



**TUGAS AKHIR – TM145502**

**PENGARUH WAKTU TEMPERING PADA TEMPERATUR  
160°C DENGAN PROSES QUENCH TEMPER TERHADAP  
KEKERASAN DAN KEKUATAN IMPAK BAJA PEGAS  
DAUN BEKAS SEBAGAI BAHAN PISAU**

**SHAHIN SHOHIBUL AWLIYA'**  
NRP 2114 030 113

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

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





**TUGAS AKHIR  
TM 145502 (MN)**

**PENGARUH WAKTU TEMPERING PADA  
TEMPERATUR 160°C DENGAN PROSES QUENCH  
TEMPER TERHADAP KEKERASAN DAN KEKUATAN  
IMPAK BAJA PEGAS DAUN BEKAS  
SEBAGAI BAHAN PISAU**

**SHAHIN SHOHIBUL AWLIYA'  
NRP. 2114 030 113**

**Dosen Pembimbing  
Ir. Hari Subiyanto, MSc**

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



**FINAL PROJCT  
TM 145208 (MN)**

**THE EFFECT OF TEMPERING TIME AT  
TEMPERATURE 160°C WITH QUENCH TEMPER  
PROCESS TOWARD HARDNESS AND IMPACT  
STRENGTH OF LEAF SPRING STEEL  
AS KNIFE MATERIAL**

**SHAHIN SHOHIBUL AWLIYA'  
NRP. 2114 030 113**

**Counselor Lecturer  
Ir. Hari Subiyanto, M.Sc**

**MECHANICAL ENGINEERING INDUSTRY DEPARTEMENT  
Faculty of Vocationar  
Institute Technology of Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017**

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGARUH WAKTU TEMPERING PADA TEMPERATUR 160°C DENGAN PROSES QUENCH TEMPER TERHADAP KEKERASAN DAN KEKUATAN IMPAK BAJA PEGAS DAUN BEKAS SEBAGAI BAHAN PISAU

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelara Ahli Madya pada Bidang Studi Manufaktur  
Program Studi D-III Departemen Teknik Mesin Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Oleh:

**SHAHIN SHOHIBUL AWLIYA'**  
**NRP. 2114030113**

Disetujui oleh:



Surabaya  
Juli, 2017

**PENGARUH WAKTU TEMPERING PADA  
TEMPERATUR 160°C DENGAN PROSES QUENCH  
TEMPER TERHADAP KEKERASAN DAN KEKUATAN  
IMPAK BAJA PEGAS DAUN BEKAS  
SEBAGAI BAHAN PISAU**

**Nama Mahasiswa** : Shahin Shohibul Awliya'  
**NRP** : 2114030113  
**Jurusan** : Departemen Teknik Mesin Industri  
Fakultas Vokasi – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Hari Subiyanto, MSc

**Abstrak**

*Baja dapat digunakan sebagai bahan berbagai macam produk. Baja pegas daun bekas pun masih bisa dimanfaatkan, seperti sebagai bahan pembuatan pisau. Kualitas dari suatu produk dengan bahan logam tergantung pada proses pembuatannya, yaitu pada proses perlakuan panas yang dilakukan.*

*Proses pengerasan dilakukan pada temperatur austenisasi 850°C, penahanan selama 60 menit, kemudian dilakukan proses quenching menggunakan media oli. Spesimen yang telah dilakukan pengerasan dilanjutkan proses tempering pada temperatur 160°C. Masing-masing diberi penahanan selama 50 menit, 70 menit, dan 90 menit kemudian dilakukan pendinginan udara. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pengujian kekerasan dan pengujian impact.*

*Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan semakin menurun seiring bertambahnya waktu tempering, yaitu 49,2 HRC, 47,4 HRC, 46,42 HRC. Sedangkan impact strength semakin meningkat seiring bertambahnya waktu tempering, yaitu 0,00479 kgm/mm<sup>2</sup>, 0,00565 kgm/mm<sup>2</sup>, dan 0,00686 kgm/mm<sup>2</sup>.*

**Kata kunci** : baja pegas daun, quenching, tempering, holding time.

**THE EFFECT OF TEMPERING TIME AT  
TEMPERATURE 160°C WITH QUENCH TEMPER  
PROCESS TOWARD HARDNESS AND IMPACT  
STRENGTH OF LEAF SPRING STEEL  
AS KNIFE MATERIAL**

**Name** : Shahin Shohibul Awliya'  
**NRP** : 2114030113  
**Department** : Industrial Mechanical Engineering  
Department Faculty of Vocation  
ITS  
**Counselor Lecturer** : Ir. Hari Subiyanto, M.Sc.

**Abstract**

*Steel can be used as various products material. Leaf spring steel can be used too, for knife as example. The quality of metal product depends on its manufacturing process, which is on heating treatment that is used.*

*Hardening process had been done at austenisation temperature 850°C and holding time 60 minutes, then oil cooler had been used as media at quenching process. After hardened, specimens were tempered at temperature 160°C. Each of specimens had been being given holding time for 50, 70, and 90 minutes then were cooled down by the normal temperature air. The test that was done in this study is test of hardness and impact strength.*

*Based on the data in this study, the value of hardness will decrease gradually by the tempering time, its 49,2 HRC, 47,4 HRC, 46,42 HRC. Whereas, the value of impact strength will increase gradually by the tempering time, its 0,00479 kgm/mm<sup>2</sup>, 0,00565 kgm/mm<sup>2</sup>, dan 0,00686 kgm/mm<sup>2</sup>.*

**Keywords** : Leaf Spring Steel, Quenching, Tempering, Holding Time.

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT. Yang telah melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penyusunan Tugas Akhir yang berjudul: **”PENGARUH WAKTU TEMPERING PADA TEMPERATUR 160°C DENGAN PROSES QUENCH TEMPER TERHADAP KEKERASAN DAN KEKUATAN IMPAK BAJA PEGAS DAUN BEKAS SEBAGAI BAHAN PISAU”** dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember untuk bisa lulus.

Dalam penyusunan penelitian ini, penulis berusaha menerapkan ilmu yang didapatkan selama menjalani perkuliahan di Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS. Penulis menyadari bahwa penyusunan ini tidak akan berhasil apabila tanpa ada bimbingan, bantuan, dukungan dan kerjasama dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Hari Subiyanto, MSc, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak memberikan bimbingan, saran, dan motivasi. Sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini tepat waktunya.
2. Bapak Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS. Terima kasih atas segala bantuan dan motivasinya.
3. Bapak Ir. Suhariyanto, MSc selaku koordinator Tugas Akhir.
4. Bapak Ir. Gathot Dwi Winarto, MT selaku dosen wali yang selalu sabar dalam memberikan pengarahan disetiap perwalian
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 Fakultas Vokasi-ITS, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.
7. Kedua orang tua tercinta bapak Drs. Rufian dan ibu Maisaroh serta kakak Femi Khoirul Walad, A.Md. Dan Dwi Putri Miftahus Sa'ada, S.ST yang senantiasa memberikan do'a, restu, dan nasehat.
8. Teman-teman Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi-ITS angkatan 2014, terimakasih atas do'a dan dukungannya, semoga persahabatan dan kebersamaan kita tetap utuh selamanya.
9. Teman-teman laboratorium metalurgi atas kebersamaan, bantuan, dan dukungannya.
10. Akhmad Faisol Nur selaku partner satu bimbingan tugas akhir, yang selalu sabar dan memberikan banyak sekali bantuan.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu, penulis mengharapkan adanya penyempurnaan lebih lanjut oleh pihak yang berkepentingan agar Tugas Akhir ini bisa lebih berkembang.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat .....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	2
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Baja.....	5
2.1.1 Baja Karbon.....	6
2.1.2 Baja Paduan .....	7
2.2 Baja Pegas Daun.....	8
2.3 Sifat yang Diperlukan pada Bahan Pisau .....	10
2.4 Perlakuan Panas.....	11
2.4.1 Laku Panas Kondisi Setimbang .....	12
2.4.2 Laku Panas Kondisi Tidak Setimbang .....	12
2.5 Temperatur Austenisasi .....	13
2.6 Quenching .....	15
2.6.1 Pembentukan Martensit .....	19
2.7 Tempering .....	20
2.7.1 Dekomposisi Martensite .....	22
2.8 Waktu Tahan .....	24
2.9 Pengujian Kekerasan .....	25
2.9.1 Pengujian Kekerasan Rockwell .....	26

2.10 Pengujian Impak.....	28
2.10.1 Metode Charpy .....	29
<b>BAB III METODOLOGI.....</b>	<b>35</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	35
3.2 Persiapan Spesimen .....	38
3.3 Proses Pengerasan .....	38
3.3.1 Proses Pendinginan .....	39
3.3.2 Tempering .....	40
3.4 Pengujian .....	41
3.4.1 Pengujian Kekerasan .....	41
3.4.2 Pengujian Impak .....	43
<b>BAB IV DATA DAN ANALISA HASIL PENELITIAN.....</b>	<b>45</b>
4.1 Material Awal Tanpa Laku Panas .....	45
4.1.1 Uji Kekerasan Material Awal.....	45
4.1.2 Uji Impak Material Awal .....	46
4.2 Laku Panas Pengerasan.....	48
4.2.1 Uji Kekerasan Pengerasan.....	48
4.2.2 Uji Impak Pengerasan.....	50
4.3 Laku Panas Tempering.....	51
4.3.1 Pengujian Kekerasan Tempering .....	52
4.3.1.1 Analisa Pengujian kekerasan .....	53
4.3.2 Pengujian Impak Tempering .....	54
4.3.2.1 Analisa Pengujian Impak.....	56
4.4 Pembahasan .....	58
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>61</b>
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran .....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIODATA PENULIS</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem suspensi <i>leaf spring</i> .....	8
Gambar 2.2 <i>Leaf spring</i> .....	9
Gambar 2.3 Daerah temperatur laku panas .....	12
Gambar 2.4 Diagram Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	14
Gambar 2.5 IT diagram baja dengan kandungan karbon antara 0,56% - 0,64% .....	16
Gambar 2.6 Hubungan antara kadar karbon dalam austenite, jumlah martensit dan kekerasan yang terjadi .....	18
Gambar 2.7 Pengaruh kadar karbon terhadap Ms dan Mf.....	19
Gambar 2.8 Proses quenching dan tempering .....	21
Gambar 2.9 Skema struktur yang terjadi pada Pemanasan martensit pada baja eutektoid.....	22
Gambar 2.10 Pengujian kekerasan Rockwell.....	27
Gambar 2.11 Prinsip Kerja Rockwell.....	28
Gambar 2.12 Pengujian dampak .....	29
Gambar 2.13 Pengujian dampak <i>charpy</i> .....	30
Gambar 2.14 Skema Perhitungan Energy Dampak .....	31
Gambar 2.15 Pola patahan.....	32
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian .....	36
Gambar 3.2 Dimensi spesimen uji dampak .....	37
Gambar 3.3 Dimensi spesimen uji kekerasan.....	37
Gambar 3.4 Baja JIS SUP 9A bekas .....	38
Gambar 3.5 Dapur pemanas / oven .....	38
Gambar 3.6 Proses Perlakuan Panas .....	39
Gambar 3.7 Media pendingin.....	39
Gambar 3.8 Pemasukan spesimen dalam oven.....	40
Gambar 3.9 Pendinginan proses tempering.....	41

Gambar 3.10 Alat uji kekerasan .....	42
Gambar 3.11 Lokasi pengujian kekerasan (titik indentasi) .....	43
Gambar 3.12 Alat uji dampak .....	43
Gambar 3.13 Lokasi penempatan benda uji .....	44
Gambar 4.1 Spesimen uji kekerasan .....	45
Gambar 4.2 Lokasi indentasi.....	45
Gambar 4.3 Spesimen uji dampak .....	47
Gambar 4.4 Dimensi spesimen uji dampak .....	47
Gambar 4.5 Pengaruh waktu <i>tempering</i> terhadap Kekerasan .....	53
Gambar 4.6 pengaruh waktu tempering terhadap <i>Impact Strength</i> .....	56

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 komposisi kimia baja pegas daun .....	9
Tabel 2.2 Perlakuan panas dan sifat mekanik baja pegas Daun .....	13
Tabel 2.3 Skala Uji dan Jenis Indentor Kekerasan <i>Rockwell</i> .....	26
Tabel 2.4 Penelitian Sebelumnya .....	38
Tabel 3.1 Komposisi kimia benda uji .....	38
Tabel 4.1 Hasil uji kekerasan tanpa laku panas.....	46
Tabel 4.2 Hasil uji impak tanpa laku panas.....	47
Tabel 4.3 Hasil uji kekerasan laku panas quenching.....	49
Tabel 4.4 Hasil uji impak <i>quenching</i> .....	51
Tabel 4.5 Hasil uji kekerasan proses <i>tempering</i> .....	52
Tabel 4.6 Hasil pengujian impak proses <i>tempering</i> .....	55
Tabel 4.7 Pola patahan hasil pengujian impak .....	57

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Baja merupakan logam yang banyak digunakan untuk berbagai macam kebutuhan. Seperti alat potong, alat pertanian, alat bangunan, dan alat yang lainnya. Bahkan baja bekas pun masih bisa dimanfaatkan. Salah satu contoh yaitu baja pegas daun bekas yang dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan pisau dapur. Namun sebelum pembuatan produk dari material tersebut perlu adanya perlakuan panas. Karena nantinya pegas daun tersebut akan dimodifikasi pada nilai kekerasannya yang mendukung pada produk-produk yang akan dibuat.

Pada dasarnya kualitas sebuah pisau ditentukan oleh sifat mekaniknya yaitu kekerasan, ketangguhan, ketahanan aus dan sifat tahan korosi. Proses sepuh (*hardening*) dilakukan pandai besi untuk menghasilkan sifat keras pada pisau, nilai kekerasan pisau yang dihasilkan terbilang tinggi. Pada penggunaan pisau tersebut terkadang mengalami keretakan pada sisi tajam pisau setelah terjatuh.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, untuk memperbaiki kualitas sifat mekanik pisau dilakukan perlakuan panas tabahan yaitu *tempering*. Supaya sifat mekanik pisau yang dihasilkan tidak hanya keras namun mempunyai ketangguhan yang lebih baik.

