kekerasan yang di peroleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada specimen akibat pembebanan statis. Pada pengujian dengan metode rockwell dapat digunakan dua bentuk indendor, yaitu berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter, dan bentuk kerucut dari intan (*diamond cone*). Beban yang diberikan pada saat indentasi disesuaikan dengan bentuk dan dimensi indendor, dimana angka kekerasan specimen uji dapat dibaca langsung pada mesin.



Gambar 2.11 Prinsip Kerja *Rockwell* [1]

Keterangan :

0-0 Posisi sebelum indentasi

1-1 Penetrasi pada saat beban awal P_1

2-2 Penetrasi pada pada saat beban penuh (P_1+P)

3-3 Penetrasi setelah beban utam dilepas P_1

Angka kekerasan Rockwell B dan Rockwell C dinyatakan sebagai kedalaman indentasi (h_1) dapat ditulis sebagai berikut :

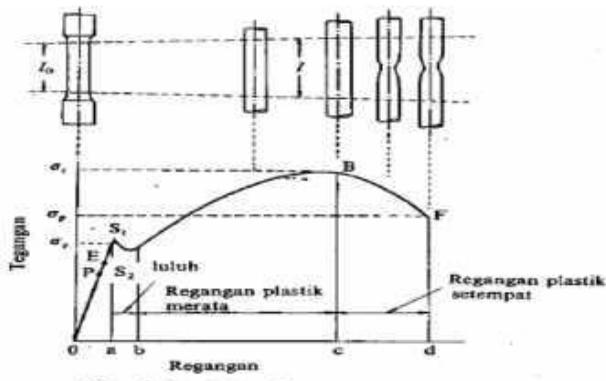
$$R_B = 130 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0.002}$$

$$R_C = 100 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0.002}$$

2.7 Pengujian Tarik

Pada pengujian tarik dipakai benda uji standar yang dicekam pada sebuah mesin penguji, kemudian benda tersebut ditarik dengan kecepatan pembebanan tertentu. Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan pada benda dengan memberikan gaya tarik berlawanan arah pada salah satu ujung benda. Penarikan gaya terhadap beban akan mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (*deformasi*) bahan tersebut.

Untuk melakukan pengujian tarik dibutuhkan batang tarik. Batang tarik, dengan ukuran-ukuran yang dinormalisasikan, dibubut dari specimen yang akan diuji. Uji tarik merupakan salah satu dari beberapa pengujian yang umum digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dari satu material. Dalam bentuk yang sederhana, uji tarik dilakukan dengan menjepit kedua spesimen uji tarik pada rangka beban uji tarik. Gaya tarik terhadap spesimen uji tarik diberikan oleh mesin uji tarik (*Universal Testing Machine*) yang menyebabkan terjadinya pemanjangan spesimen uji dan sampai terjadi patah.



Gambar 2.12 Kurva Tegangan-Regangan [5]

Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat dalam gambar 2.25. Titik P menunjukkan batas dimana hukum Hooke masih berlaku dan disebut batas proporsi, dan titik E menunjukkan batas beban diturunkan ke nol lagi tidak akan terjadi perpanjangan tetap pada batang uji dan disebut batas elastis. Titik E sukar ditentukan dengan tepat sebesar 0,005% sampai 0,01%. Titik S₁ disebut titik luluh atas dan titik S₂ titik luluh bawah. Pada beberapa logam batas luluh ini tidak kelihatan dalam diagram tegangan-regangan, dan dalam hal ini tegangan luluhnya ditentukan sebagai tegangan dengan regangan sebesar 0,2%.

Pada pengujian tarik beban diberikan secara *continue* dan pelan-pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji dan dihasilkan kurva tegangan-regangan. Tegangan dapat diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang awal benda uji.

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_o} \dots\dots\dots (\text{kg/mm}^2)$$

- Dimana : σ_u = Tegangan tarik (kg/mm²)
 F_u = Beban maksimal (kg)
 A_o = Luas penampang mula dari penampang batang (mm²)

Regangan (persentase pertambahan panjang) yang diperoleh dengan membagi perpanjangan panjang ukur (ΔL) dengan panjang ukur mula-mula benda uji.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \times 100\% = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \dots\dots\dots (\%)$$

- Dimana : ϵ = Regangan (%)
 L = Panjang akhir (mm)

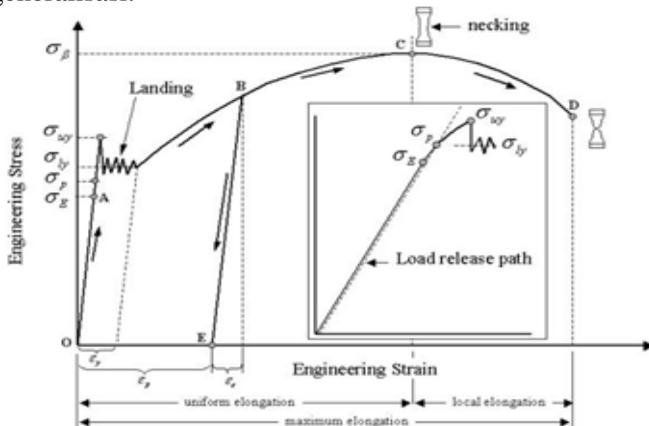
L_0 = Panjang awal (mm)

Pembebanan tarik dilakukan terus-menerus dengan menambahkan beban sehingga akan mengakibatkan perubahan bentuk pada benda berupa penambahan panjang dan pengecilan luas permukaan dan akan mengakibatkan kepatahan pada beban.

Uji tarik suatu material dapat dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.14. Benda uji dijepit pada mesin uji tarik, kemudian beban static dinaikkan secara bertahap sampai specimen putus. Besarnya beban dan penambahan panjang dihubungkan langsung dengan *plotter*, sehingga diperoleh grafik tegangan (Mpa) dan regangan (%) yang memberikan informasi data berupa tegangan *ultimate* (σ_u), modulus elastisitas bahan (E), ketangguhan dan keuletan yang diuji tarik.

2.7.1 Detail Profil Uji Tarik dan Sifat Mekanik Logam

Sekarang akan kita bahas profil data dari tensile test secara lebih detail. Untuk keperluan kebanyakan analisa teknik, data yang didapatkan dari uji tarik dapat digeneralisasi.



Gambar 2.13 Data Diagram Tegangan-Regangan Teknik Hasil Uji Tarik [5]

A. Batas Elastis σ_e (*Elastic Limit*)

Dinyatakan dengan titik A. Bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya *hampir kembali ke kondisi semula*) yaitu regangan “nol” pada titik 0. Namun apabila beban ditarik sampai melewati titik A, hukum Hooke tidak lagi berlaku dan terdapat perubahan permanen dari bahan. Terdapat konvensi batas regangan permanen (*permanent strain*) sehingga masih disebut perubahan elastis yaitu kurang dari 0.03%, tetapi sebagian referensi menyebutkan 0.005% . Tidak ada standarisasi yang universal mengenai nilai ini.

B. Batas Proporsional σ_p (*proportional limit*)

Titik sampai di mana penerapan hukum Hook masih bisa ditolerir. Tidak ada standarisasi tentang nilai ini. Dalam praktek, biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.

C. Deformasi plastis (*plastic deformation*)

perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula. Pada Gambar 2.27 yaitu bila bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah *landing*.

D. Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*)

Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah landing peralihan deformasi elastis ke plastis.

E. Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*)

Tegangan rata-rata daerah *landing* sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya disebutkan

tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan ini.

F. Regangan luluh ϵ_y (*yield strain*)

Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.

G. Regangan elastis ϵ_e (*elastic strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.

H. Regangan plastis ϵ_p (*plastic strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.

I. Regangan total (*total strain*)

Merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastis, $\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$. Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) adalah regangan plastis.

J. Tegangan tarik maksimum TTM (*UTS, ultimate tensile strength*)

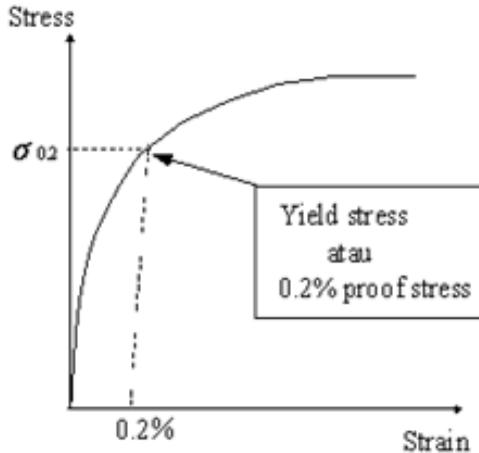
Ditunjukkan dengan titik C (σ_β), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.

K. Kekuatan Patah (*Breaking Strength*)

Ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.