### **1.2 Perumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh waktu penahanan pada *tempering* terhadap variasi waktu penahanan terhadap sifat kekerasan dan ketangguhan baja pegas daun bekas.
2. Bagaimana hasil dari sifat mekanik kekerasan dan ketangguhan yang dihasilkan dari proses *quenching* dan *tempering* yang dilakukan.

### **1.3 Batasan Masalah**

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai penelitian dari masalah yang diangkat dalam tugas akhir ini, maka perlu kiranya diberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Laju pendinginan diasumsikan sama untuk setiap spesimen.
2. Waktu perpindahan spesimen dari dapur pemanas ke media pendingin dianggap sama untuk setiap spesimen.
3. Kondisi bahan diasumsikan homogen untuk setiap spesimen.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian yang dilakukan ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh quench temper yang dilakukan terhadap kekerasan dan kekuatan impak.
2. Mengetahui pengaruh perbedaan waktu tahan pada proses *tempering* yang dilakukan terhadap kekerasan dan kekuatan impak.

### **1.5 Manfaat**

Dari penelitian ini penulis mengharapkan manfaat dengan memberikan kontribusi pada dunia akademis dan serta dunia industrial dari pengaplikasian teori perlakuan panas yang telah dilakukan.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran penjabaran mengenai bagian-bagian penelitian, diantaranya:

## **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan secara singkat tinjauan secara umum mengenai latar belakang, rumusan permasalahan, batasan masalah, tujuan, sistematika penulisan dan manfaat.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini.

## **BAB III METODOLOGI**

Bab ini menjelaskan metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi dan langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

## **BAB IV HASIL DAN ANALISA**

Membahas tentang hasil pengujian diantaranya adalah pengujian kekerasan dan pengujian metalografi.

## **BAB V PENUTUP**

Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisis dan saran-saran penulis dalam penyusunan penelitian.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Berisi tentang referensi-referensi yang terkait dengan materi pembahasan, berupa buku, jurnal tugas akhir terdahulu, maupun website yang dijadikan acuan untuk menyelesaikan penelitian ini.

## **LAMPIRAN**

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Baja**

Baja adalah logam paduan dengan unsur dasar besi (Fe) dan karbon (C). Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,008% hingga 2%, untuk baja yang memiliki kandungan karbon antara 0,008% hingga 0,8% berat maka disebut dengan baja Hypoeutektoid, sedangkan kandungan karbon 0,8% hingga 2% berat disebut dengan baja Hypereutektoid. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon dalam baja adalah mangan (Mn), krom (Cr), dan silikon (Si). Dengan memfariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Fungsi karbon pada baja adalah sebagai unsur penguat (*Hardness*), namun disisi lain membuatnya menjadi getas (*Brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductile*).

Baja merupakan bagian terpenting dalam kehidupan manusia. Seperti peralatan rumah tangga, perkantoran, dan perbengkelan. Didalam mendukung perkembangan teknologi industri, baja berperan dalam hal infrastruktur bangunan dan alat-alat berat. Di dunia kesehatan, baja berperan dalam membantu pasien-pasien yang mengalami patah tulang guna membantu menyambung kembali tulang yang patah tersebut. Dan masih banyak lagi manfaat dari baja.

Baja memiliki sifat mekanik, sifat mekanik suatu bahan adalah kemampuan bahan untuk menahan beban-beban dinamis maupun statis yang dikarenakan padanya dan mempertahankan diri dari gaya-gaya luar yang mempengaruhinya. Berikut beberapa sifat mekanik bahan dijelaskan sebagai berikut:

a. Keuletan (*ductility*)

Adalah suatu sifat dari suatu bahan liat yang mempunyai gaya regangan (*tensile strain*) relatif besar sampai dengan titik kerusakan, yang memungkinkannya dibentuk secara permanen.

b. Ketangguhan (*thoughness*)

Adalah sifat suatu bahan yang menunjukkan besarnya energi yang dibutuhkan untuk mematahkan bahan. Dimana kemampuan bahan ini juga dapat menyerap energi sampai patah.

c. Kekuatan tarik (*tensile test*)

Adalah kekuatan tarik dari suatu bahan ditetapkan dengan membagi gaya maksimum dengan luas penampang mula. Setelah titik luluh, tegangan terus naik dengan berlanjutnya deformasi plastis sampai titik maksimum dan kemudian menurun sampai akhirnya patah.

Berdasarkan komposisi kimia, baja dapat diklasifikasikan menjadi 2 (dua) bagian utama. Baja dengan kandungan unsur karbon saja disebut baja karbon (*plain carbon steel*) dan baja dengan kandungan paduan lebih dari satu unsur disebut baja paduan (*alloy steel*).

### 2.1.1 Baja Karbon

Baja karbon (*plain carbon steel*) adalah paduan dari dua unsur yaitu besi (Fe) dan karbon (C), Dimana besi merupakan unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Jumlah unsur campuran yang lain terlalu kecil untuk mempengaruhi sifatnya. Unsur paduan yang lain yang terdapat dalam baja karbon adalah mangan, silikon, dan tembaga.

Baja dengan kadar karbon rendah (kurang dari 0,1%) mempunyai sifat yang sama seperti besi, lunak tetapi mudah dibentuk. Semakin tinggi kadar karbon dalam baja, maka kekerasan dan kekuatan baja akan semakin tinggi, tetapi keuletannya menurun.

Baja karbon berdasarkan proסתase kadar karbonnya dikelompokkan menjadi 3 macam.

a. baja karbon rendah

kandungan karbon pada baja ini antara 0,10% sampai 0,25%. Karena kadar karbon yang sangat rendah maka baja ini lunak dan tentu saja tidak dapat

dikeraskan, dapat ditempa, mudah dilas, dan dapat dikeraskan permukaannya (*case hardening*). Biasanya digunakan untuk konstruksi jembatan, kerangka kereta, bodi mobil, bangunan, dan lain sebagainya.

b. baja karbon menengah

kandungan karbon pada baja ini antara 0.25% sampai 0.55%. Baja jenis ini dapat dikeraskan dan di *tempering*, dapat dilas dan mudah dikerjakan pada mesin dengan baik. Biasanya digunakan untuk poros atau as, engkol dan sparepart lainnya.

c. baja karbon tinggi.

Kandungan karbon pada baja ini antara 0.55 sampai 0.70%. karena kadar karbon yang tinggi maka baja ini lebih mudah dan cepat dikeraskan daripada yang lainnya.

### 2.1.2 Baja Paduan

Baja paduan didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran lainnya yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki seperti seperti sifat kekuatan, kekerasan dan keuletan.

Baja paduan merupakan suatu baja karbon yang telah ditambahkan satu atau lebih unsur-unsur tambahan kedalamnya untuk menghasilkan sifat-sifat yang dikehendaki, yang tidak dimiliki oleh baja karbon. Logam paduan yang umumnya digunakan adalah nikel, mangan dan *chrom*. Berdasarkan kadar paduannya, baja paduan dibagi menjadi tiga macam yaitu:

a. Baja paduan rendah (*low alloy steel*)

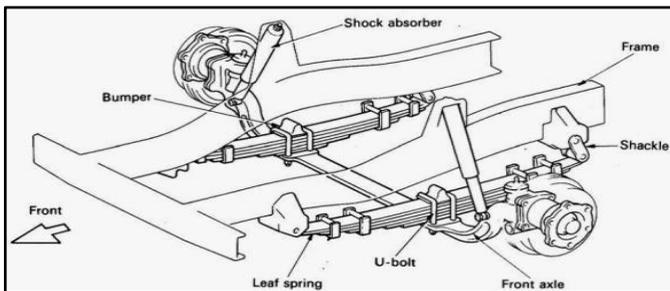
Baja paduan rendah merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan rendah. Biasanya baja jenis ini memiliki paduan kurang dari 10%. Baja ini biasanya digunakan untuk perkakas seperti pahat kayu, poros, dan gergaji.

- b. Baja paduan menengah (*medium alloy steel*)  
Baja paduan menengah merupakan baja dengan paduan elemen 2,5% - 10%. Adapun unsur-unsur yang terdapat pada baja tersebut misalnya seperti unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain.
- c. Baja paduan tinggi (*high alloy steel*)  
Baja paduan tinggi merupakan baja paduan dengan kadar unsur paduan lebih dari 10% wt. Adapun unsur-unsur yang terdapat pada baja tersebut misalnya unsur Cr, Mn, S, Si, P

## 2.2 Baja Pegas-Daun

Pegas adalah benda elastis yang digunakan untuk menyimpan energi mekanis. Pegas biasanya terbuat dari baja. Pegas juga ditemukan di sistem suspensi mobil. Adapun fungsi pegas adalah memberikan gaya, melunakan tumbukan dengan memanfaatkan sifat elastisitas bahannya, menyerap dan menyimpan energy dalam waktu yang singkat dan mengeluarkan kembali dalam jangka waktu yang lama, serta mengurangi getaran.

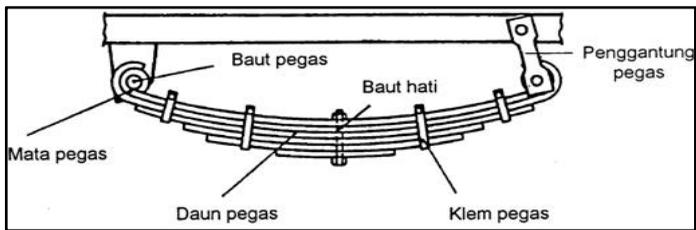
Pembuatan baja pegas harus melewati beberapa proses salah satunya adalah proses *heat treatment*. Proses *heat treatment* dilakukan untuk memberikan sifat mekanik yang diinginkan seperti kekuatan tarik, ketangguhan, keuletan dan kekerasan untuk dijadikan baja pegas.



**Gambar 2.1** Sistem suspensi *leaf spring*

Baja pegas daun (*Leaf spring*) adalah jenis spring yang paling sederhana konstruksinya dan kekuatannya dapat ditambah atau dikurangi. Baja pegas daun dikenal sebagai baja pelat datar yang dibuat melengkung. *Leaf spring* terdiri dari beberapa lembar spring yang diikat menjadi satu, sehingga dapat ditambah atau dikurangi. Semakin banyak jumlah lembar spring, semakin kuat daya lenturnya. Hal ini juga dipengaruhi oleh tebal, lebar, dan panjang spring.

Leaf spring terbuat dari bahan *special steel alloy*. Tegangan pegas daun (*leaf spring*) terjadi pada ujung yang di jepit, pegas daun diharapkan terdefleksi secara teratur pada saat menerima beban lunak (konstanta pegas kecil) diperlukan, maka dibuat dengan keadaan memadai.



**Gambar 2.2** *Leaf spring*

Baja pegas daun (JIS SUP 9A) memiliki kandungan karbon antara 0,56% sampai 0,64% dan harga kekerasan *rockwell* antara 39 HRC sampai 46 HRC. Komposisi kimia dari baja pegas-daun (JIS SUP 9A) dapat di lihat pada tabel 2.1

**Tabel 2.1** komposisi kimia baja pegas daun [1]

Designation Of grade	C	Si	Mn	P <sup>(1)</sup>	S <sup>(1)</sup>	Cr	Mo	V	B
SUP 6	0,56 To 0,64	1,50 To 1,80	0,70 To 1,00	0,030 Max.	0,030 Max.	-	-	-	-
SUP 7	0,56 To 0,64	1,80 To 2,20	0,70 To 1,00	0,030 Max.	0,030 Max.	-	-	-	-

SUP 9	0,52 To 0,64	0,15 To 0,35	0,70 To 1,00	0,030 Max.	0,030 Max.	0,65 To 0,95	-	-	-
SUP 9A	0,56 To 0,64	0,15 To 0,35	0,70 To 1,00	0,030 Max.	0,030 Max.	0,70 To 1,00	-	-	-
SUP 10	0,47 To 0,55	0,15 To 0,35	0,65 To 0,95	0,030 Max.	0,030 Max.	0,80 To 1,10	-	0,15 To 0,25	-
SUP 11A	0,56 To 0,64	0,15 To 0,35	0,70 To 1,00	0,030 Max.	0,030 Max.	0,70 To 1,00	-	-	0,00 05 Min.
SUP 12	0,51 To 0,59	1,20 To 1,60	0,60 To 0,90	0,30 Max.	0,30 Max.	0,60 To 0,90	-	-	-
SUP 13	0,56 To 0,64	0,15 To 0,35	0,70 To 1,00	0,030 max.	0,030 max.	0,70 To 0,90	0,25 To 0,35	-	-

### 2.3 Sifat yang Diperlukan pada Bahan Pisau

Sifat pada bahan pisau yang utama ada empat macam antara lain:

- a. Kekerasan adalah ketahanan suatu material terhadap adanya deformasi. Kekerasan pada pisau paling sering diukur dengan menggunakan pengujian kekerasan *Rockwell C*. Pengerasan pisau umumnya sekitar 55-62 HRC.
- b. Ketangguhan sebagaimana yang telah dipertimbangkan, untuk pisau yang mempunyai nilai kekerasan yang tinggi pisau relatif mudah rusak, *chipping*, atau retak terhadap pengaruh beban kejut atau tegangan. Ketangguhan dalam pisau dapat dianggap berlawanan dari kerapuhan (*brittle*). Pengujian ketangguhan pada pisau memang tidak standar seperti pengujian kekerasan. Pengujian ketangguhan yang umum meliputi uji impak dan uji patahan impak.
- c. Ketahanan aus adalah kemampuan material untuk tahan dari abrasi akibat kontak dengan material yang lain. Ketahanan aus dipengaruhi oleh tingkat kekerasan dan komposisi kimia dari material pisau tersebut.
- d. Ketahanan korosi adalah kemampuan suatu material pisau untuk tahan dari kelembaban yang tinggi, basah, atau

lingkungan yang mengandung garam sehingga mengakibatkan korosi pada pisau.