2.7.2 Tegangan Luluh Perubahan Elastis dan Plastik

Untuk hasil uji tarik yang tidak memiliki daerah linier dan landing yang jelas, tegangan luluh biasanya didefinisikan sebagai tegangan yang menghasilkan regangan permanen sebesar 0.2%, regangan ini disebut *offset-strain*.



Gambar 2.14 Kurva Tegangan Luluh [5]

2.7.3 Istilah Lain yang Penting dalam Interpretasi Hasil Uji Tarik

A. Kelenturan (*ductility*)

Merupakan sifat mekanik bahan yang menunjukkan derajat deformasi plastis yang terjadi sebelum suatu bahan putus atau gagal pada uji tarik. Bahan disebut lentur (*ductile*) bila regangan plastis yang terjadi sebelum putus lebih dari 5%, bila kurang dari itu suatu bahan disebut getas (*brittle*).

B. Derajat kelentingan (*resilience*)

Derajat kelentingan didefinisikan sebagai kapasitas suatu bahan menyerap energi dalam fase perubahan elastis. Sering disebut dengan Modulus

Kelentingan (*Modulus of Resilience*), dengan satuan *strain energy per unit volume* (Joule/m³ atau Pa).

$$U_R = \frac{1}{2} \sigma_{el} \cdot \varepsilon_{el} = \frac{\sigma_{el}^2}{2E}$$

C. Derajat ketangguhan (*toughness*)

Kapasitas suatu bahan menyerap energi dalam fase plastis sampai bahan tersebut putus. Sering disebut dengan Modulus Ketangguhan (modulus of toughness). Dalam Gambar 2.26, modulus ketangguhan sama dengan luas daerah dibawah kurva OABCD.

D. Pengerasan regang (*strain hardening*)

Sifat kebanyakan logam yang ditandai dengan naiknya nilai tegangan berbanding regangan setelah memasuki fase plastis

E. Tegangan sejati, regangan sejati (*true stress, true strain*)

Dalam beberapa kasus definisi tegangan dan regangan seperti yang telah dibahas di atas tidak dapat dipakai. Untuk itu dipakai definisi tegangan dan regangan sejati, yaitu tegangan dan regangan berdasarkan luas penampang bahan secara *real time*.

F. Kekakuan (*stiffness*)

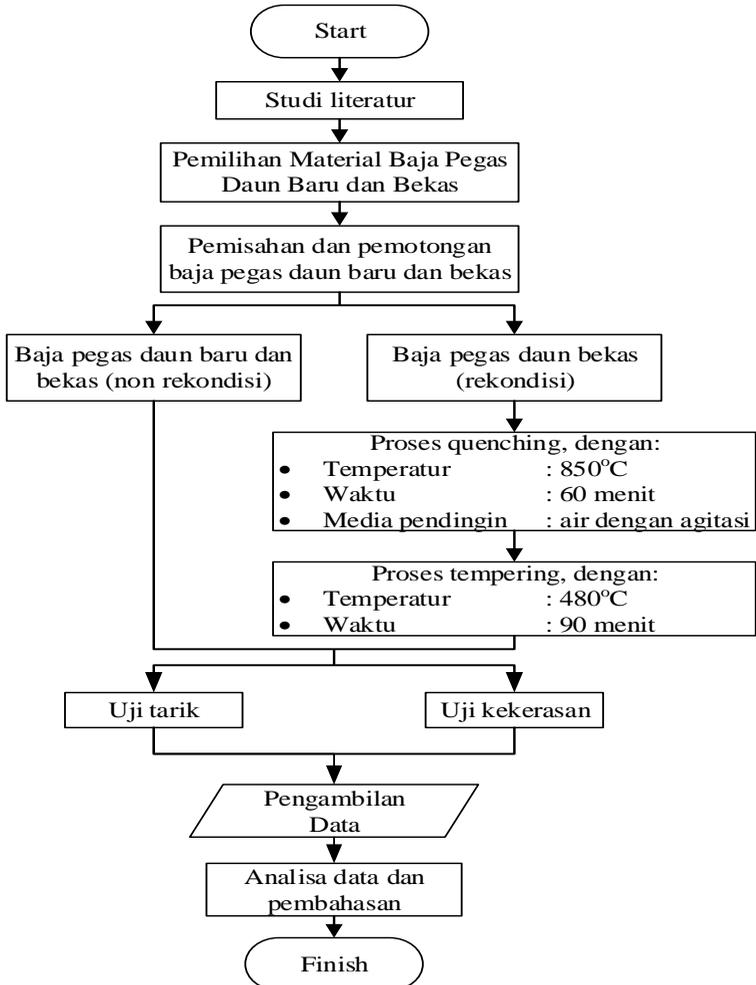
Suatu bahan yang memiliki kekakuan tinggi bila mendapat beban(dalam batas elastiknya) akan mengalami deformasi elastik tetapi hanya sedikit saja. Kekakuan ditunjukkan oleh *modulus elastisitas* (Young's Modulus, E)

$$E = \sigma_{el} / \varepsilon_{el}$$

Makin besar harga E, makin kaku. Harga E untuk semua baja hampir sama saja sekitar $2,15 \times 10^6$ kg/cm² atau 30×10^6 psi, harga ini hampir tidak terpengaruh oleh komposisi kimia, laku-panas dan proses pembentukannya (sifat mekanik lain akan terpengaruh oleh hal-hal tersebut).

BAB III METODOLOGI

3.1 *Flowchart* Penelitian



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

Metode yang digunakan dalam suatu analisa atau studi harus terstruktur dengan baik sehingga dapat dengan mudah menerangkan atau menjelaskan penelitian yang dilakukan. Proses dalam pelaksanaan penelitian ini melalui beberapa tahap sebagai berikut:

1. Studi literatur

Pada studi literatur meliputi mencari dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan segala permasalahan mengenai logam pegas daun.

2. Persiapan Spesimen

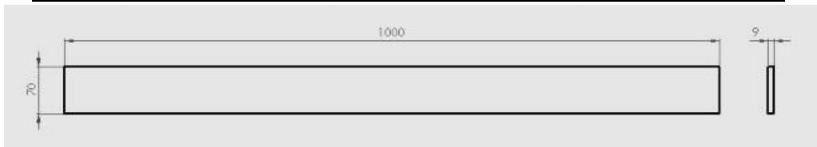
Dalam penelitian ini spesimen yang digunakan adalah baja pegas daun baru dan bekas SUP 9A yang kemudian dipotong dengan bentuk spesimen uji tarik. Jumlah spesimen yang dibentuk adalah 6 buah untuk pegas daun bekas dan 3 untuk pegas daun baru.

3.2 Material Benda Uji

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja pegas daun bekas dan baja pegas baru JIS SUP 9A atau *Mn-Cr Steel*. Pegas daun yang sudah tidak dipakai. Baja pegas daun bekas yang digunakan biasanya sudah mengalami penurunan kualitas sifat mekanik akibat umur pemakaian. Pada penelitian ini material yang dipakai adalah pegas daun lapisan pertama (paling panjang) sepanjang 1000 mm dengan lebar 70 mm.

Tabel 3.1 Dimensi Awal Baja Pegas Daun Baru

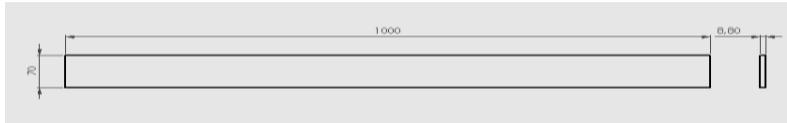
No	Panjang (mm)	Tebal (mm)	Lebar (mm)
1	1000	9	70



Gambar 3.2 Dimensi Bahan Material Awal Baru

Tabel 3.2 Dimensi Awal Baja Pegas Daun Bekas

No	Panjang (mm)	Tebal (mm)	Lebar (mm)
1	1000	8,8	70
2	1000	8,8	70



Gambar 3.3 Dimensi Bahan Material Awal Bekas

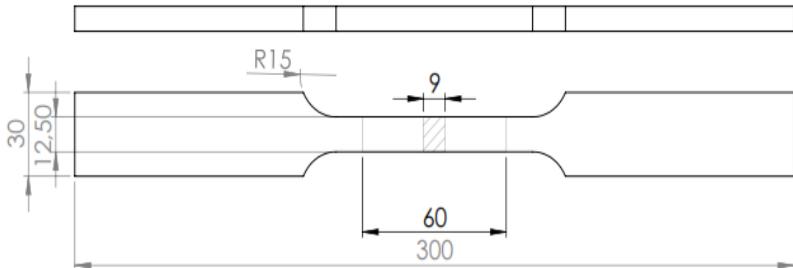


Gambar 3.4 Spesimen Awal

Kemudian material dilakukan pemotongan menjadi dua bagian dengan panjang masing-masing 300 mm karena pada daerah ujung pegas daun memiliki ketebalan yang berbeda dengan daerah tengah. Pemotongan ini dilakukan dengan menggunakan mesin gerinda. Kemudian material dipotong kembali hingga mencapai bentuk spesimen uji tarik sesuai dengan standar JIS Z 2201 dengan menggunakan *wire cut*.