## **2.4 Perlakuan Panas**

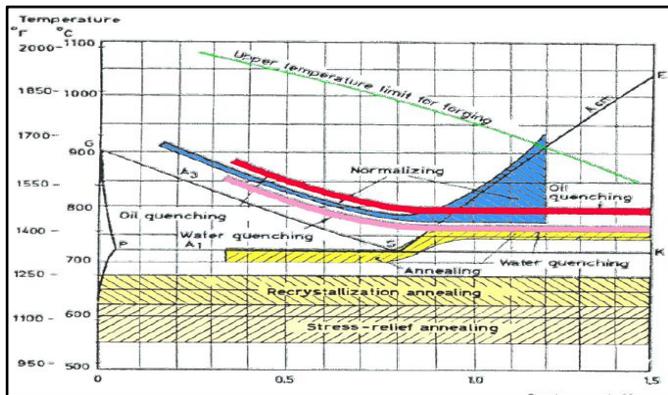
Perlakuan panas adalah kombinasi pemanasan dan pendinginan yang dilakukan terhadap paduan logam untuk memperoleh suatu sifat tertentu. Dilakukan dengan cara mengubah struktur mikro melalui proses pemanasan, waktu penahanan, dan pengaturan kecepatan pendinginan yang dilakukan terhadap material dalam keadaan padat dengan atau tanpa merubah komposisi kimia material yang bersangkutan. Perlakuan panas dilakukan untuk menaikkan kekuatan dan kekerasan atau menaikkan keuletan dan ketangguhan.

Proses laku panas pada baja pada umumnya akan melibatkan transformasi atau dekomposisi austenit inilah yang akan menentukan sifat fisik dan mekanik baja yang mengalami proses laku panas. Selama pemanasan yang biasa dilakukan hingga mencapai daerah austenit, baja akan mengalami transformasi fase akan terbentuk austenit. 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 membentuk struktur mikro yang berbeda. Tentunya sifat mekaniknyapun akan berbeda pula.

Selama pemanasan yang biasa dilakukan hingga mencapai daerah austenit, baja akan mengalami transformasi fase, akan terbentuk austenite. Proses perlakuan panas dapat *dibedakan* menjadi dua, yaitu laku panas kondisi setimbang (*equilibrium*) dan laku panas kondisi tidak setimbang (*non-equilibrium*). Laku panas kondisi setimbang untuk menaikkan sifat keuletan atau ketangguhan, sedangkan laku panas kondisi tidak setimbang untuk menaikkan kekuatan/kekerasan.

### 2.4.1 Laku Panas Kondisi Setimbang

Tujuan umum dari perlakuan panas jenis kondisi setimbang (*Equilibrium*) ini diantaranya adalah untuk melunakkan struktur kristal, menghaluskan butir, menghilangkan tegangan dalam dan memperbaiki *machineability*. Jenis dari perlakuan panas *Equilibrium*, misalnya : *Full Annealing (annealing)*, *Stress relief Annealing*, *Process annealing*, *Spheroidizing*, *Normalizing* dan *Homogenizing*.



**Gambar 2.3** Daerah Temperatur Laku Panas [4]

### 2.4.2 Laku Panas Kondisi Tidak Setimbang

Tujuan umum dari perlakuan panas jenis kondisi tidak setimbang (*Non Equilibrium*) ini adalah untuk mendapatkan kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi. Jenis dari perlakuan panas *Non Equilibrium*, misalnya *Hardening*, *Martempering*, *Austempering*, *Surface Hardening (Carburizing, Nitriding, Cyaniding, Flame hardening, Induction hardening)*.

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 atau dekomposisi tidak cukup.

## 2.5 Temperatur Austenisasi

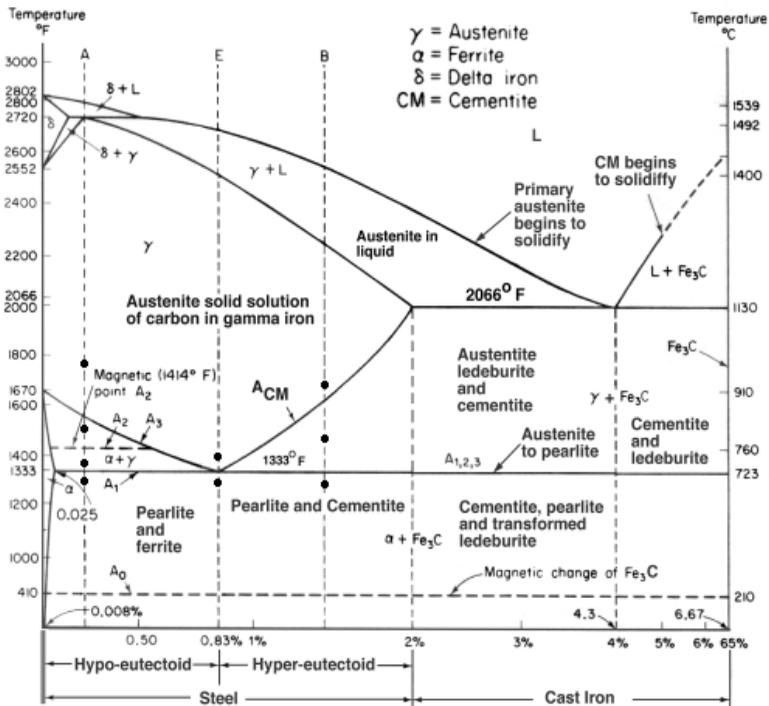
*Austenisasi* adalah proses pengerasan baja dengan cara melakukan perlakuan panas untuk membentuk *struktur martensite*. Proses *austenisasi* dilakukan dengan memanaskan baja (*heating*) sampai mencapai temperatur *austenit*, kemudian dipertahankan hingga memperoleh *austenit* yang homogen, dan didinginkan cepat (*quenching*) ke dalam suatu media pendingin.

Proses ini berguna untuk memperbaiki kekerasan dari baja tanpa mengubah komposisi kimia secara keseluruhan. Temperatur austenisasi yang dianjurkan untuk melakukan proses pengerasan (*hardening*) adalah 25-50°C diatas temperatur kritis  $A_3$  untuk baja hypoeutectoid dan pada baja hypereutectoid adalah 25-50°C diatas temperatur kritis  $A_1$ . Temperatur pemanasan yang dilakukan dibawah temperatur eutectoid tidak akan menghasilkan kenaikan kekerasan yang berarti, karena pada pemanasan tersebut tidak mencapai temperatur austenisasi sehingga pada saat pendinginan tidak akan diperoleh martensit.

Pada baja paduan daerah temperatur *hardening* dapat diperoleh dari beberapa literatur dan juga standarisasi. Temperatur austenisasi baja pegas JIS SUP 9A dapat dilihat pada tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Perlakuan panas dan sifat mekanik baja pegas daun[1]

Steel grade	Heat treatment		Mechanical properties				
	Quench (C°)	Temper (C°)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	El. %		Hardness HB
					JIS No. 4 or No. 7	JIS No. 4	
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



**Gambar 2.4** Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C [2]

Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa interstisial (*interstitial compound*), eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah (sebagai grafit). Diagram keseimbangan sistem paduan besi-karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian yang digunakan yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa interstisialnya. Karbida besi Fe<sub>3</sub>C yang mengandung berat 6,67% C. Secara garis besar sistem paduan besi-karbon dapat dibedakan menjadi dua yaitu baja dan besi tuang (*cast iron*).

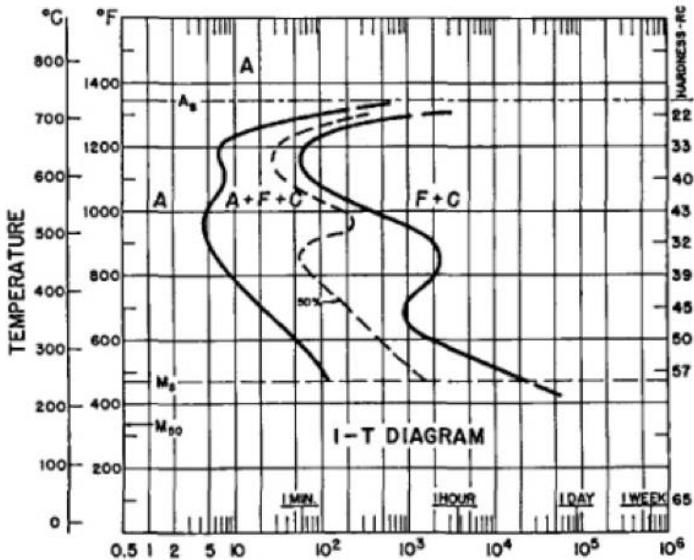
Kekerasan yang optimal dapat tercapai dengan pemanasan seperti yang dianjurkan diatas, karena yang dapat bertransformasi menjadi martensit hanya *austenit*. Bila pemansan diteruskan ke temperatur yang lebih tinggi lagi, maka akan diperoleh austenit dengan butiran yang terlalu kasar, sehingga bila didinginkan kembali akan ada kemungkinan terjadi struktur yang terlalu getas dan juga tegangan yang terlalu besar yang dapat menyebabkan terjadinya distorsi bahkan dapat terjadi retak.

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.

## 2.6 Quenching

Quenching adalah system pendinginan produk baja secara cepat dengan pencelupan serta perendaman produk yang masih panas kedalam media air atau oli. Pada waktu pendinginan yang cepat pada fase austenit tidak sempat berubah menjadi ferit atau perlit karena tidak ada kesempatan bagi atom-atom karbon yang telah larut dalam austenit untuk mengadakan pergerakan difusi dan bentuk sementit oleh karena itu terjadi fase martensit, ini berupa fase yang sangat keras dan bergantung pada keadaan karbon.

Dalam proses quenching selain memperhatikan media pendingin, yang haus diperhatikan adalah volume dari media pendingin tersebut. Jika volume media pendingin kecil atau sedikit, maka proses pendinginan kurang maksimal. Struktur martensit dapat diperoleh jika laju pendinginan dapat mencapai *critical cooling rate* (CCR). *Diagram transformasi isothermal* pada gambar 2.5 menunjukkan dimulainya transformasi austenit sampai menjadi martensit.



**Gambar 2.5** IT diagram baja dengan kandungan karbon antara 0,56% - 0,64% [3]

Proses *quenching* bertujuan untuk mengeraskan suatu material dengan melakukan pemanasan logam hingga mencapai temperatur austenit kemudian ditahan pada temperatur tersebut selama beberapa waktu dengan tujuan untuk menghomogenkan austenit tersebut, dari proses tersebut kemudian dilanjutkan dengan proses pendinginan cepat (*quenching*) yang dilakukan pada logam dengan mencelupkan baja ke dalam media pendingin sehingga sifat kekerasan baja dapat tercapai. Pada perlakuan *quenching* ini terjadi percepatan pendinginan dari temperatur akhir perlakuan dan mengalami perubahan dari austenit menjadi martensite untuk menghasilkan kekerasan yang tinggi.

Quenching baja hypoeutektoid akan menyebabkan terjadinya overheating. Overheating dalam hardening akan menghasilkan butir martensit kasar yang mempunyai kerapuhan yang tinggi. Proses ini sangat dipengaruhi oleh parameter tertentu seperti :

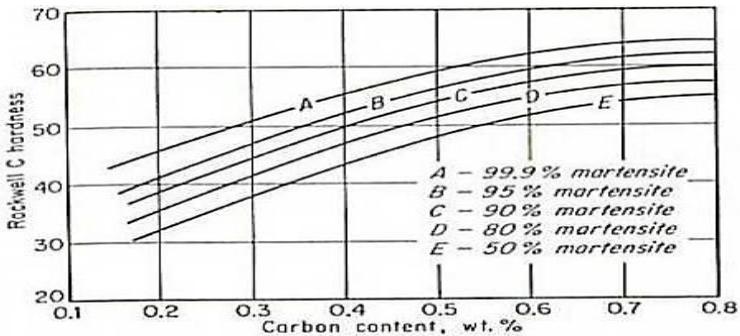
- a. Temperatur pemanasan  
Yaitu temperatur austenisasi yang dikehendaki agar dicapai transformasi yang seragam pada material. Temperatur harus sampai fase austenit agar sifat dari baja bisa berubah.
- b. Waktu pemanasan  
Yaitu lamanya waktu yang diperlukan untuk mencapai temperatur pemanasan tertentu (temperatur austenisasi)
- c. Waktu penahanan  
Yaitu lamanya waktu yang diperlukan agar didapatkan distribusi temperatur yang seragam pada benda kerja. Waktu pemanasan ini merupakan fungsi dari dimensi dan daya hantar panas benda kerja.

Struktur martensit bisa diperoleh apabila mencapai temperatur martensit awal dan selesai bertransformasi pada martensit akhir. Diketahui bahwa untuk mendapatkan struktur martensit melalui proses pengerasan bisa menggunakan media *quenching* air atau oli. Pada pendinginan yang sangat lambat akan menghasilkan perlit kasar (*coarse pearlite*). Pada pendinginan yang lebih cepat akan menghasilkan perlite halus (*fine pearlite*). Perlit terbentuk karena pada saat pendinginan spesimen tidak melewati fasa martensit awal dan martensit akhir.

Namun pada pendinginan cepat media air atau oli fasa yang terbentuk adalah martensit. Dan apabila laju pendinginan tidak memotong garis martensit akhir maka fasa yang terbentuk adalah martensit dan austenite sisa. Pada baja hyper eutektoid juga terbentuk tiga, fasa sama seperti pada baja eutektoid. Tetapi pada baja hyper eutektoid waktu yang dibutuhkan lebih lama.

Dalam melakukan kekerasan dengan pembentukan martensit, asalkan pada pendinginan kritis (CCR) maka kekerasan yang terjadi pada dasarnya tergantung pada karbon dari baja itu (dari austenit pada saat pemanasan). Bila laju pendinginan yang terjadi pada benda kerja lebih lambat dari laju pendinginan kritis

(laju pendinginan kritis tidak tercapai) maka jumlah martensit yang terbentuk akan berkurang. Hubungan antara kekerasan (setelah quenching) dengan kadar karbon (dalam austenite) dan jumlah martensit yang terbentuk. Prosentase austenite sisa yang terbentuk juga dipengaruhi oleh kadar karbon, prosentase austenite sisa yang dihasilkan juga semakin tinggi.



**Gambar 2.6** Hubungan antara kadar karbon dalam austenite, jumlah martensit dan kekerasan yang terjadi [2]

Austenit berubah menjadi martensit dimulai pada temperatur martensit start ( $M_s$ ) dan terus berubah hingga temperatur martensit finish ( $M_f$ ) walaupun pada  $M_f$  masih ditemukan austenit sisa. Temperatur  $M_s$  dan  $M_f$  dipengaruhi oleh konsentrasi karbon, elemen paduan yang ada dan segregasi paduan pada proses solidifikasi. Temperatur  $M_s$  dapat diperkirakan berdasarkan komposisi kimia yang ada dengan persamaan sebagai berikut:  $M_s (^{\circ}f) = 1000 - (650 \times \% C) - (70 \times \% Mn) - (35 \times \% Ni) - (70 \times \% Cr) - (50 \times \% Mo)$

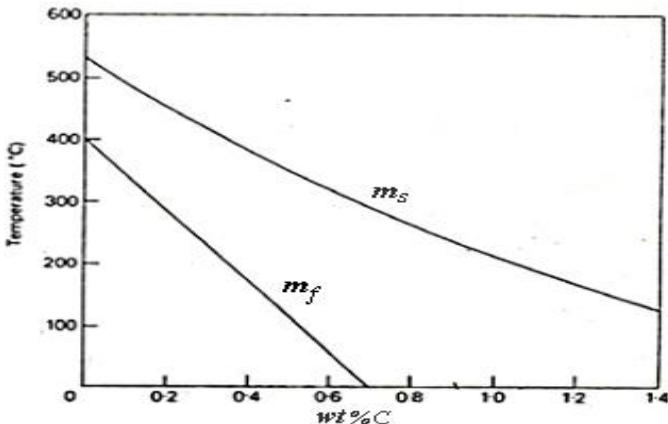
Pengaruh kandungan karbon dalam menentukan temperatur mulai terbentuknya martensit ( $M_s$ ) hingga temperatur akhir pembentukan martensit ( $M_f$ ) sangatlah penting seperti yang dilihat pada gambar 2.7.

Atom karbon akan senantiasa berdifusi keluar untuk mendapatkan keadaan yang lebih stabil oleh karena itu martensit merupakan mikrostruktur yang metastabil. Dengan menaikkan

temperatur martensit akan lebih mudah berdekomposisi untuk mendapatkan keadaan yang lebih stabil menjadi martensit temper melalui transformasi isothermal proses penemperan yang kondisi penemperannya ditentukan oleh keseimbangan antara kekerasan dan ketangguhan yang dibutuhkan.

### 2.6.1 Pembentukan Martensit

Pendinginan cepat yang terjadi pada saat proses quenching menyebabkan karbon di dalam *austenite* tidak dapat berdifusi, hal ini menyebabkan atom terjebak di dalam *ferrite*. Kelarutan karbon didalam ferrite lebih rendah dibandingkan dengan kelarutan karbon di dalam austenit, maka karbon yang seharusnya keluar akan terperangkap, karena temperatur sudah terlalu rendah sehingga tidak ada energi untuk berdifusi keluar.



**Gambar 2.7** Pengaruh kadar karbon terhadap Ms dan Mf [2]

Pada gambar 2.6 di jelaskan bahwa kekerasan martensit tergantung kadar karbon, semakin tinggi kadar karbon maka kekerasan martensit akan semakin tinggi. Semakin tinggi kadar karbon *martensite start* (Ms) dan *martensite finish* (Mf) akan semakin turun. Sehingga pada

temperatur kamar akan menghasilkan austenit sisa (*retained austenite*) yang akan mengurangi kekerasan martensit. Austenit sisa terbentuk karena pada saat pendinginan selesai pada temperatur kamar, ada austenite yang belum selesai bertransformasi menjadi martensit.

## 2.7 *Tempering*

Baja yang dikeraskan dan menghasikan struktur *martensite* pada kondisi setelah di-*quenching* biasanya sangat getas, sehingga tidak cukup baik untuk berbagai pemakaian. Pembentukan *martensite* juga meninggalkan tegangan sisa yang sangat tinggi, oleh karena itu pada umumnya setelah proses pengerasan atau *hardening* biasanya diikuti dengan proses pemanasan kembali atau *tempering*.

Perlakuan untuk menghilangkan tegangan dalam dan menguatkan baja dari kerapuhan disebut dengan *tempering*. *Tempering* didefinisikan sebagai proses pemanasan logam (dibawah suhu kritis) setelah dikeraskan yang dilanjutkan dengan proses pendinginan.

Baja yang dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan, melalui proses *tempering* kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun pula sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Proses *tempering* terdiri dari pemanasan kembali dari baja yang dikeraskan pada suhu dibawah suhu kritis, dan disusul dengan pendinginan lambat. Meskipun proses ini menghasilkan baja yang lebih lunak, proses ini berbeda dengan proses anil (*annealing*) karena disini sifat-sifat fisis dapat dikendalikan dengan cermat. Struktur akhir hasil *tempering* baja yang dikeraskan disebut *martensit temper*.

Menurut tujuannya proses *tempering* dibedakan sebagai berikut:

1. *Tempering* pada suhu rendah (150°-300°C).  
*Tempering* ini hanya untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan kerapuhan dari baja,

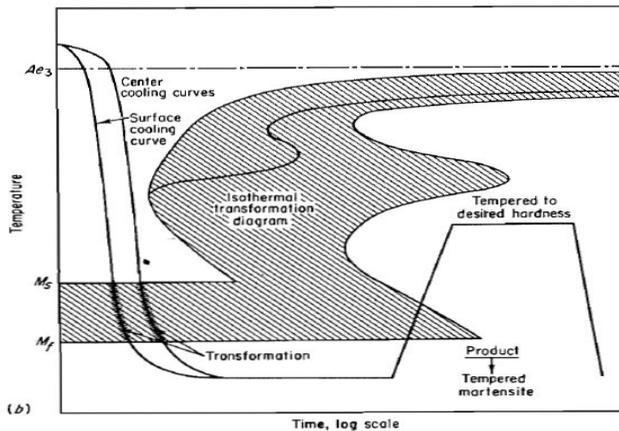
biasanya untuk alat-alat potong, mata bor dan sebagainya.

2. Tempering pada suhu menengah ( $300^{\circ}$ - $550^{\circ}$ C).

Tempering pada suhu sedang bertujuan untuk menambahkan keuletan dan kekerasannya sedikit berkurang. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya palu, pahat, dan pegas.

3. Tempering pada suhu tinggi ( $550^{\circ}$ - $650^{\circ}$ C).

Tempering pada suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah misalnya pada roda gigi, poros batang penggerak dan sebagainya.



**Gambar 2.8** Proses quenching dan tempering [2]

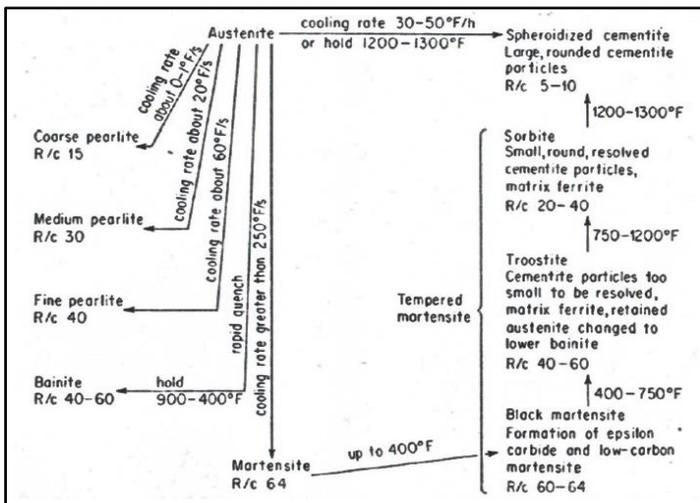
Dari gambar 2.8 dijelaskan bahwa proses *tempering* dilakukan dengan memanaskan kembali baja yang telah dikeraskan pada temperatur di bawah temperatur kritis bawah ( $A_1$ ), kemudian ditahan beberapa saat pada temperatur tertentu, selanjutnya didinginkan kembali. Dari proses *tempering* tentunya banyak energi yang disalurkan tidak hanya tergantung pada

temperatur tetapi juga pada waktu penahanan (*holding time*), pada gambar tersebut dilakukan *holding time* yang sama yaitu selama 1 jam. Semua hasil transformasi *martensite* disebut *martensite temper*.

### 2.7.1 Dekomposisi *Martensite*

Pemanasan kembali pada proses *tempering* mengakibatkan *martensite* yang merupakan suatu struktur metastabil berupa larutan padat *supersaturated* dimana karbon yang terperangkap dalam struktur BCT akan mulai keluar berpresipitasi membentuk karbida besi dan juga tumbuh menjadi *spheroidal cementite* ketika temperatur semakin dinaikkan.

Tegangan didalam struktur BCT akan berkurang akibat keluarnya karbon dan pertumbuhan *spheroidal cementite*, sehingga kekerasan juga mulai berkurang. Turunnya kekerasan ini akan semakin banyak bila temperatur pemanasan semakin tinggi atau waktu penahanan (*holding time*) semakin lama.



**Gambar 2.9** Skema struktur yang terjadi pada pemanasan *martensite* dari baja *eutectoid* [2]

Dari gambar 2.8 dijelaskan bahwa proses *tempering* adalah proses pemberian energi panas kepada *martensite*, tentunya banyaknya energi yang disalurkan tidak hanya tergantung pada temperatur tetapi juga pada waktu penahanan (*holding time*), pada gambar tersebut dilakukan *holding time* yang sama yaitu selama 1 jam.

Ketika baja karbon dilakukan *tempering* mencapai temperatur 200°C, maka akan diperoleh struktur yang bila dietsa akan berwarna gelap. Baja masih memiliki kekerasan dan kekuatan yang tinggi, ketangguhan dan keuletan yang rendah tetapi tegangan sisa sudah hilang.

Ketika dilakukan *tempering* pada temperatur 200°C sampai 400°C, menyebabkan *epsilon carbide* menjadi *cementite* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), *low-carbon, martensite* menjadi *ferrite* BCC dan menjadi *bainite*. Kekerasan dan kekuatan turun, sedangkan keuletan dan ketangguhan naik.

Ketika dilakukan *tempering* pada temperatur 400°C sampai 650°C, menyebabkan partikel *cementite* tumbuh besar dan *ferrite* mulai tampak jelas, dikenal dengan nama *sorbite*. Sedangkan keuletan dan ketangguhan sudah cukup tinggi.

Ketika dilakukan *tempering* pada temperatur 650°C sampai 705°C, menghasilkan partikel *cementite* yang kasar, terbentuk bola dan strukturnya sama seperti struktur yang diperoleh dengan *spherodizing*. Baja menjadi sangat lunak, ulet dan memiliki ketangguhan yang tinggi.

Semua hasil transformasi *martensite* disebut *martensite temper* karena sangat sulit untuk membedakan satu struktur dengan struktur yang lain.

Martensit dari hasil proses pendinginan cepat mempunyai sifat yang sangat getas atau rapuh. Kerapuhan ini dikarenakan oleh beberapa faktor antara lain terjadi karena distorsi kisi yang disebabkan oleh terperangkapnya atom karbon dalam kisi *octahedral* dari *martensite*, segregasi dari unsur-unsur pengotor pada batas butir

austenit, pembentukan karbida selama proses pencelupan dan tegangan sisa yang terjadi pada proses pencelupan.

Dalam perubahan transformasi martensit, ada beberapa karakteristik penting antara lain adalah sebagai berikut :

1. Transformasi martensit terjadi tanpa proses difusi, hal ini terjadi karena transformasi martensit berlangsung dengan kecepatan tinggi.
2. Transformasi yang terjadi tanpa adanya perubahan komposisi kimia dari fase awal.
3. Jenis material yang dihasilkan sangat tergantung pada jumlah kandungan karbon dalam baja. Bila kandungan karbon rendah maka yang terbentuk adalah lath martensit. Dan apabila kandungan karbon dalam baja tinggi akan terbentuk plate martensit. Sedangkan bila kandungan karbonnya sedang akan terbentuk campuran dari keduanya.
4. Transformasi berlangsung selama proses pendinginan cepat, jadi hanya tergantung pada kecepatan penurunan temperatur.
5. Struktur kristal yang terbentuk oleh transformasi martensit adalah BCT.
6. Perbandingan jumlah martensit yang terbentuk selama proses pencelupan quenching terhadap penurunan temperatur tidak linear.
7. Dalam transformasi martensit hanya terjadi pengerasan atom-atom saja tanpa perubahan komposisi kimia yang terurai sehingga transformasinya merupakan transformasi geser.

## **2.8 Waktu Tahan**

Waktu tahan ( *Holding time* ) dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses *hardening* dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang merata sehingga struktur austenitnya homogen

atau terjadi kelarutan karbida ke dalam *austenit* dan difusi karbon dan unsur paduannya.

Waktu penahanan sangat berpengaruh pada saat transformasi karena apabila waktu penahanan yang diberikan kurang tepat atau terlalu cepat, maka transformasi yang terjadi tidak sempurna dan tidak homogen. Waktu kekerasan yang rendah hal ini disebabkan tidak cukupnya jumlah karbida yang larut dalam larutan, sedangkan apabila waktu penahanan yang diberikan terlalu lama, transformasi terjadi namun diikuti dengan pertumbuhan butir yang dapat menurunkan ketangguhan.

Pada proses *tempering* merupakan pemberian energi panas pada *martensite*. Banyaknya energi panas yang diberikan tidak hanya tergantung pada temperatur tetapi juga pada waktu. Diketahui bahwa semakin lama waktu *tempering*, maka kekerasan akan semakin turun. Nilai kekerasan yang sama dapat diperoleh menggunakan temperatur yang lebih tinggi dengan dengan waktu yang lebih pendek atau temperatur yang lebih rendah dengan waktu yang lebih lebih panjang.

Holding time atau penahanan pada proses *tempering* juga mempengaruhi hasil ketangguhan suatu material. Semakin lama waktu *tempering* maka *impact strength* akan semakin naik, sebaliknya semakin pendek waktu *tempering* maka *impact strength* akan semakin turun.

## **2.9 Pengujian Kekerasan**

Kekerasan dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan (abrasi) dan indentasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (wear resistance), tetapi tidak semua material yang memiliki kekerasan tinggi juga memiliki ketahanan aus yang baik karena adanya pengaruh unsur paduan pada masing-masing material. Kekerasan berbanding lurus dengan kekuatan, tetapi berbanding terbalik dengan keuletan dan ketangguhan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekerasan, yaitu kadar karbon, unsur paduan, perlakuan panas dan bentuk serta dimensi butir.