Gambar 3.5 Proses Pemotongan Spesimen



Gambar 3.6 Dimensi Spesimen Uji Tarik JIS Z 2201

3.3 Proses *Quenching*

Proses *quenching* baja pegas daun dengan cara memanaskan spesimen uji didalam oven yang bermerk *Gotech GT/F* atau dapur pemanas. Spesimen tersebut diberi temperatur 850°C dengan *holding time* atau waktu penahanan selama 60 menit.

Tabel 3.3 Data Proses *Quenching*

Data Proses <i>Quenching</i> pada Pegas Daun SUP 9A Bekas	
Tempat	Oven / Furnace
Temperatur Pemanasan	850°C
Waktu Penahanan	60 Menit
Laju Pemanasan	$175^{\circ}\text{C}/\text{Jam}$
Media Pendingin	Air (dengan Pengadukan)
Volume Media Pendingin	20 Liter

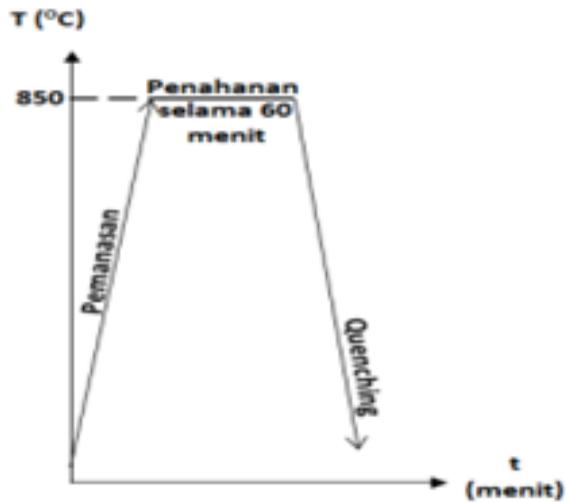


Gambar 3.7 Oven dalam Temperatur 850°C



Gambar 3.8 Oven Uji Laku Panas

Proses *quenching* dilakukan dengan menggunakan media air (*water quenching*) yang disertai dengan pengadukan selama proses pendinginan. Pencelupan dilakukan sampai temperatur spesimen uji dan media pendingin mendekati suhu kamar. Setelah proses *quenching*, maka dilanjutkan proses *tempering*.



Gambar 3.9 Skema Proses *Quenching*



Gambar 3.10 Media Pendinginan

3.4 Proses *Tempering*

Proses *tempering* baja pegas daun dilakukan setelah proses *quenching*, kemudian spesimen dimasukkan kedalam oven atau dapur pemanas untuk proses *tempering* dengan menggunakan temperatur 480°C .



Gambar 3.11 Pemasukan Spesimen ke Dalam Oven

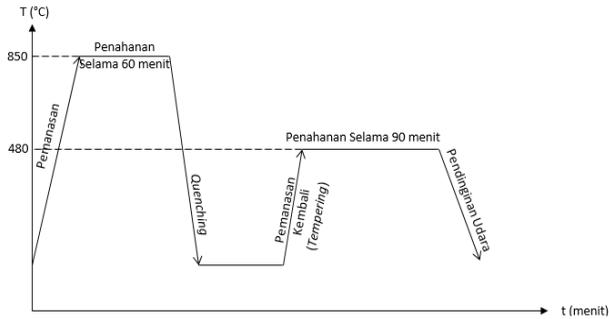


Gambar 3.12 Proses Tempering dengan Temperatur 480°C

Pemanasan menggunakan *holding time* selama 90 menit dan kemudian didinginkan pada temperatur ruangan.

Tabel 3.4 Data proses *tempering*

Data Proses <i>Quenching</i> pada Pegas Daun SUP 9A Bekas	
Tempat	Oven / Furnace
Temperatur Pemanasan	480°C
Waktu Penahanan	90 Menit
Laju Pemanasan	175°C/Jam
Media Pendingin	Udara
Temperatur Ruang	32°C



Gambar 3.13 Skema Proses *Tempering*



Gambar 3.14 Pengambilan Spesimen dari Oven

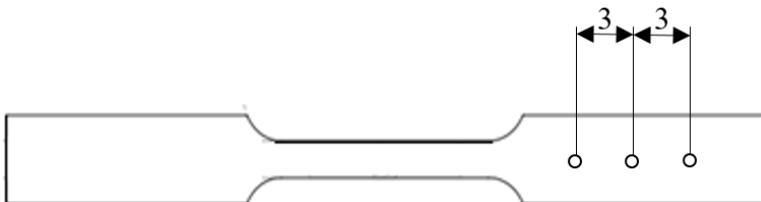


Gambar 3.15 pendinginan Udara Setelah Proses *Tempering*

3.5 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan ini menggunakan mesin uji pada gambar 3.12. Angka kekerasan yang diamati adalah kekerasan *Rockwell* skala C, yang dinyatakan dalam HRC. Indentor yang

digunakan adalah intan dengan sudut 120° dan beban 150 Kp. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan yang digunakan sebagai data pembandingan dari hasil proses laku panas dengan sebelum laku panas serta pegas dalam kondisi baru. Pengujian dilakukan pada daerah grip spesimen uji tarik sebanyak tiga titik dengan jarak 3 mm per titik agar hasil pengujian sesuai. Peralatan uji kekerasan yang digunakan adalah milik Laboratorium Metallurgi Jurusan D3 Teknik Mesin ITS Surabaya.



Gambar 3.16 Daerah Indentasi Uji Kekerasan Material



Gambar 3.17 Alat Uji Kekerasan

3.6 Uji Tarik

Uji tarik dilakukan berdasarkan standar pengujian JIS Z 2201. Mesin uji tarik yang digunakan adalah *Wolfert Tensile-Bending Testing Machine* untuk pengujian setelah proses *quench-temper*. Hasil dari pengujian berupa grafik $P-\Delta L$ yang diperoleh dari mesin uji tarik *Wolfert*, sedangkan pada mesin *Computerize* didapatkan hasil pengujian berupa grafik tegangan-regangan, perpanjangan, kekuatan luluh dan kekuatan tarik pada baja pegas daun.



Gambar 3.18 Spesimen Uji Tarik (a) Sebelum Proses Quench-Temper, (b) Spesimen Uji Tarik Setelah Proses Quench-Temper dan (c) Spesimen Uji Tarik Keadaan Baru



Gambar 3.19 Mesin Uji Tarik

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

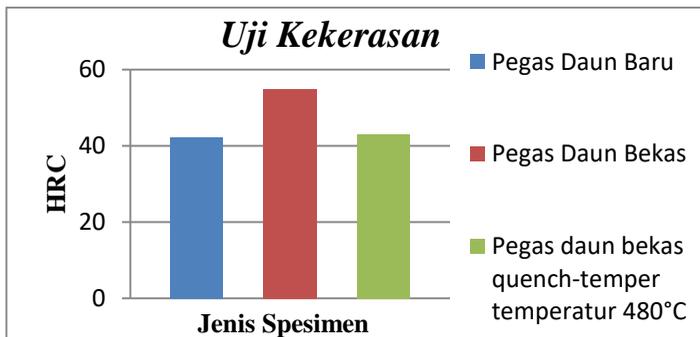
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Kekerasan

Pada pengujian ini menggunakan alat uji kekerasan *Rockwell C*. Pengujian kekerasan ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan sebagai data pembandingan dari pegas daun baru, bekas, dan sudah melalui proses laku panas *quench-temper*.

Tabel 4.1 hasil Uji Kekerasan *Rockwell C* pada Pegas Daun (Baru, Bekas, dan Rekondisi)

Spesimen	Pegas Daun Baru	Pegas Daun Bekas	Pegas Daun Bekas Hasil Rekondisi
	(HRC)	(HRC)	(HRC)
1	43,17	60,1	44,97
2	42,03	50,27	42,43
3	41,53	54,33	41,63
Rata-Rata	42,24	54,9	43,01



Gambar 4.1 Grafik Nilai Kekerasan *Rockwell C* pada Pegas Daun (Baru, Bekas, dan Sesudah *Quench-Temper*)

Berdasarkan tabel 4.1 dari pengujian pada spesimen pegas daun yang baru diperoleh spesimen 1 memiliki nilai kekerasan 43,17 HRC, spesimen 2 memiliki nilai kekerasan 42,03 HRC, dan spesimen 3 memiliki nilai kekerasan 41,53 HRC. Hasil pengujian kekerasan pegas bekas pada spesimen 1 memiliki angka kekerasan sebesar 60,1 HRC, spesimen 2 memiliki angka kekerasan sebesar 50,27 HRC, dan spesimen 3 memiliki angka kekerasan sebesar 54,33 HRC. Hasil uji kekerasan pada baja pegas bekas setelah proses *quench-temper* dengan temperatur 480°C yaitu Spesimen 1 memiliki angka kekerasan sebesar 44,97 HRC, spesimen 2 memiliki 42,43 HRC, dan spesimen 3 memiliki 41,63 HRC.

4.1.1 Pengaruh proses *quench-temper* pada kekerasan baja pegas daun

Dari hasil uji kekerasan pada material pegas daun dapat diperoleh rata-rata nilai kekerasan sebesar 42,24 HRC (394 HBN). Jika dilihat dari standar JIS G 4801-1984 tentang baja pegas, Kekerasan yang pada baja pegas daun baru sudah memenuhi standar. Ini dikarenakan pada baja pegas belum menerima beban, sehingga kekerasan baja pegas tersebut masih baik. Apabila pegas ini digunakan pada kendaraan sudah layak karena nilai kekerasannya memenuhi standar.

Pada spesimen baja pegas daun bekas yang belum melalui proses *quench-temper* mempunyai rata-rata nilai kekerasan yang sangat tinggi, yaitu sebesar 54,9 HRC (558,3 HBN). Jika dibandingkan dengan baja pegas kondisi baru kekerasan pada pegas bekas mengalami kenaikan yang sangat besar. Hal ini bisa dikarenakan pegas sudah mengalami *strain hardening* karena pegas mengalami deformasi plastis. Sehingga baja pegas daun tersebut tidak layak digunakan.

Setelah dilakukan proses *quench-temper* dengan temperatur *tempering* 480°C nilai kekerasan pada baja pegas daun bekas diperoleh nilai kekerasan rata-rata sebesar 43,01 HRC (400,09 HBN) nilai ini turun dari kondisi semula (pegas bekas) yang memiliki kekerasan yang tinggi. Jika disesuaikan dengan standar JIS G 4801 – 1984 SUP 9A, nilai kekerasan hasil rekondisi pegas daun bekas kembali memenuhi standar yaitu sebesar 39,1-45,7 HRC atau sebesar 363-429 HBN.

4.2 Uji Tarik

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik, kekuatan luluh dan elongasi pada spesimen uji pada baja pegas daun SUP 9A pada 3 kondisi (baru, bekas, dan yang telah melalui proses *quench-temper*).



Gambar 4.2 Spesimen Hasil Uji Tarik Pegas Daun Baru

4.2.1 Pengujian tarik pegas daun baru

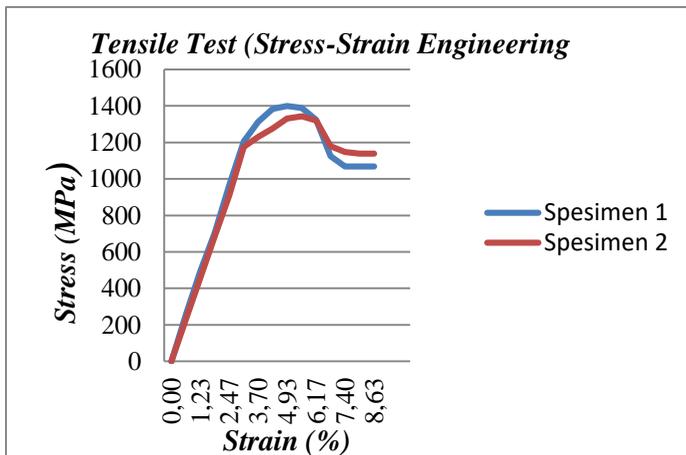
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik yaitu kekuatan *yield*, kekuatan tarik maksimum dan elongasi dari material JIS SUP 9A.

Tabel 4.2 Hasil data Uji Tarik Baja Pegas Baru

No	Tebal	Lebar	A ₀	L ₀	L ₁	F _m	F _y
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)
1	8,9	12,5	112,5	60	65	149	136
2	9	12,5	112,5	60,3	65,8	157	149

Tabel 4.3 Data Hasil pengujian tarik pegas daun baru

Spesimen	Sifat Mekanik Awal	
	Yield Strength	Ultimate Strength
	(MPa)	(MPa)
1	1217,97	1399,37
2	1297,77	1344
3	-	-
Rata-Rata	1257,87	1371,68



Gambar 4.3 Diagram Tegangan-Regangan Teknik Spesimen Baja Pegas Baru

Dari hasil pengujian tarik material baja pegas baru didapatkan sifat mekanik baja pegas daun baru (tabel 4.3). Pada spesimen 1 mempunyai kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 1217,97 MPa, kekuatan tarik (*ultimate strength*) sebesar 1399,37 MPa. Pada spesimen 2 mempunyai kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 1297,77 MPa, kekuatan tarik (*ultimate strength*) sebesar 1344 MPa. sedangkan spesimen 3 mengalami kegagalan karena spesimen putus pada lasan yang digunakan untuk stopper, sehingga data dari spesimen tersebut tidak dibahas. Rata-rata dari spesimen baja pegas daun baru menghasilkan kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 1257,87 MPa, kekuatan tarik (*ultimate strength*) sebesar 1371,68 MPa.

4.2.2 Pengujian Tarik Pegas Daun Bekas

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan elongasi dari baja pegas daun SUP 9A bekas yang belum melalui proses laku panas *quench-temper*.



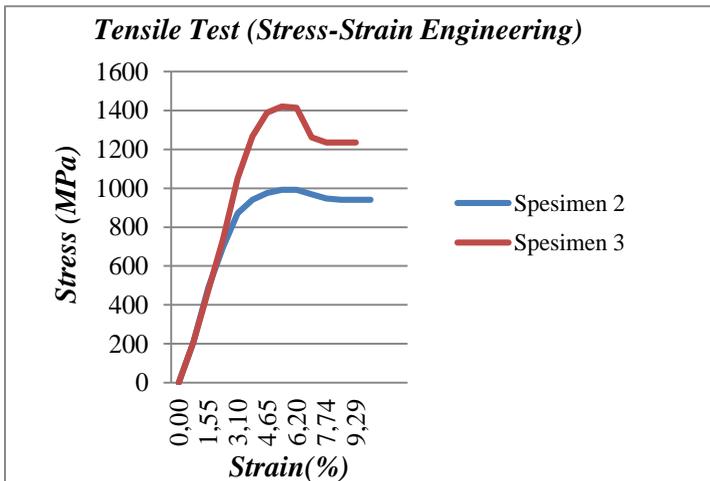
Gambar 4.4 Spesimen Uji Tarik Sebelum *Quench-Temper*

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Tarik dari Pegas Daun Bekas

No	Tebal	Lebar	A ₀	L ₀	L ₁	F _m	F _y
	(mm)	(Mm)	mm ²	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)
2	8,8	12,5	110	59,4	65,38	113	99,5
3	8,8	12,5	110	59,7	64,71	156	143

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Tarik Pegas Daun Bekas Sebelum *Quench-Temper*

Spesimen	Sifat Mekanik Awal	
	Yield Strength	Ultimate Strength
	(MPa)	(MPa)
1	-	-
2	904,54	1027,27
3	1355	1420
Rata-Rata	1129,77	1223,63



Gambar 4.5 Diagram Tegangan-Regangan Teknik dari Spesimen Baja Pegas Bekas

Dari hasil pengujian tarik material baja pegas bekas sebelum proses *quench-temper* didapatkan sifat mekanik seperti pada tabel 4.5. Pada spesimen 2 mempunyai kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 904,54 MPa, kekuatan tarik (*ultimate strength*) sebesar 1027,27 MPa. Untuk spesimen 3 mempunyai kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 1355 MPa, kekuatan tarik (*ultimate strength*) sebesar 1420 MPa. Sedangkan pada spesimen 1 mengalami kegagalan penarikan dikarenakan spesimen putus pada lasan yang digunakan sebagai stopper, sehingga data dari spesimen 1 tidak dibahas.

Rata-rata dari spesimen baja pegas daun baru menghasilkan kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 1129,77 MPa, kekuatan tarik (*ultimate strength*) sebesar 1223,63 MPa.

4.2.3 Pengujian Tarik Pegas Daun Bekas yang Telah Melalui Proses *Quenching-Tempering*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan elongasi dari baja pegas daun SUP 9A bekas yang telah melalui proses laku panas *quench-temper* dengan temperatur tempering 480°C.