Ada beberapa jenis pengujian kekerasan yang terstandar diantaranya pengujian *Brinell*, *Vickers*, dan *Rockwell*. *Hardenability Test* berdasarkan ketahanan terhadap indentasi merupakan metoda pengujian yang paling banyak dilakukan, pengujiannya yaitu *Rockwell* (HR/RHN), *Brinell* (HB/BHN), memiliki perbedaan masing-masing baik dari metodenya, material yang diuji, beban yang dikenakan, hingga indentornya.

### 2.9.1 Pengujian Kekerasan Rockwell

Pada pengujian dengan metode *Rockwell* dapat digunakan dua bentuk indentor, yaitu berbentuk bola baja yang dikeraskan, dan berbentuk kerucut dari intan (*Diamond Cone*). pengujian ini banyak digunakan di industri karena pelaksanaannya lebih cepat, dimana nilai angka kekerasan benda kerja dapat dibaca langsung pada dial mesin tanpa perlu perhitungan tambahan.

Pada pengujian metode *Rockwell*, mula-mula permukaan logam yang diuji ditekan oleh indentor dengan gaya tekan 10 kg beban awal (minor load) sehingga ujung indentor menembus permukaan sedalam  $h$  (kedalaman indentasi), jarum penunjuk diset pada angka nol skala hitam. Setelah itu penekanan diteruskan dengan pemberian beban utama (mayor load) selama beberapa saat, kemudian beban utama dilepas, hanya tinggal beban awal.

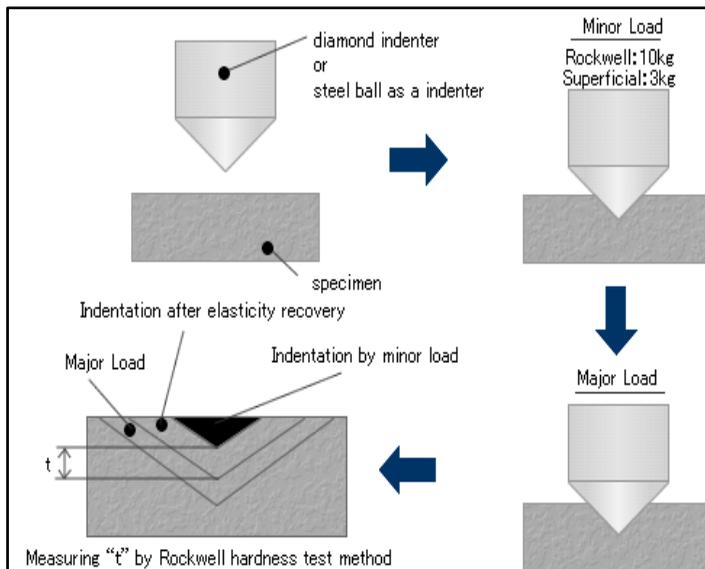
**Tabel 2.3** Skala Uji dan Jenis Indentor Kekerasan *Rockwell*.

Scale	Indentor	Mayor Weight (Kgf)	Unit
A	Diamond Cone 120°	60	HRA
B	Ball 1.588 mm	100	HRB
C	Diamond Cone 120°	150	HRC

Berdasarkan scale dan indentor yang tertera pada tabel 2.3. Maka penentuan spesimen yang diuji seperti berikut:

- **HRA**, bahan yang sangat keras, karbida tungsten dll.
- **HRB**, Bahan yang lunak, baja karbon rendah, perunggu, dll.
- **HRC**, Baja yang dikeraskan

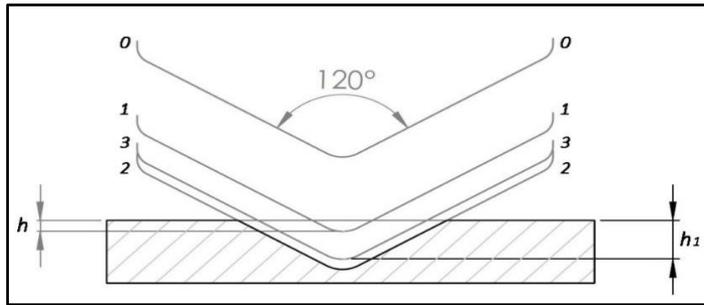
Skala A Skala B digunakan untuk mengukur logam-logam yang dinilai kekerasannya rendah dan menengah, skala C digunakan untuk mengukur kekerasan logam telah diberi perlakuan khusus, dan melebihi 70 *Rockwell C* misalnya *Tungsten Carrbide Alloy*.



**Gambar 2.10** Pengujian kekerasan Rockwell

Angka kekerasan *Rockwell* tidak bersatuan, tetapi didahului dengan satu huruf depan yang menyatakan kondisi pengujian. Kekerasan diperhitungkan berdasarkan

perbedaan kedalaman penetrasi ini. Karena kedalaman yang diukur adalah kedalaman penetrasi. Hasil pengukuran dapat dilakukan dengan menggunakan dial indenter, dengan sedikit modifikasi yaitu piringan penunjuknya menunjukkan skala kekerasan Rockwell. Dengan cara rockwell dapat digunakan beberapa skala, tergantung pada kombinasi jenis indenter dan besar beban utama yang digunakan.



**Gambar 2.11** Prinsip Kerja Rockwell

Keterangan :

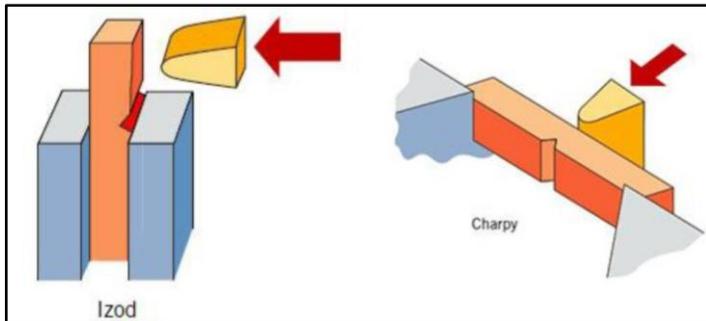
- 0-0 = Posisi sebelum indentasi.
- 1-1 = Hasil indentasi pembebanan *minor*.
- 2-2 = Hasil indentasi saat pembebanan *mayor*.
- 3-3 = Hasil indentasi setelah pembebanan *mayor* dilepas.

**2.10 Pengujian Impak**

ketangguhan merupakan kemampuan menyerap energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Tiga faktor utama yang mempengaruhi hasil pengujian impak yaitu tegangan triaxial (bentuk dan dimensi *notch*), temperatur dan laju peregangan (kecepatan pembebanan).

Untuk mengetahui ketangguhan benda jika dikenai beban kejut, maka dapat dilakukan pengujian impak. Pada pengujian impak digunakan batang uji bertakik (*notch*) dan dipukul dengan

sebuah bandul. Terdapat dua macam *standart* metode pengujian yang digunakan, yaitu metode *charpy* (Amerika) dan metode *izod* (Inggris).



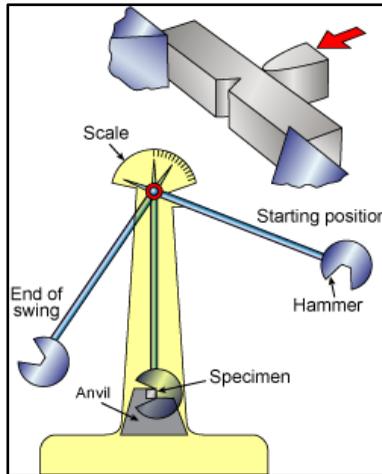
**Gambar 2.12** Pengujian impact

*Notch* atau takik memegang peranan penting terhadap kekuatan Impact suatu material. Perbedaan bentuk takikan pada benda kerja bisa berupa bentuk konfigurasi hasil desain, kesalahan selama proses pengerjaan, atau cacat seperti korosi lokal yang bersifat tegangan memusat (*stress concentration*).

Dalam uji impact terdapat dua macam metode pengujian, yakni metode charpy dan izod, perbedaan mendasar dari metode ini adalah peletakan spesimen. Pengujian dengan menggunakan charpy lebih akurat karena pada izod pemegang spesimen juga turut menyerap energi, sehingga energi yang terukur bukanlah energi yang mampu diserap material seutuhnya.

#### **2.10.1 Pengujian Impact Charpy**

Metode ini merupakan pengujian tumbukan dengan meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan horizontal atau mendatar, dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan. Bandul harus tepat pada tengah spesimen uji. Prinsip dasar pengujian charpy ini adalah besar gaya kejut yang dibutuhkan untuk mematahkan benda uji dibagi dengan luas penampang patahan.



**Gambar 2.13** Pengujian impak *charpy*

Dengan memperhatikan sudut akhir pada indikator *Charpy Impact Tester* (sudut  $\beta$ ) besarnya *energy impact* dapat dihitung dengan penurunan persamaan energi mekanik berikut:

$$\text{Energi awal } (E_0) = W \cdot h_0$$

$$\text{Energi awal } (E_0) = W(L - L \cdot \text{Cos } \alpha)$$

$$\text{Energi akhir } (E_1) = W \cdot h_1$$

$$\text{Energi akhir } (E_1) = W(L - L \cdot \text{Cos } \beta)$$

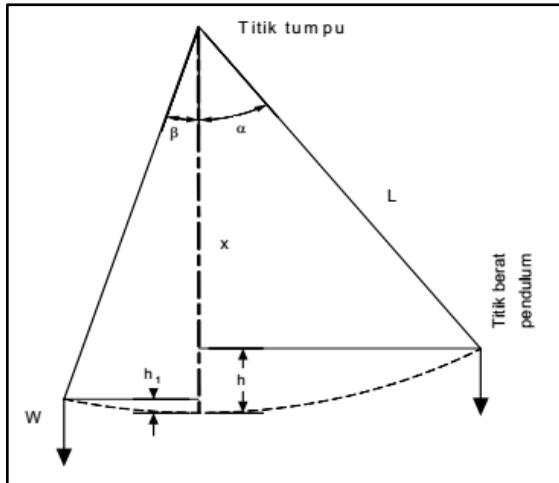
Substitusi persamaan ke dalam persamaan  $\Delta E$

$$\Delta E = E_0 - E_1$$

$$\Delta E = [W(L - L \cdot \text{Cos } \alpha)] - [W(L - L \cdot \text{Cos } \beta)]$$

$$\Delta E = W \cdot L (\text{Cos } \beta - \text{Cos } \alpha)$$

Energi yang digunakan untuk mematahkan batang uji dapat langsung dilihat pada mesin uji *impact*. Kekuatan impak (*impact strength*) adalah ketahanan batang uji terhadap pukulan (*impact*) yang dapat dihitung menggunakan persamaan.



**Gambar 2.14** Skema Perhitungan Energy Impact

$$IS = \frac{WLx(\cos\beta - \cos\alpha)}{A} \quad (\text{kgm/mm}^2)$$

Dimana :

- $W$  : berat bandul (kg)
- $A$  : luas penampang pada bagian yang tertakik ( $\text{mm}^2$ )
- $L$  : panjang batang bandul (m)
- $\alpha$  : sudut awal ( $^\circ$ )
- $\beta$  : sudut akhir ( $^\circ$ )

Pengujian impak juga digunakan untuk mempelajari pola patahan, apakah patah getas (*brittle fracture*) atau patah ulet (*ductile fracture*). Untuk mempelajari ini dilakukan pengamatan visual pada permukaan patahan. Patahan getas (*granular fracture*) tampak berkilat dan berbutir. Sedangkan patahan ulet (*shear fracture*) tampak lebih gelap dan seperti berserabut.

Fracture atau kepatahan pada suatu material dapat digolongkan sebagai *brittle* (getas) atau *ductile* (ulet).

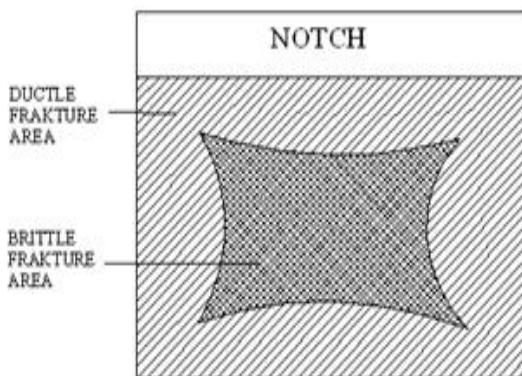
Suatu material mengalami kepatahan tanpa mengalami deformasi plastis dikatakan patah secara *brittle*, sedangkan apabila kepatahan didahului dengan suatu deformasi plastis dikatakan mengalami *ductile fracture*. Material yang mengalami *brittle fracture* hanya mampu menahan energi yang kecil saja sebelum mengalami kepatahan.

1. Patah ulet (*Ductile Fracture*)

Patah ulet adalah patahan yang disertai perubahan bentuk plastis. Patahan ini memiliki permukaan patahan yang tidak merata dan berserat dengan pertumbuhan retak yang berjalan lambat. Patahan ulet ini mempunyai nilai pukulan takik yang tinggi.

2. Patah getas (*Brittle Fracture*)

Patah getas terjadi apabila material logam pada saat patah tidak mengalami perubahan plastis atau pengecilan penampang. Permukaan patahan umumnya datar dan tegak lurus terhadap permukaan material. Patahan getas ini mempunyai nilai pukulan takik yang rendah.