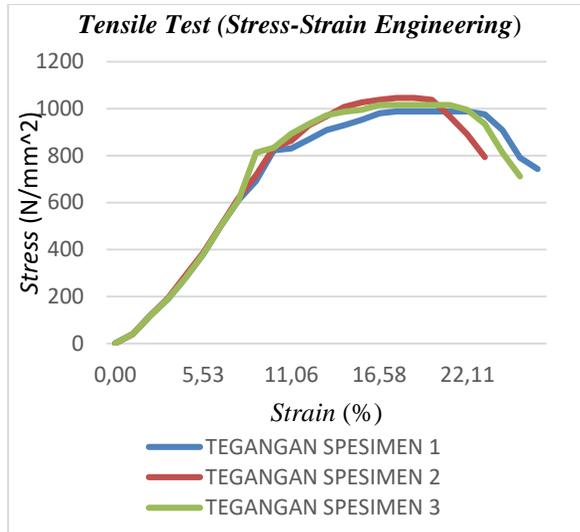
Gambar 4.6 Spesimen Uji Tarik Setelah *Quench-Temper* dengan Temperatur 480°C

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Tarik dari Pegas Daun Bekas yang telah Melalui Proses *Quenching-Tempering* pada Mesin Uji Tarik

No	Tebal	Lebar	A0	L0	L1	Fm	Fy
	Mm	mm	mm ²	mm	mm	kN	kN
1	8,7	12,5	108,75	60,2	72,62	107,5	96,5
2	8,9	12,5	111,25	60	73,93	116,3	104
3	8,7	12,5	108,75	60,1	70,96	110,5	97

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Uji tarik Pegas Daun Bekas Setelah Proses *Quench-Temper*

Spesimen	Sifat Mekanik Awal	
	Yield Strength	Ultimate Strength
	(MPa)	(MPa)
1	830,34	988,50
2	832,94	1046,02
3	812,87	1016,91
Rata-Rata	825,38	1017,14



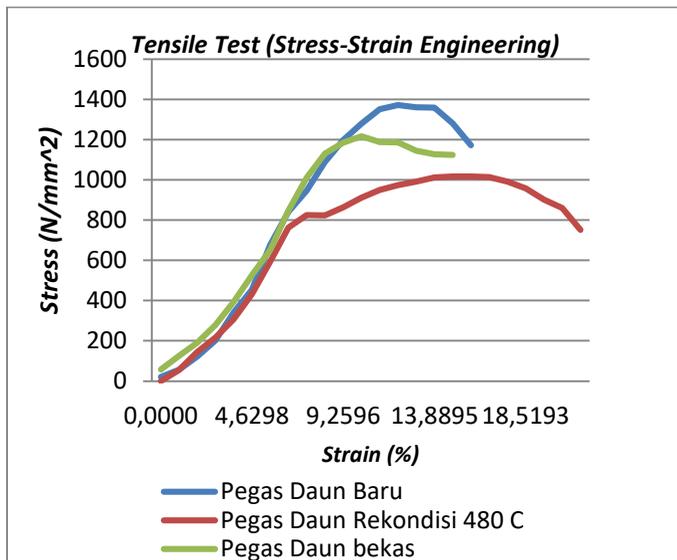
Gambar 4.7 Diagram tegangan-regangan Teknik dari Spesimen Baja Pegas Bekas Setelah *Quench-Temper*

Dari hasil pengujian tarik pada baja pegas bekas yang telah melalui proses laku panas *quenching-tempering* didapatkan data sifat mekanik sesuai pada tabel 4.7 dan untuk spesimen 1 mempunyai kekuatan luluh (*yield strength*) 830,34 MPa dan kekuatan tarik sebesar 988,50 MPa. Sedangkan pada spesimen 2 dapat digambarkan grafik tegangan-regangan teknik pada gambar 4.12 mempunyai kekuatan luluh (*yied strength*) 832,94 MPa dan kekuatan tarik sebesar 1046,02 MPa. Serta pada spesimen 3 dapat digambarkan grafik tegangan-regangan teknik pada gambar 4.13 mempunyai kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 812,87 MPa dan kekuatan tarik sebesar 1016,912 MPa. Rata-rata dari spesimen baja pegas daun baru menghasilkan kekuatan luluh (*yield strength*) sebesar 825,38 MPa, kekuatan tarik (*ultimate strength*) sebesar 1017,14 MPa.

4.2.4 Pengaruh Proses *Quench-Temper* pada Kekuatan Tarik Baja Pegas Daun

Tabel 4.8 Hasil Rata-Rata Uji Tarik Material Baja Pegas Daun (Baru, Bekas, dan Rekondisi *Quench-Temper* 480°C)

Spesimen	Sifat Mekanik		
	Yield Strength	Ultimate Strength	Ductile
	(MPa)	(MPa)	(%)
Baja Pegas Baru	1257,87	1371,46	8,62
Baja Pegas Bekas	1129,77	1223,63	9,75
Baja Pegas Rekondisi	825,38	1017,14	20,85



Gambar 4.8 Grafik Tegangan-Regangan Rata-Rata Pengujian Tarik

Berdasarkan tabel 4.8 dan grafik 4.8 dapat diketahui bahwa material baja pegas daun baru memiliki kekuatan luluh sebesar 1257,87 Mpa dan kekuatan tarik sebesar 1371,68 Mpa. Nilai ini menunjukkan bahwa sifat mekanik pada baja pegas daun baru masih baik dan masih sesuai dengan standar SUP 9A pada JIS G 4801-1984. Kisaran yang ada pada standar adalah kekuatan luluh sebesar 1079 MPa dan kekuatan tarik sebesar 1226 MPa. Hal ini dikarenakan baja pegas daun material baru belum pernah terkena pembebanan apapun dan proses perlakuan panas yang diberikan sesuai.

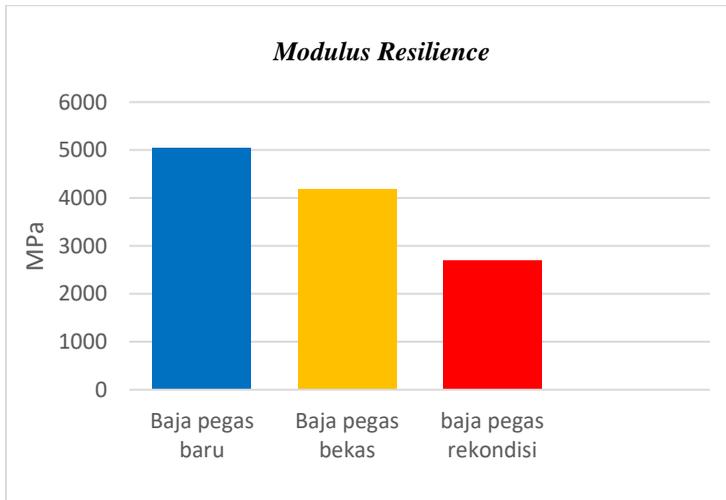
Sedangkan baja pegas daun material bekas yang sudah pernah digunakan sudah mengalami penurunan kekuatan. Kekuatan yang dimiliki baja pegas daun material bekas adalah kekuatan luluh sebesar 1129,77 MPa dan kekuatan tarik sebesar 1223,63 MPa. Penurunan kualitas ini disebabkan oleh pembebanan berulang melewati batas elastis yang terjadi pada baja pegas sehingga terjadi tahanan sisa (*strain hardening*). *Strain hardening* yang terjadi terus diberikan pembebanan akan menyebabkan timbulnya *micro crack*. *Micro crack* ini yang menyebabkan turunya kualitas baja pegas.

Setelah itu pegas material baja pegas material pegas direkondisi dengan metode *Quench-Temper*. Dengan metode ini diharapkan dapat mengembalikan kekuatan luluh dan kekuatan tarik baja pegas daun material bekas. Namun hasil yang diperoleh kekuatan luluh dan kekuatan tarik tidak memenuhi standar SUP 9A pada JIS G 4801-1984. Kekuatan yang dimiliki baja pegas daun setelah direkondisi adalah kekuatan luluh sebesar 825,38 MPa dan kekuatan tarik 1017,14 MPa. Hal ini disebabkan oleh perlakuan panas yang dilakukan hanya dapat menghilangkan tegangan sisa (*strain hardening*), namun tidak dapat menghilangkan *micro crack*.

Untuk melihat apakah baja pegas daun layak digunakan atau tidak dapat dilihat dari *resilience* di bawah ini.

Tabel 4.9 Data *Modulus Resilience* Baja Pegas Daun (Baru, Bekas, dan Rekondisi *Quench-Temper 480°C*)

spesimen	Regangan	Tegangan <i>Yield</i>	<i>Modulus Resilience</i>
	%	MPa	MPa
Baja pegas baru	8,00	1257,87	5031,00
Baja pegas bekas	7,4	1129,77	4180,16
baja pegas rekondisi	6,50	825,38	2682,50



Gambar 4.9 Modulus Resilience Pegas Daun

Dari tabel 4.9 dapat diketahui bahwa pegas daun hasil rekondisi proses *quench-temper* memiliki kemampuan untuk menyerap energi tanpa mengalami deformasi plastis masih berada di bawah pegas daun dengan kondisi baru. Hal diakibatkan oleh ketika pegas bekerja, pegas menerima beban yang melebihi batas luluh pada pegas yang menyebabkan pegas mengalami deformasi plastis (*strain hardening*). Sehingga setelah melalui proses rekondisi efek dari *strain hardening* menurun dan nilai *resilien* turun.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada proses *quench-temper* dan pengaruh terhadap sifat mekanik baja pegas daun, dapat disimpulkan antara lain :

1. Pada material pegas daun setelah mengalami proses *quench-temper* pada temperatur 480°C diperoleh kekerasan sebesar 43,01 HRC (400,09 HBN), kekuatan luluh 825,387 MPa, dan kekuatan tarik 1017,146 MPa.
2. Proses rekondisi tidak dapat mengembalikan sifat mekanik seutuhnya karena kekuatan tarik pegas daun yang telah direkondisi turun lebih dari 10% dari standar baja pegas daun meskipun kekerasan yang diperoleh sudah memenuhi standar baja pegas (JIS G 4801-1984).

5.2 Saran

Saran-saran yang berkenan dengan proses *quench-temper* dalam rekondisi material baja pegas daun yaitu :

1. Pada rekondisi material baja pegas daun bekas perlu diadakan penelitian lanjutan mengenai perbandingan uji kelelahan antara material hasil rekondisi dengan material awal atau pegas daun baru dengan tujuan untuk mengetahui umur pemakaian efektif.
2. Sebelum dilakukan proses rekondisi pada pegas daun bekas disarankan dilakukan pengujian secara *visual* atau dengan *penetrant test* karena apabila pegas daun bekas sudah mengalami keretakan yang cukup parah tidak dapat diperbaiki kekuatannya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ardiyono, Egie. 2016. Pengaruh Perbedaan variasi media Pendingin Terhadap Sifat Mekanik dan Kekerasan material baja Leaf Spring. Tugas Akhir D III Teknik Mesin ITS. Surabaya.
- [2] ASM Handbook, 1991. Atlas of Time Temperature Diagram for Iron and Steels, USA: ASM International.
- [3] Callister, William D., 2007, "*Materials Science and Engineering an Introduction seventh edition*", The University of Utah, USA.
- [4] Chaudari, Mayuri A., 2015, "Design and Analysis of Leaf Spring of Tanker Trailer Suspension System", Department of Mechanical Engg. S.S.V.P.S's B.S.Deore COE Dhule (MS), India.
- [5] Murtiono, Arief., 2012, "*Pengaruh Quenching dan Tempering Terhadap Kekerasan Kekuatan Tarik Serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang Untuk Mata Pisau Pemanen Sawit*", Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik, USU, Sumatera Utara.
- [6] Permana Putra, Daniel., 2009, "*Rekondisi Material Dengan Proses Quench-Temper dan Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Sifat Mekanis Baja Pegas Daun JIS SUP 9A*", Tugas Akhir Teknik Mesin, ITS, Surabaya.
- [7] Setiawan, Indra., Sakti Nur, Muhamad., "*Meningkatkan Mutu Baja SUP 9 Pada Pegas Daun Dengan Proses Perlakuan Panas*", Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- [8] Yamada, Y., 2007, "*Material For Spring*", Springer, New York.

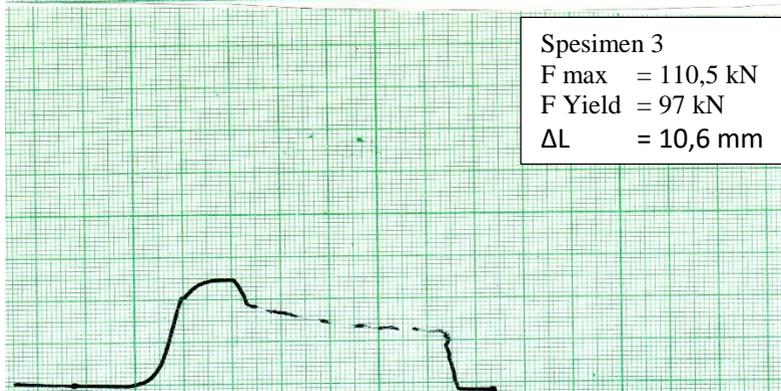
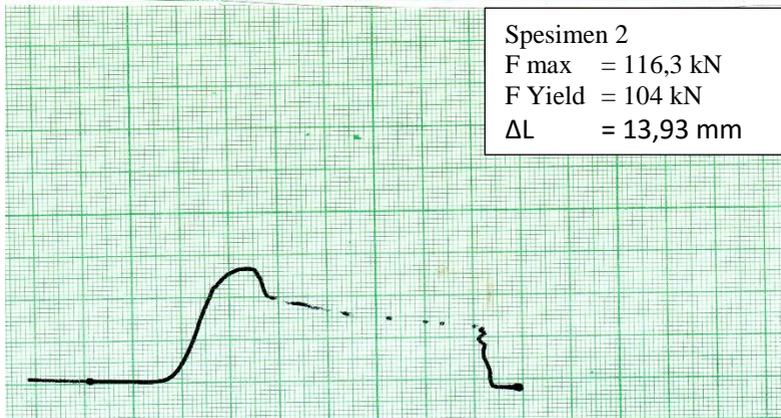
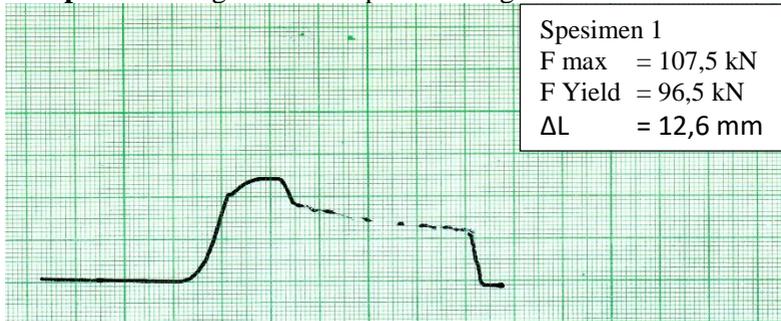
Lampiran 1. Tabel Konversi Nilai kekerasan

Hardness Conversion Table(Referece)						
Rockwell C	Vickers'Hardness	Brinell Hardness		Rockwell Hardness		Shore Hardness
Scale Hardness		Standard Ball	Tungsten	A Scale	B Scale	
Load 1471N			Carbide	Load 588.4N	Load 980.7N	
HRC	HV			Diamond Circular Cone	1/16" Ball	HS
68	940	/	/	85.6	/	97
67	900	/	/	85.0	/	96
66	865	/	/	84.5	/	92
65	832	/	[739]	83.9	/	91
64	800	/	[722]	83.4	/	88
63	772	/	[705]	82.8	/	87
62	746	/	[688]	82.3	/	85
61	720	/	[670]	81.8	/	83
60	697	/	[654]	81.2	/	81
59	674	/	[634]	80.7	/	80
58	653	/	615	80.1	/	78
57	633	/	595	79.6	/	76
56	613	/	577	79.0	/	75
55	595	/	560	78.5	/	74
54	577	/	543	78.0	/	72
53	560	/	525	77.4	/	71
52	544	[500]	512	76.8	/	69
51	528	[487]	496	76.3	/	68
50	513	[475]	481	75.9	/	67
49	498	[464]	469	75.2	/	66
48	484	451	455	74.7	/	64
47	471	442	443	74.1	/	63
46	458	432	432	73.6	/	62
45	446	421	421	73.1	/	60
44	434	409	409	72.5	/	58
43	423	400	400	72.0	/	57
42	412	390	390	71.5	/	56
41	402	381	381	70.9	/	55
40	392	371	371	70.4	/	54
39	382	362	362	69.9	/	52
38	372	353	353	69.4	/	51
37	363	344	344	68.9	/	50
36	354	336	336	68.4	[109.0]	49
35	345	327	327	67.9	[108.5]	48
34	336	319	319	67.4	[108.0]	47
33	327	311	311	66.8	[107.5]	46
32	318	301	301	66.3	[107.0]	44
31	310	294	294	65.8	[106.0]	43
30	302	286	286	65.3	[105.5]	42
29	294	279	279	64.7	[104.5]	41
28	286	271	271	64.3	[104.0]	41
27	279	264	264	63.8	[103.0]	40
26	272	258	258	63.3	[102.5]	38
25	266	253	253	62.8	[101.5]	38
24	260	247	247	62.4	[101.0]	37
23	254	243	243	62.0	[100.0]	36
22	248	237	237	61.5	[99.0]	35
21	243	231	231	61.0	[98.5]	35
20	238	226	226	60.5	[97.8]	34
[18]	230	219	219	/	[96.7]	33
[16]	222	212	212	/	[95.5]	32
[14]	213	203	203	/	[93.9]	31
[12]	204	194	194	/	[92.3]	29
[10]	196	187	187	/	[90.7]	28
[8]	188	179	179	/	[89.5]	27
[6]	180	171	171	/	[87.1]	26
[4]	173	165	165	/	[85.5]	25
[2]	166	158	158	/	[83.5]	24
[0]	160	152	152	/	[81.7]	24