**Gambar 2.15** Pola patahan

**Tabel 2.4** Penelitian sebelumnya

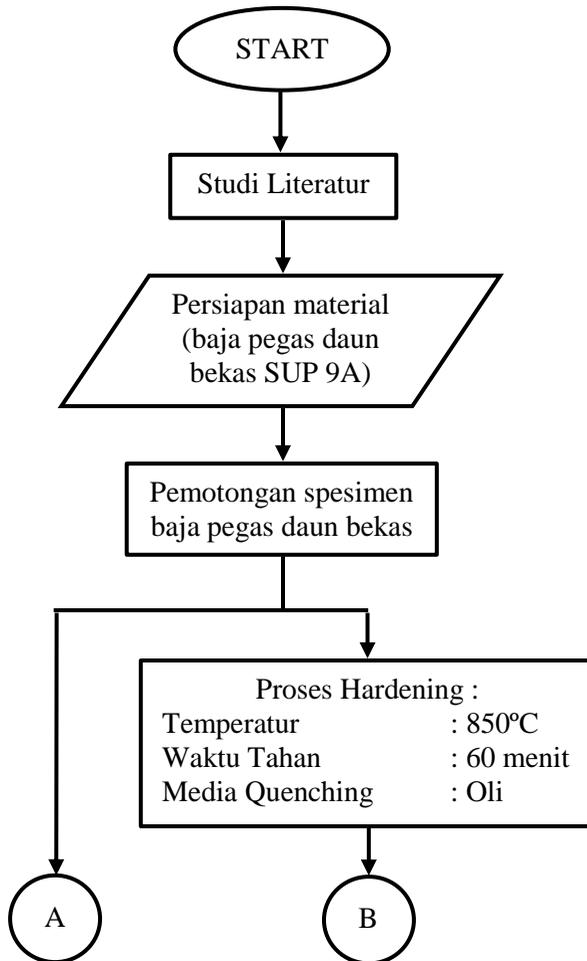
	Penelitian I	Penelitian II	Penelitian III
Pengarang	Ridha Wildania	Mada Perwira	Reza Rizal Bakri Ilhamsyah
Tahun	2017	2017	2016
Judul	Pengaruh Waktu Tempering Terhadap Kekerasan dan Ketangguhan Pisau Dapur Berbahan Baja Bekas Pegas Daun	Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Perbaikan Sifat Mekanik Pisau Dapur Terhadap Perbaikan Sifat Mekanik Pisau Dapur Dari Baja JIS SUP 9A Bekas	Analisis Pengaruh Variasi Temperatur pada Perlakuan Panas Pengerasan Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Material Baja Leaf Spring
Tujuan	Mengetahui pengaruh variasi waktu tempering terhadap sifat kekerasan, ketangguhan dan struktur mikro dari pisau dapur	Mengetahui pengaruh variasi temperatur tempering terhadap sifat kekerasan, ketangguhan dan struktur mikro dari pisau dapur	Mengetahui pengaruh tiga variasi temperatur terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro pegas daun truk Canter, mobil Panther dan bus Hino AK

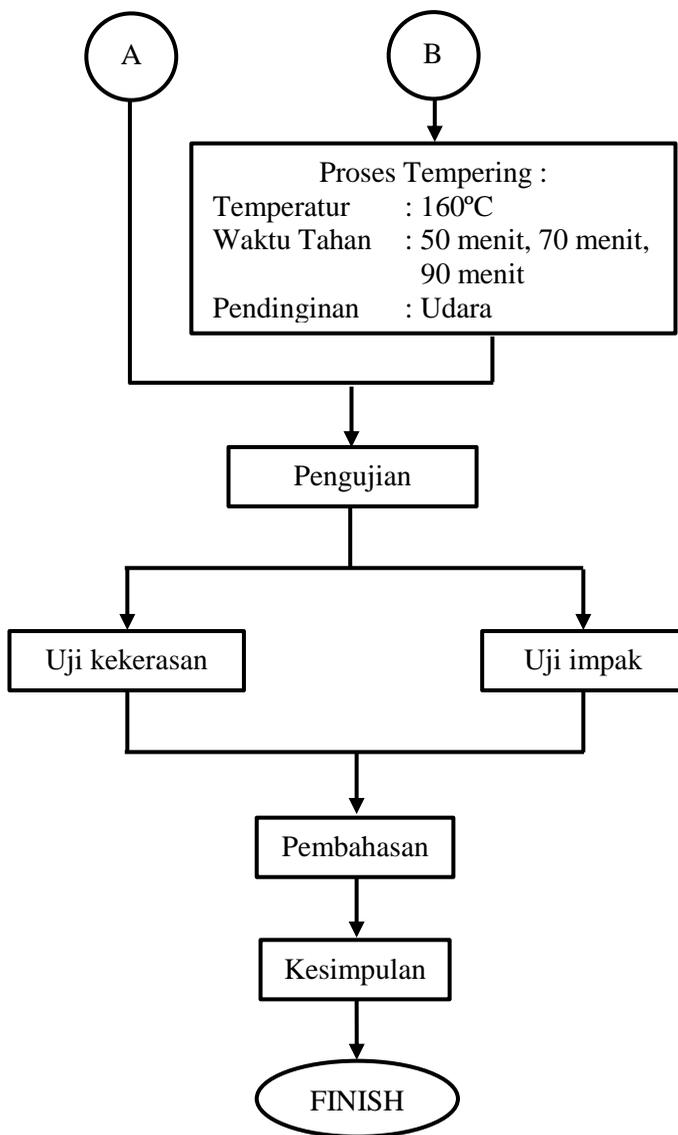
*(Halaman Ini Sengaja Dikосongkan)*

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan yang dilaksanakan dalam pengerjaan pengujian ini sesuai dengan diagram alir dibawah ini.





**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian

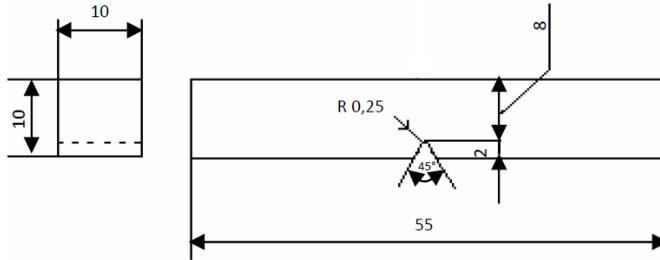
Metode yang digunakan dalam suatu analisa atau studi harus terstruktur dengan baik sehingga dapat dengan mudah menerangkan atau menjelaskan penelitian yang dilakukan. Proses dalam menyelesaikan penelitian ini melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Studi literature

Pada studi literatur meliputi mencari dan mempelajari bahan pustaka yang berkaitan dengan segala permasalahan mengenai kebutuhan pengerjaan.

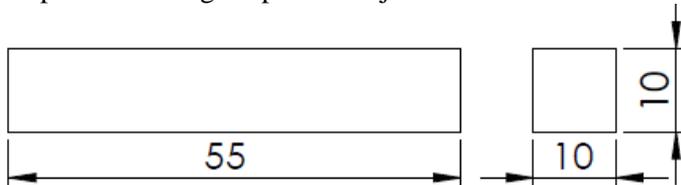
2. Persiapan spesimen

Dalam tugas akhir ini *leaf spring* yang saya gunakan adalah dari *leaf spring truck*. Untuk pengujian impact, spesimen dipotong berdasarkan standard JIS 2202.



**Gambar 3.2** Dimensi spesimen uji impact

Sedangkan untuk spesimen uji kekerasan, ukuran disamakan dengan spesimen uji impact, yaitu 55 mm x 10 mm serta tebal 10 mm. Tujuan dipilihnya ukuran tersebut karena agar pemanasan dan sifat mekanik spesimen uji impact sama dengan spesimen uji kekerasan.



**Gambar 3.3** Dimensi spesimen uji kekerasan

### 3.2 Persiapan Spesimen

Pada penelitian ini, material yang digunakan adalah baja JIS SUP 9A bekas. (gambar 4.3) memiliki panjang 1000 mm, lebar 120 mm, dan tebal 12 mm. Pengujian yang dilakukan pada material yaitu pengujian kekerasan dan pengujian impak.



**Gambar 3.4** Baja JIS SUP 9A bekas

**Tabel 3.1** komposisi kimia benda uji

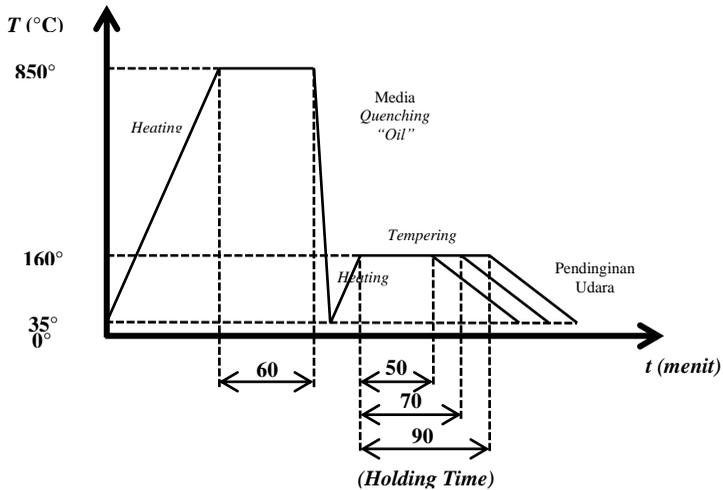
Designation of grade	C	Si	Mn	P <sup>(1)</sup>	S <sup>(1)</sup>	Cr	Mo	V	B
SUP 9A	0,6	0,25	0,85	0,030	0,030	0,85	-	-	-

### 3.3 Proses Pengerasan

Pada perlakuan panas ini dilakukan dengan proses pengerasan atau *austenitizing temperatur*. Baja pegas daun yang sudah dibentuk sesuai standard tersebut dipanaskan di dalam oven (*furnace*) hingga temperatur 850°C. Pada saat temperatur oven (*furnace*) sudah mencapai 850°C dilakukan penahanan (*holding time*) selama 60 menit. Kemudian dilanjutkan proses *quenching* untuk mendapatkan struktur *martensite* dan dilanjutkan dengan proses *tempering*.



**Gambar 3.5** Dapur pemanas / oven



**Gambar 3.6** Skema Proses Perlakuan Panas

### 3.3.1 Proses Pendinginan

Spesimen yang telah selesai diperlakukan panas di dalam oven (*furnace*) dengan temperatur mencapai 850°C dan ditahan selama 1 jam, kemudian didinginkan secara cepat dengan media pendingin berupa oli. Ketika benda uji telah dimasukkan kedalam media pendingin, dengan bersamaan media pendingin tersebut diaduk supaya media pendingin tersebut dapat bersirkulasi.



**Gambar 3.7** Media pendingin

### 3.3.2 Tempering

Ketika benda uji sudah benar-benar dingin, kemudian dilanjutkan dengan perlakuan panas yang selanjutnya, yaitu proses *tempering*. Spesimen dipanaskan kembali di dalam oven sampai temperatur  $160^{\circ}\text{C}$  dan dilakukan penahanan (*holding time*). Penahanan yang dilakukan dengan tiga variasi waktu yang berbeda yaitu 50 menit, 70 menit, dan 90 menit. Setelah penahanan selesai kemudian spesimen dikeluarkan dari oven (*furnace*).



**Gambar 3.8** Pemasukan spesimen dalam oven

Setelah proses pemanasan spesimen selesai dilakukan, kemudian dilanjutkan dengan proses pendinginan. Media pendingin yang digunakan adalah udara bebas.



**Gambar 3.9** Pendinginan proses tempering

### **3.4 Pengujian**

Pada pengerjaan tugas akhir ini, dilakukan dua pengujian secara mekanik yaitu pengujian kekerasan dan pengujian impak. Pengujian ini dilakukan pada material sebelum dilakukan laku panas dan yang telah dilakukan laku panas pengerasan *quenching* dan laku panas *tempering* sesuai dengan diagram alir diatas.

#### **3.4.1 Pengujian Kekerasan**

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan mesin uji kekerasan merk FRANK. Angka kekerasan yang diamati adalah kekerasan *Rockwell* skala C, yang dinyatakan dalam HRC. Indentor yang digunakan intan dengan sudut  $120^\circ$  dan beban mayor 150 Kgf. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan yang terjadi akibat proses tanpa *treatment* dan dengan *treatment*. Pengujian dilakukan di Laboratorium Metallurgi Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

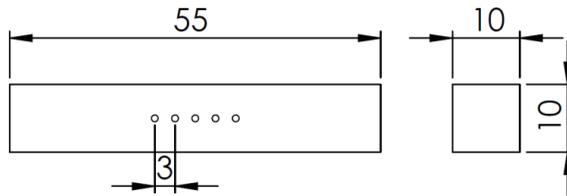


**Gambar 3.10** Alat uji kekerasan

Prosedur pengujian kekerasan metode *Rockwell C* adalah sebagai berikut :

1. Gunakan kertas gosok hingga permukaan (atas dan bawah) benda kerja rata, halus, serta bebas dari kotoran, minyak, dan benda asing.
2. Memasang indentor pada *Housing Indentor* (gunakan indentor bola untuk *Rockwell C*)
3. *Dashpot*/pengatur beban diatur pada pembebanan 150 kgf untuk *Rockwell C*.
4. Putarlah *Handwheel* untuk mengangkat landasan dengan perlahan hingga jarum penunjuk kecil pada dial berada pada tanda merah atau jarum penunjuk besar berputar tiga kali dan berhenti dititik 0 (*Minor Weigth*).
5. Tariklah *Handle* untuk mengaplikasikan gaya uji utama (*Mayor Weight*), pada saat itu jarum penunjuk besar pada dial berputar berlawanan dengan arah jarum jam dan *Main Handle* bergerak ke posisi 1.
6. Tunggu jarum penunjuk besar berhenti, doronglah *Main Handle* pada kondisi semula (posisi 0) dengan perlahan.

7. Melihat dan mencatat angka kekerasan yang ditunjuk jarum besar pada skala dial.
8. Putarlah *Handwheel* untuk menurunkan landasan.
9. Ambil benda uji, lepaskan identor dari *Housing Identor*
10. Simpan identor di tempat semula.



**Gambar 3.11** Lokasi pengujian kekerasan (titik identasi)

### 3.4.2 Pengujian Impak

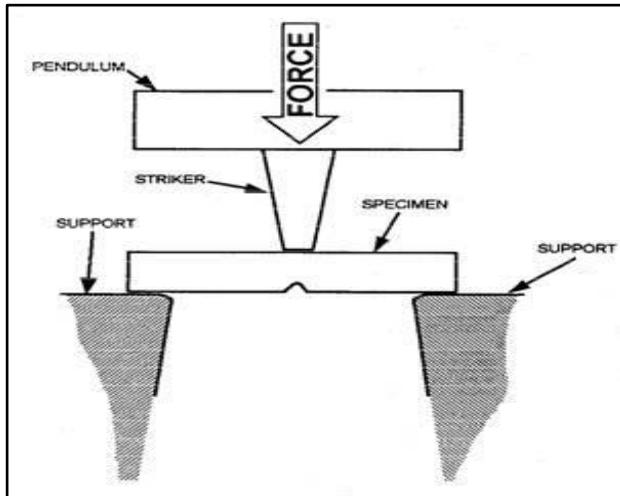
Pengujian impak ini dilakukan di Laboratorium Metallurgi Departemen Teknik Mesin Industri ITS Surabaya. Pengujian ini dilakukan menggunakan metode charpy dengan alat uji merk Frank, spesimen diberi takikan berbentuk V pada posisi tengah dari spesimen.