Lampiran 2. Tabel Hasil Uji Kekerasan

Spesimen		Titik Indentasi			Rata-Rata
Kondisi	No,	1	2	3	
		(HRC)	(HRC)	(HRC)	(HRC)
Baru	1	42,3	44,1	43,1	43,17
	2	41,6	42	42,5	42,03
	3	40,1	41,6	42,9	41,53
	Rata-rata Keseluruhan				42,24
Bekas	1	59	60,3	61	60,1
	2	53	45,5	52,3	50,27
	3	57	54,5	51,5	54,33
	Rata-rata Keseluruhan				54,9
Rekondisi	1	45,5	44	45,4	44,97
	2	44	41	42,3	42,43
	3	42,5	42,6	39,8	41,63
	Rata-rata Keseluruhan				43,01

Lampiran 3. Diagram F- Δ L Spesimen Pegas Daun Rekondisi



Lampiran 4. Perhitungan Baja Pegas Rekondisi Spesimen 1

A0		108,75	L0	60,9
no	ΔL (mm)	F (kN)	TEGANGAN (Mpa)	REGANGAN (%)
1	0	0	0	0
2	0,54	4,3	39,540	0,887
3	1,08	7,7	71,172	1,773
4	1,62	12,9	118,621	2,660
5	2,16	20,6	189,793	3,547
6	2,70	30,1	276,782	4,433
7	3,24	43,0	395,402	5,320
8	3,78	58,0	533,793	6,207
9	4,32	75,2	691,954	7,094
10	4,86	89,4	822,437	7,980
11	5,40	90,3	830,345	8,867
12	5,94	96,5	887,356	9,754
13	6,48	98,9	882,786	10,640
14	7,02	101,0	929,195	11,527
15	7,56	103,6	952,920	12,414
16	8,10	106,6	980,598	13,300
17	8,64	107,5	988,506	14,187
18	9,18	107,5	988,506	15,074
19	9,72	107,5	988,506	15,961
20	10,26	107,5	988,506	16,847
21	10,80	107,5	988,506	17,734
22	11,34	106,2	976,644	18,621
23	11,88	98,9	909,425	19,507
24	12,42	86,0	790,805	20,394
25	12,96	80,8	743,356	21,281

Lampiran 5. Perhitungan Baja Pegas Rekondisi Spesimen 2

A0		111,25	L0	60
no	ΔL (mm)	F (kN)	TEGANGAN (Mpa)	REGANGAN (%)
1	0	0	0	0
2	0,663	9,0	81,357	1,110
3	1,327	16,3	147,218	2,210
4	1,990	21,5	193,708	3,320
5	2,653	32,3	290,562	4,420
6	3,317	43,1	387,416	5,530
7	3,980	56,0	503,640	6,630
8	4,643	68,9	619,865	7,740
9	5,306	79,7	716,719	8,840
10	5,970	92,6	832,944	9,950
11	6,633	96,1	863,937	11,060
12	7,296	104,0	934,831	12,160
13	7,960	107,7	968,539	13,270
14	8,623	112,0	1007,281	14,370
15	9,286	114,2	1026,652	15,480
16	9,950	115,5	1038,274	16,580
17	10,613	116,3	1046,022	17,690
18	11,276	116,3	1046,022	18,790
19	11,939	115,5	1038,274	19,900
20	12,603	107,7	968,539	21,000
21	13,266	99,1	891,056	22,110
22	13,929	88,3	794,202	23,220

Lampiran 6. Perhitungan Baja Pegas Rekondisi Spesimen 3

	A0	108,75	L0	60,1
no	ΔL (mm)	F (kN)	TEGANGAN (Mpa)	REGANGAN (%)
1	0	0	0	0
2	0,47	4,4	40,64	0,7
3	0,94	8,8	81,28	1,5
4	1,41	13,7	125,99	2,3
5	1,88	22,1	203,21	3,1
6	2,36	33,1	304,82	3,9
7	2,83	50,8	467,40	4,7
8	3,30	68,5	629,97	5,5
9	3,77	88,4	812,87	6,2
10	4,24	90,6	833,19	7,0
11	4,72	97,0	891,96	7,8
12	5,19	101,6	934,80	8,6
13	5,66	105,6	971,38	9,4
14	6,13	107,4	987,64	10,2
15	6,61	108,2	995,77	11,0
16	7,08	110,5	1016,09	11,7
17	7,55	110,5	1016,09	12,5
18	8,02	110,5	1016,09	13,3
19	8,49	110,5	1016,09	14,1
20	8,97	110,5	1016,09	14,9
21	9,4	108,2	995,77	15,7
22	9,91	101,6	934,80	16,5
23	10,38	88,4	812,87	17,2
24	10,86	77,3	711,26	18,0

Lampiran 7. Diagram F- Δ L Spesimen Pegas Daun Baru

Spesimen 1

F max = 149 kN

F Yield = 136 kN

Δ L = 6 mm

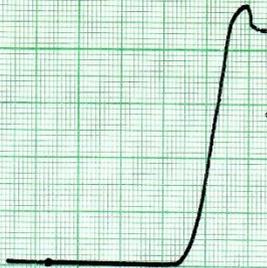


Spesimen 2

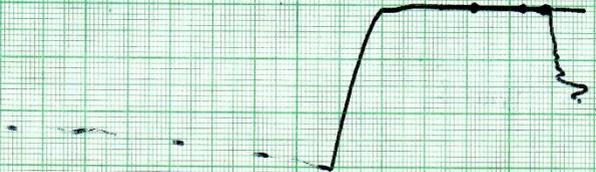
F max = 157 kN

F Yield = 149,0 kN

Δ L = 5,3 mm



Spesimen 3



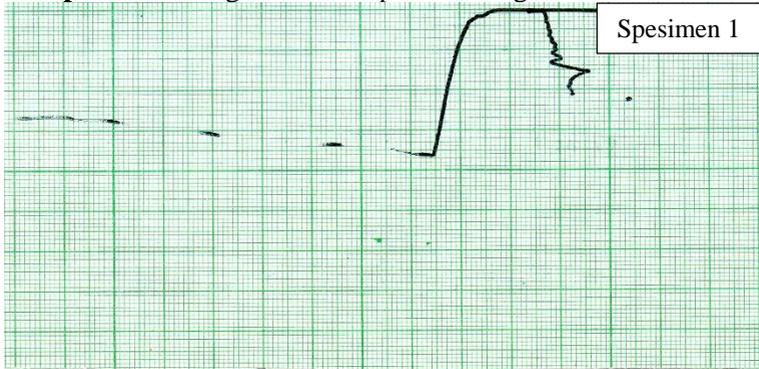
Lampiran 8. Baja Pegas Baru Spesimen 1

A0		112,5	L0	60,3
no	ΔL (mm)	F (kN)	TEGANGAN (Mpa)	REGANGAN (%)
1	0	0	0	0
2	0,22	3,6	32,00	0,4
3	0,45	7,6	67,55	0,8
4	0,68	12,4	110,22	1,1
5	0,90	19,2	170,66	1,5
6	1,13	27,6	245,33	1,9
7	1,36	37,2	330,66	2,3
8	1,58	47,6	423,11	2,6
9	1,81	59,6	529,77	3,0
10	2,04	79,2	704,00	3,4
11	2,27	104,8	931,55	3,8
12	2,49	124,8	1109,33	4,2
13	2,72	130,0	1155,55	4,5
14	2,95	136,0	1217,97	4,9
15	3,17	138,0	1226,66	5,3
16	3,40	144,0	1280,00	5,7
17	3,63	146,0	1297,77	6,1
18	3,85	148,4	1319,11	6,4
19	4,08	149,0	1399,37	6,8
20	4,31	148,4	1319,11	7,2
21	4,5	139,6	1240,88	7,6
22	4,76	132,4	1176,88	7,9
23	4,99	132,0	1173,33	8,3

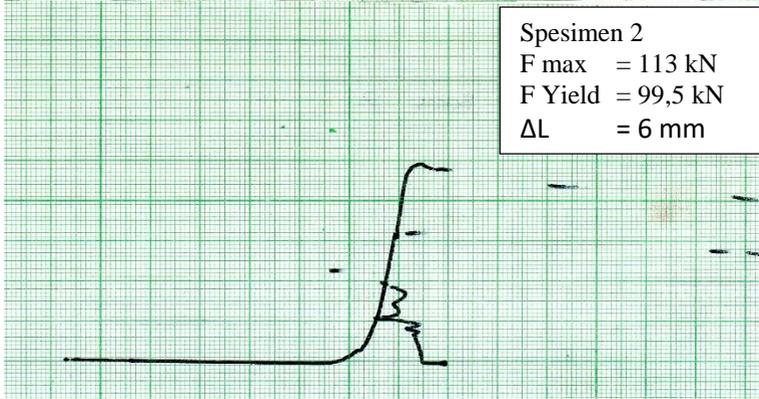
Lampiran 9. Perhitungan Baja Pegas Baru 2

A0		112,5	L0	60
No,	ΔL (mm)	F (KN)	Tegangan (MPa)	Regangan (%)
1	0	0	0	0
2	0,28	0,4	3,52	0,5
3	0,56	4,4	38,73	0,9
4	0,84	14,1	123,23	1,4
5	1,12	23,0	200,69	1,9
6	1,40	45,3	394,33	2,3
7	1,68	72,4	630,23	2,8
8	1,96	99,2	862,61	3,3
9	2,24	132,8	1154,84	3,7
10	2,52	141,7	1232,30	4,2
11	2,80	149,0	1297,77	4,6
12	3,08	153,4	1334,41	5,1
13	3,36	157,0	1344,00	5,6
14	3,64	157,5	1369,61	6,0
15	3,92	153,8	1337,93	6,5
16	4,20	149,4	1299,20	7,0
17	4,48	143,7	1249,90	7,4
18	4,76	129,5	1126,67	7,9
19	5,04	126,3	1098,51	8,4
20	5,32	125,5	1091,47	8,8

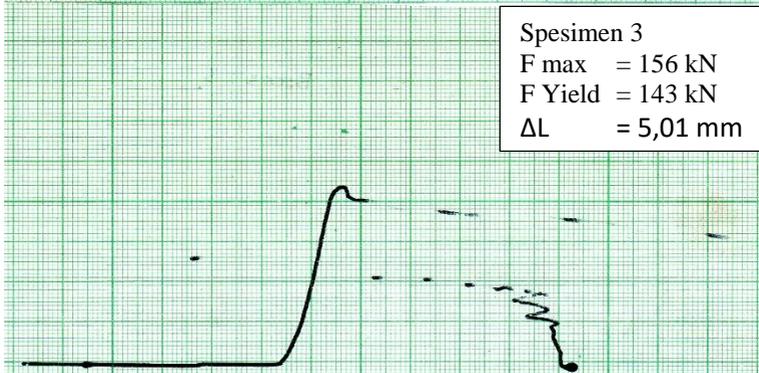
Lampiran 10. Diagram F- Δ L Spesimen Pegas Daun Bekas



Spesimen 1



Spesimen 2
F max = 113 kN
F Yield = 99,5 kN
 ΔL = 6 mm



Spesimen 3
F max = 156 kN
F Yield = 143 kN
 ΔL = 5,01 mm

Lampiran 11. Baja Pegas Bekas Spesimen 2

A0		110	L0	59,4
no	ΔL (mm)	F (kN)	TEGANGAN (Mpa)	REGANGAN (%)
1	0,00	0	0,0	0
2	0,25	0,6	6,16	0,4
3	0,50	0,9	8,21	0,8
4	0,75	1,5	14,38	1,2
5	1,00	2,2	20,54	1,6
6	1,25	4,5	41,09	2,1
7	1,50	6,1	55,47	2,5
8	1,75	8,5	78,07	2,9
9	2,00	11,3	102,72	3,3
10	2,25	15,8	143,81	3,7
11	2,50	22,6	205,45	4,2
12	2,75	31,6	287,63	4,6
13	3,00	45,2	410,90	5,0
14	3,25	58,7	534,18	5,4
15	3,50	74,5	678,00	5,8
16	3,75	88,1	801,27	6,3
17	4,00	99,5	904,54	6,7
18	4,25	108,4	986,18	7,1
19	4,50	110,7	1006,72	7,5
20	4,75	111,8	1017,00	8,0
21	5,00	113,0	1027,27	8,4
22	5,25	113,0	1027,27	8,4
23	5,50	108,4	986,18	9,2
24	5,75	108,4	986,1818	9,6
25	6,00	108,4	986,18	10,1

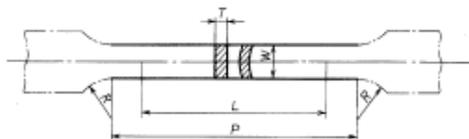
Lampiran 12. Baja Pegas Bekas Spesimen 3

A0		110	L0	59,7
No	ΔL (mm)	F (kN)	TEGANGAN (Mpa)	REGANGAN (%)
1	0,00	0	0	0
2	0,25	1,7	16,13	0,4
3	0,50	8,8	80,68	0,8
4	0,75	17,7	161,36	1,2
5	1,00	26,6	242,04	1,6
6	1,25	41,8	380,81	2,1
7	1,50	74,5	677,72	2,5
8	1,75	95,8	871,36	2,9
9	2,00	117,1	1065,00	3,3
10	2,25	136,6	1242,50	3,7
11	2,51	143,0	1355,00	4,2
12	2,76	154,4	1403,86	4,6
13	3,01	156,0	1420,00	5,0
14	3,26	155,4	1413,54	5,4
15	3,51	145,5	1323,18	5,8
16	3,76	144,1	1310,27	6,2
17	4,01	144,1	1310,27	6,7
18	4,26	144,1	1310,27	7,1
19	4,51	144,1	1310,27	7,5
20	4,76	144,1	1310,27	7,9
21	5,01	144,1	1310,27	8,3

LAMPIRAN 13. Standar Spesimen Uji Tarik JIS Z 2201 No, 14b

10
Z 2201 : 1988

- 2) **No. 14B test piece** The form and dimensions of No. 14B test piece shall conform to Fig. 12.



Unit : mm

Width W	Gauge length L	Parallel length P	Radius of fillet R	Thickness T
$8T$ max.	$5.65\sqrt{A}$	$L+1.5\sqrt{A}$ to $L+2.5\sqrt{A}$	15 min.	Thickness of material

A : cross-sectional area of parallel portion

- Remarks 1 The length of parallel portion shall be so determined that $P = L + 2\sqrt{A}$, as far as practicable.
- 2 In the case of applying No. 14B test piece to the test of tubes, the cross section of parallel portion shall be as cut out of the tube.
- 3 The width of gripped portion of No. 14B test piece may be made the same as that of the parallel portion. In this case, the parallel length shall be $P = L + 3\sqrt{A}$.
- 4 No. 14B test piece, the standard dimensions of which are given in Remarks Table 2, should be used by unifying in every reasonable gauge of sheet width.
- 5 In the case of the materials specified in the International Standard, Remarks Table 1 in 4.2 applies.

Fig. 12 No. 14B test piece

Remarks Table 2 Standard dimensions of 14B test piece

Unit : mm

Plate thickness	Width W	Gauge length L	Parallel length P
Over 5.5 mm up to and incl. 7.5 mm	12.5	50	80
Over 7.5 mm up to and incl. 10 mm		60	
Over 10 mm up to and incl. 13 mm	20	85	130
Over 13 mm up to and incl. 19 mm		100	
Over 19 mm up to and incl. 27 mm	40	170	265
Over 27 mm up to and incl. 40 mm		205	

PROTECTED BY COPYRIGHT

Biodata Penulis



Miftaql Hudha, tempat tanggal lahir Lamongan 17 September 1995, anak kedua dari dua bersaudara, riwayat pendidikan formal yang telah ditempuh; SDN 1 Nogojatisari tahun masuk 2002, kemudian dilanjutkan ke jenjang sekolah menengah pertama, yaitu SMPN 1 Sambeng pada tahun 2008, setelah dinyatakan lulus dari sekolah menengah pertama (SMP), kemudian melanjutkan pendidikan disalah satu sekolah menengah kejuruan di wilayah selatan lamongan, yaitu SMKN 1 Sambeng pada tahun 2011, bidang study yang dipilih adalah Teknik Kendaraan Ringan. Setelah tiga tahun menempuh pendidikan di SMK, pada tahun 2014 penulis melanjutkan tingkat pendidikan ke Diploma 3 ITS, program study yang dipilih adalah D3 Teknik Mesin (sekarang Departemen Teknik Mesin Industri), dan fokus pada bidang Manufaktur. Penulis sempat aktif dibeberapa kegiatan yang diadakan oleh Himpunan Mahasiswa D3 Teknik Mesin, mulai dari pelatihan baik peserta maupun panitia, serta menjadi grader Proses Manufaktur selama satu periode kepengurusan. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi dapat menghubungi E-mail: miftaqlhudha34@gmail.com.