**Gambar 3.12** Alat uji Impak

Prosedur pengujian impak metode Charpy adalah sebagai berikut :

1. Memasang benda uji pada *Anvil* dengan takikan tepat berada pada titik tengah, bagian yang bertakik diletakkan disebelah dalam sehingga pendulum akan memukul benda uji pada sisi yang berlawanan dengan sisi benda uji yang bertakik.
2. Pendulum dinaikkan setinggi  $h$  atau sebesar  $140^\circ$  ( $\alpha$ ).
3. Atur posisi jarum penunjuk skala pada nol.
4. Tarik *Lock Handle* agar pendulum terlepas menghantam benda kerja uji, setelah menghantam benda kerja uji pendulum masih akan berayun setinggi  $h_1$  atau sebesar sudut  $\beta$ .
5. Tarik *Brake Handle* tahan hingga pendulum berhenti.
6. Catat sudut  $\beta$  yang tertunjuk pada indikator.
7. Ambil benda kerja yang telah diuji.



**Gambar 3.13** Lokasi penempatan benda uji

## BAB IV DATA DAN ANALISA HASIL PENELITIAN

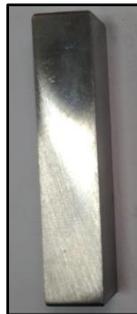
Pengujian dan pengumpulan data dilakukan pada spesimen baja pegas daun bekas yang telah melalui proses perlakuan panas *tempering*. Pembahasan data dilakukan berdasarkan data yang didapatkan dari pengujian kekerasan dan pengujian impact.

### 4.1 Material Awal Tanpa Laku Panas

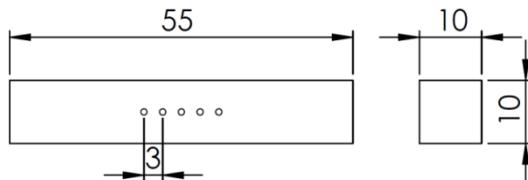
Pada spesimen tanpa laku panas (material awal) dilakukan pengujian kekerasan dan pengujian impact agar diketahui nilai kekerasan dan kekuatan impact awal dari material.

#### 4.1.1 Uji Kekerasan Material Awal

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode *Rockwell C*. Pengujian ini dilakukan pada spesimen uji dengan pengambilan data lima titik indentasi terhadap spesimen.



**Gambar 4.1** Spesimen uji kekerasan



**Gambar 4.2** Lokasi indentasi

Data dari hasil pengujian kekerasan pada spesimen laku panas pengerasan pada setiap titik yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.1** Hasil uji kekerasan tanpa laku panas

Titik identasi	Material awal (HRC)
1	38
2	39,5
3	39,5
4	39
5	38,5
<b>Rata-rata</b>	<b>38,9</b>

Dari data diatas dapat dilihat, bahwasanya pada spesimen uji awal tanpa laku panas (material awal) memiliki nilai rata-rata kekerasan sebesar 38,9 HRC.

Adapun data yang didapat diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa kekerasan pada spesimen uji mempunyai nilai yang hampir sama. Disebabkan karena spesimen belum mendapat perlakuan panas austenisasi dari manapun.

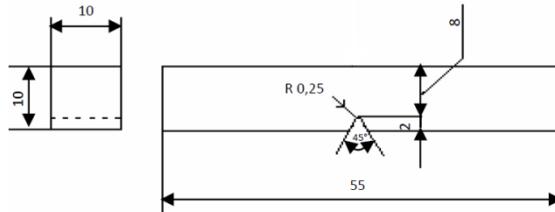
Nilai diatas dapat dijadikan pembanding dengan hasil yang didapatkan uji kekerasan setelah dilakukannya proses laku panas pengerasan dan laku panas *tempering*.

#### **4.1.2 Uji Impak Material Awal**

Pengujian impak dilakukan pada tiga spesimen uji menggunakan metode *charpy* untuk mengetahui nilai kekuatan impak (*impact strength*) pada spesimen uji tanpa laku panas (material awal).



**Gambar 4.3** Spesimen uji impak



**Gambar 4.4** Dimensi spesimen uji impak

Data dari hasil pengujian impak pada spesimen uji tanpa laku panas (material awal) yang telah dilakukan pada tiga spesimen uji yang berbeda dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.2** Hasil uji impak material awal

Spesimen	Sudut, $\beta$ ( $^{\circ}$ )	Energi, E (Kgm)	Luas patahan ( $\text{mm}^2$ )	Impact strength, IS (Kgm/ $\text{mm}^2$ )
Tanpa laku panas	126	1,056	80	<b>0,0132</b>
	130	0,730	80	<b>0,00912</b>
	128	0,891	80	<b>0,01114</b>
<b>Rata-rata impact strength</b>				<b>0,01115</b>

Dari data diatas dapat dilihat, bahwasanya pada spesimen uji awal tanpa laku panas (material awal) memiliki nilai rata-rata kekuatan impak sebesar 0,01115 kgm/mm<sup>2</sup>.

Adapun data yang didapat diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa kekuatan impak pada spesimen uji mempunyai nilai yang hampir sama. Disebabkan karena spesimen belum mendapat perlakuan panas austenisasi dari manapun.

Nilai diatas dapat dijadikan pembanding dengan hasil yang didapatkan uji impak setelah dilakukannya proses laku panas pengerasan dan laku panas *tempering*.

## **4.2 Laku Panas Pengerasan**

Dilakukan proses laku panas pengerasan pada material yang dilakukan pendinginan secara cepat untuk mengetahui tingkat kekerasan dan nilai *impact strength* yang dihasilkan.

Proses perlakuan panas yang dilakukan yaitu spesimen melalui proses *heating* sampai temperatur 850°C, kemudian spesimen di tahan dalam oven (*furnace*) selama 60 menit, dan dilakukan pendinginan secara cepat (*quenching*) dengan media oli pendingin.

### **4.2.1 Uji Kekerasan Pengerasan**

Setelah proses laku panas pengerasan (*hardening*) selesai dilakukan, kemudian dilakukan pengujian kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan dari spesimen yang telah mendapat proses pengerasan.

Untuk pengujian kekerasan, satu spesimen terdapat lima titik identasi. Data dari hasil pengujian kekerasan pada spesimen laku panas pengerasan pada setiap titik yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.3** Hasil uji kekerasan laku panas quenching

<b>Titik</b>	<b>Quenching (HRC)</b>
<b>1</b>	54,5
<b>2</b>	55
<b>3</b>	55
<b>4</b>	54,5
<b>5</b>	54,5
<b>Rata-rata</b>	<b>54,7</b>

Berdasarkan data yang didapat pada pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa dengan adanya pengerasan, maka menyebabkan spesimen tersebut menjadi lebih keras dan getas. Hal ini dapat dilihat pada data diatas, bahwa nilai kekerasan yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan kekerasan material awal yang belum mendapat laku panas pengerasan.

Dari hasil perlakuan panas yang dilakukan ini yaitu pada temperatur 850°C dengan waktu penahanan 60 menit, dan dilakukan pendinginan cepat terdapat perbedaan nilai kekerasan yang dihasilkan. Pada spesimen uji awal tanpa perlakuan panas memiliki nilai rata-rata kekerasan sebesar 38,9 HRC. Setelah melalui proses *hardening quenching* spesimen uji memiliki kenaikan kekerasan hingga nilai rata-rata mencapai 54,7 HRC.

Nilai diatas dapat dijadikan pembanding dengan hasil kekerasan yang didapatkan dari uji kekerasan setelah dilakukannya proses laku panas *tempering*.

#### 4.2.2 Uji Impak Pengerasan

Pengujian impak dilakukan pada tiga spesimen uji menggunakan metode charpy untuk mengetahui nilai kekuatan impak pada spesimen uji setelah mengalami laku panas pengerasan.

*Impact strength* merupakan energi yang diserap oleh benda uji hingga patah, untuk menghitung *impact strength* digunakan persamaan:

$$IS = \frac{\text{Energi Impak}}{\text{Luas Patahan}}$$

Dimana:

$$IS = \text{Impact strength} \quad (\text{kpm/mm}^2)$$

$$A = \text{Luas Patahan benda uji} \quad (\text{mm}^2)$$

Untuk mendapatkan luas patahan pada benda uji digunakan persamaan:

$$A = \text{Tebal patahan} \times \text{lebar benda uji}$$

Salah satu contoh perhitungan *impact strength* adalah sebagai berikut:

$$IS = \frac{\text{Energi Impak}}{\text{Luas Patahan}}$$

$$IS = \frac{0,277 \text{ kgm}}{80 \text{ mm}^2}$$

$$IS = 0,00346 \text{ kgm/mm}^2$$

Data dari hasil pengujian impak pada spesimen laku panas pengerasan dilakukan pada tiga spesimen uji setiap perlakuan panas yang telah dilakukan dan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.4** Hasil uji impak *quenching*

Spesimen	Sudut $\beta$ ( $^{\circ}$ )	Energi E (Kgm)	Luas patahan ( $\text{mm}^2$ )	Impact strength, IS (Kgm/ $\text{mm}^2$ )
Hardening	136	0,277	80	0,00346
	136	0,277	80	0,00346
	137	0,206	80	0,00257
<b>Rata-rata <i>impact strength</i></b>				<b>0,00316</b>

Berdasarkan data yang didapat pada pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa dengan adanya pengerasan, maka menyebabkan spesimen tersebut menjadi lebih keras dan getas. Hal ini dapat dilihat pada data diatas, bahwa nilai *impact strength* yang dihasilkan lebih besar pada material awal sebelum dilaku panas dibandingkan dengan material yang telah mendapat laku panas pengerasan.

Dari hasil perlakuan panas yang dilakukan ini yaitu pada temperatur  $850^{\circ}\text{C}$  dengan waktu penahanan 60 menit, dan dilakukan pendinginan cepat terdapat penurunan nilai kekuatan impak yang dihasilkan. Pada spesimen uji awal tanpa perlakuan panas memiliki nilai kekuatan impak rata-rata mencapai  $0,01115 \text{ Kgm}/\text{mm}^2$ . Setelah melalui proses *hardening* spesimen uji memiliki nilai kekuatan impak rata-rata sebesar  $0,00316 \text{ Kgm}/\text{mm}^2$ .

Nilai diatas dapat dijadikan pembanding dengan hasil yang didapatkan uji impak setelah dilakukannya proses laku panas laku panas *tempering*.

#### **4.3 Laku Panas Tempering**

Proses laku panas ini dilakukan pada material dengan pendinginan secara lambat atau didinginkan menggunakan media udara, untuk mengetahui seberapa besar nilai kekerasan

dan kekuatan impak yang dihasilkan pada spesimen uji yang telah dilaku panas pengerasan dengan yang telah dilaku panas *tempering*. Pada perlakuan panas *tempering* ini spesimen uji melalui proses *heating* di dalam oven (*furnace*) dengan temperatur mencapai 160°C, dan waktu penahanan selama 50 menit, 70 menit, dan 90 menit, kemudia didinginkan di udara.

#### 4.3.1 Pengujian Kekerasan Tempering

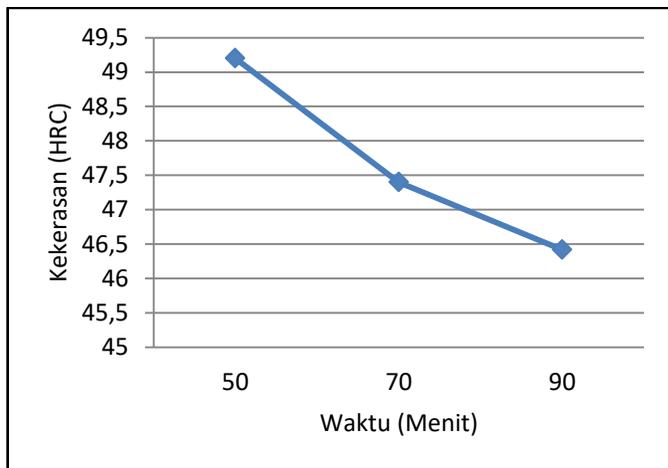
Setelah dilakukan proses *tempering* kemudian dilakukan pengujian kekerasan dengan cara *Rockwell C*. Pengujian kekerasan *tempering* sama halnya dengan pengujian kekerasan sebelum dilaku panas dan setelah melalui proses laku panas kekerasan, yaitu satu spesimen mendapat lima indentasi uji. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada setiap spesimen uji yang dihasilkan pada proses ini. Data dari hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.5** Hasil uji kekerasan proses *tempering*

Titik identasi	Perlakuan Panas			
	Quenching (HRC)	Tempering (HRC)		
		50 menit	70 menit	90 menit
1	54,5	48	48	47
2	55	47	48	46,5
3	55	48	46	45,5
4	54,5	48,5	47	45,5
5	54,5	48	48	45,5
<b>Rata-rata</b>	54,7	49,2	47,4	46,42

Berdasarkan data pengujian kekerasan yang dilakukan dapat diketahui bahwa kekerasan dari setiap spesimen uji memiliki nilai kekerasan berbeda-beda untuk masing-masing waktu penahanan.

Proses laku panas *tempering* dilakukan setelah spesimen uji mendapat perlakuan panas pengerasan. Proses perlakuan panas *tempering* ini dilakukan pada suhu 160°C dengan waktu penahan yang berbeda-beda yaitu 50 menit, 70 menit dan 90 menit. Dari hasil pengujian kekerasan yang dilakukan, didapatkan nilai kekerasan yang berbeda-beda tiap parameter perlakuan panas sesuai data yang tertulis pada tabel 4.5 diatas.



**Gambar 4.5** Pengaruh waktu *tempering* terhadap kekerasan

#### 4.3.1.1 Analisa Pengujian Kekerasan

Dari data di atas dapat diketahui bahwa nilai kekerasan permukaan pada setiap variasi waktu penahanan mengalami perbedaan. Seperti halnya pada saat proses *hardening* dengan proses *tempering*, karena pada saat proses *hardening* spesimen uji mendapat perlakuan panas sampai temperatur *austenisasi* 850°C kemudian didinginkan secara cepat dengan media oli

pendingin maka kekerasan yang diperoleh yaitu 54,7 HRC. Sedangkan pada proses *Tempering* yang melalui proses laku panas hanya sampai temperatur 160°C dapat disimpulkan dari ketiga waktu tahan mendapat rata-rata nilai 47,673 HRC.

Berdasarkan gambar 4.5 dapat dilihat bahwasanya semakin lama waktu penahanan pada proses *tempering*, maka nilai kekerasan dari suatu material mengalami penurunan. Nilai kekerasan yang paling tinggi didapatkan pada spesimen dengan waktu penahanan 50 menit yang memiliki nilai rata-rata kekerasan mencapai 49,2 HRC. Tetapi nilai tersebut lebih rendah daripada nilai kekerasan pada waktu pengerasan yaitu sebesar 54,7 HRC. Selanjutnya pada waktu penahanan 70 menit memiliki nilai rata-rata kekerasan sebesar 47,4 HRC dan yang terakhir pada waktu penahanan 90 menit hanya memiliki nilai kekerasan sebesar 46,42 HRC. Dari gambar diagram diatas, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan tiap nilai kekerasan yang dihasilkan pada proses ini bila dibandingkan dengan nilai kekerasan pada proses laku panas pengerasan.

#### **4.3.2 Pengujian Impak Tempering**

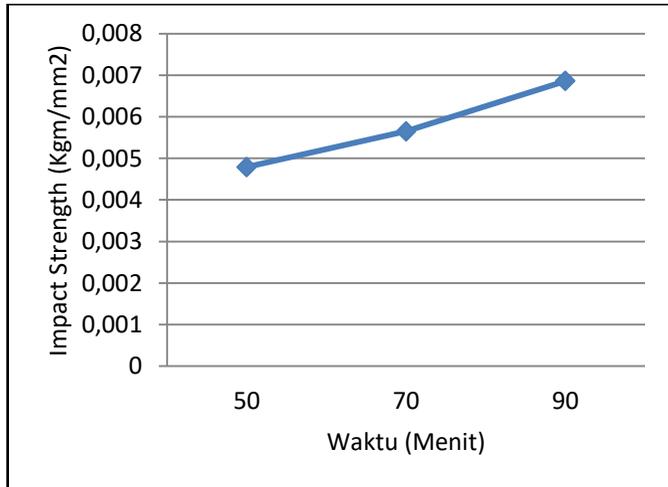
Pengujian impak dilakukan pada tiga spesimen uji untuk setiap parameternya. Pengujian menggunakan metode *charpy* untuk mengetahui nilai kekuatan impak pada spesimen uji setelah mengalami laku panas pengerasan.

Data dari hasil pengujian impak pada spesimen laku panas *tempering* dilakukan pada tiga spesimen uji tiap perlakuan panas *tempering* yang telah dilakukan dan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.6** Hasil pengujian impak proses *tempering*

Spesimen	Sudut $\beta$ ( $^{\circ}$ )	Energi E (Kgm)	Luas patahan ( $\text{mm}^2$ )	Impact strength, IS (Kgm/ $\text{mm}^2$ )	Rata-rata impact strength
Quenching	136	0,277	80	0,00346	<b>0,00316</b>
	136	0,277	80	0,00346	
	137	0,206	80	0,00257	
Tempering 50 menit	136	0,277	80	0,00346	<b>0,00479</b>
	135	0,436	80	0,00545	
	135	0,436	80	0,00545	
Tempering 70 menit	135	0,436	80	0,00545	<b>0,00565</b>
	134	0,423	80	0,00529	
	133	0,498	80	0,00622	
Tempering 90 menit	133	0,498	80	0,00622	<b>0,00686</b>
	132	0,574	80	0,00718	
	132	0,574	80	0,00718	

Berdasarkan data pengujian impak yang dilakukan, dapat diketahui bahwa sudut  $\beta$  yang dihasilkan untuk setiap spesimen beberapa mengalami perbedaan. Oleh karena itu, setiap spesimen uji memiliki nilai energi impak yang berbeda-beda, sehingga *impact strength*-nya juga berbeda tergantung dari sudut  $\beta$  yang dihasilkan.



**Gambar 4.6** pengaruh waktu tempering terhadap *Impact Strength*

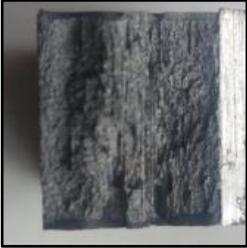
#### 4.3.2.1 Analisa Pengujian Impak

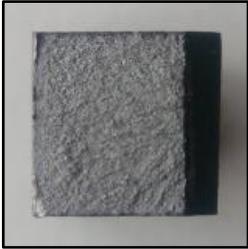
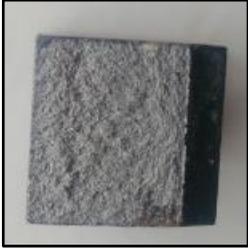
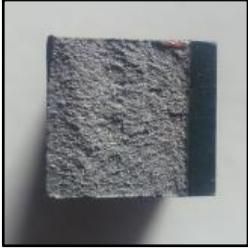
Dari data di atas dapat diketahui bahwa nilai *impact strength* pada setiap variasi waktu penahanan mengalami perbedaan. Seperti halnya pada saat proses *hardening* dengan proses *tempering*, karena pada saat proses *hardening* spesimen uji mendapat perlakuan panas sampai temperatur *austenisasi* 850°C kemudian didinginkan secara cepat dengan media oli pendingin maka *impact strength* yang diperoleh yaitu 0,00316 Kgm/mm<sup>2</sup>. Sedangkan pada proses *Tempering* yang melalui proses laku panas hanya sampai temperatur 160°C dapat disimpulkan dari ketiga waktu tahan mendapat rata-rata nilai 0,00577 Kgm/mm<sup>2</sup>.

Dari gambar 4.6 diatas menunjukkan bahwa dengan adanya proses *tempering*, maka nilai *impact strength* akan mengalami kenaikan bila dibandingkan dengan nilai *impact strength* pada proses pengerasan spesimen. Berdasarkan data diatas juga dilihat bahwa seiring lamanya waktu penahanan pada proses tempering, maka kenaikan *impact strength* semakin

besar. Dapat dilihat pada dalam grafik. Bahwasannya nilai *impact strength* terendah adalah pada waktu penahanan 50 menit yaitu 0,00479 Kgm/mm<sup>2</sup>, Tetapi nilai tersebut lebih tinggi daripada *impact strength* pada waktu pengerasan yaitu sebesar 0,00316 Kgm/mm<sup>2</sup>. Selanjutnya pada waktu penahanan 70 menit memiliki nilai rata-rata *impact strength* sebesar 0,00565 Kgm/mm<sup>2</sup>, dan yang terakhir pada waktu penahanan 90 menit memiliki nilai *impact strength* sebesar 0,00686 Kgm/mm<sup>2</sup>. Dari gambar diagram diatas, dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan nilai *impact strength* yang dihasilkan pada proses ini bila dibandingkan dengan nilai kekerasan pada proses laku panas pengerasan.

**Tabel 4.7** Pola patahan hasil pengujian impak

Spesimen	Pola Patahan
<p><b>Baja JIS SUP 9A bekas</b></p>	
<p><b>Hardening</b></p>	

<b>Tempering</b>	<b>50 menit</b>	
	<b>70 menit</b>	
	<b>90 menit</b>	

Benda yang diuji termasuk spesimen yang keras, karena pada saat dilakukan pengujian benda seluruhnya mengalami patah tanpa adanya perubahan atau pengecilan penampang.

#### **4.4 Pembahasan**

Berdasarkan data yang diperoleh dari perlakuan panas pengerasan dengan variasi waktu tempering 50 menit, 70 menit, dan 90 menit, untuk membuat produk pisau yang mempunyai kekerasan maksimal dengan bahan pegas daun

perlu dilakukan penahanan paling pendek. Namun dengan meninjau produk pisau dapur produk Jepang Kichen Knives Fine Japanese Craftmanship (lampiran 3), kekerasan yang dihasilkan dari pengujian masih dibawah nilai kekerasan yang ada pada pisau produk pisau Japan. Dimana kekerasan yang harus dicapai suatu produk pisau dapur 56-61 HRC. Pada spesimen pengujian kekerasan yang dihasilkan tidak tercapai dikarenakan pada saat proses quenching waktu pendinginan tergolong lambat, karena dilihat dari hasil quencing spesimen masih kurang keras. Dilihat dari proses quenching yang dilakukan, analisa menunjukkan bahwa pada saat melakukan proses quenchinh spesimen yang dimasukkan ke dalam media pendingin terlalu banyak, sehingga membuat media pendingin menjadi panas.

Austenite sisa sangat berperan penting juga dalam hal pembuatan produk-produk pisau dikarenakan austenite tersebut mampu memberikan ketangguhan dan umur yang cukup panjang pada hasil produk nantinya. Berdasarkan data pada tabel 4.5, dan 4.6, austenite sisa terbanyak didapatkan pada waktu penahanan terpendek. Selain itu semakin banyak austenite sisa maka material awal dalam produk pisau akan semkain tangguh. Hal itu dapat dilihat pada gambar 4.5, dan 4.6. Jadi semakin lama waktu tahan pada proses tempering pisau akan semakin tangguh material tersebut. Hal ini tentunya sangat menguntungkan pada produk-produk pisau yang sering mendapatkan gaya yang besar.

Dapat dikatakan dalam pembuatan pisau harus merencanakan terlebih dahulu kegunaan produk pisau yang dibuat. Karena pisau sendiri mempunyai karakteristik masing-masing. Dengan perlakuan panas pengerasan temperature 850°C, akan menghasilkan sebuah material hasil quenching yang keras dan tajam dibandingkan dengan proses tempering pada temperuatur 160°C. Hasil yang di dapat pada proses quenching adalah 54,7 HRC, tetapi tanpa adanya perlakuan tempering membuat pisau sangat getas. Dengan adanya proses tempering ini membuat pisau tidak hanya keras, tetapi juga mempunyai ketangguhan.

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian yang dilakukan berdasarkan data yang telah dianalisa adalah :

1. Dengan adanya proses perlakuan panas *tempering* setelah dilakukannya proses pengerasan, berpengaruh terhadap terjadinya penurunan nilai kekerasan dan nilai kekuatan impak meningkat.
2. Seiring bertambahnya waktu *tempering*, nilai kekerasan semakin menurun. Hal ini dapat dilihat pada pembahasan data yang didapat, dimana pada waktu tempering 50 menit, 70 menit, dan 90 menit menghasilkan nilai kekerasan yang berurutan diantaranya 49,2 HRC, 47,4 HRC, dan 46,42 HRC.
3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *impact strength* semakin meningkat seiring bertambahnya waktu *tempering*. pada waktu tempering 50 menit, 70 menit, dan 90 menit menghasilkan nilai impak berurutan diantaranya 0,00406 kgm/mm<sup>2</sup>, 0,00544 kgm/mm<sup>2</sup>, dan 0,00638 kgm/mm<sup>2</sup>.

#### **5.2 Saran**

1. Pada proses pendinginan cepat sebaiknya dilakukan dengan jumlah spesimen yang tidak terlalu banyak ketika dicelupkan kedalam media pendingin.
2. Pada penelitian kali ini pengujian hanya dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dan kekuatan impak pada material, dan selanjutnya dapat dilakukan dengan pengujian yang lain

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yamada, Yosiro. 2007. *Material for Spring*. New York : Springer.
- [2] Avner, Sidney H. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy second edition*. New York : Mc. Graw Hill.
- [3] ASM Handbook. 1991. *Atlas of Time-Temperature Diagram for Irons and Steels*. USA: ASM International.
- [4] K.E Thelning. 1984. *Steel and Its Heat Treatment*. London : Butter worths.
- [5] Hrisoulas Jim. 1991. *The Master Bladesmith: Advanced Studied in Steel*. USA : Paladin Press
- [6] Surdia, Tata., dan Shinroku Saito. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta : PT. Pradya Paramita.
- [7] Wildania, Ridha. 2017. *Pengaruh Waktu Tempering Terhadap Kekerasan dan Ketangguhan Pisau Dapur Berbahan Baja Bekas Pegas Daun*. Surabaya : Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [8] Perwira, Mada. 2017. *Pengaruh Temperatur Tempering Terhadap Perbaikan Sifat Mekanik Pisau Dapur Dari Baja JIS SUP 9A Bekas*. Surabaya: Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

- [9] Setiawan, Indra., dan Muhammad Sakti Nur. *Meningkatkan Mutu Baja SUP 9 pada Pegas Daun Dengan Proses Laku Panas*. Jakarta : Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah.
- [10] Rizal, Reza, B.I. 2016. *Analisis Pengaruh Variasi Temperatur pada Perlakuan Panas Pengerasan Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Material Baja Leaf Spring*. Surabaya. Program Studi Diploma III, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [11] Muslim, Khoirul. 2008. *Pengaruh Perlakuan Quench Temper dan Spheroidized Anneal Terhadap Sifat Mekanis Baja Perkakas*. Depok : Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [12] Kai corporation. 1908. *Kitchen Knives*. Tokyo, Japan

# LAMPIRAN 1

## KONVERSI SUDUT HASIL PENGUJIAN IMPAK

\*\*\*\*\* 衝擊試驗機能量對照表\*\*\*\*\*

PT. ANUGERAH SISTEMA DERKASA					
公司					
儀器型式	CHARPY	儀器序號	#7316	製造日期	2005/10/27
儀器能量	10	KG — M	擺錘重量(W)	13.17	KG
擺錘週期(T)	1.49		擺錘搖高角度( $\alpha$ )	140 °	
擺錘轉軸中心至重心距離(R)	0.45	M	衝擊速率(V)	4.370	
擺錘之力距(WR)	5.927		能量損失(L)	0.020	

CAPACITY ABSORBED : KG — M

0	10.466	31	9.620	62	7.322	93	4.230	124	1.226
1	10.466	32	9.566	63	7.231	94	4.127	125	1.141
2	10.463	33	9.510	64	7.138	95	4.023	126	1.056
3	10.458	34	9.453	65	7.045	96	3.920	127	0.973
4	10.452	35	9.395	66	6.950	97	3.818	128	0.891
5	10.444	36	9.335	67	6.856	98	3.715	129	0.810
6	10.434	37	9.273	68	6.760	99	3.613	130	0.730
7	10.422	38	9.210	69	6.664	100	3.511	131	0.652
8	10.409	39	9.146	70	6.567	101	3.409	132	0.574
9	10.393	40	9.080	71	6.469	102	3.308	133	0.498
10	10.376	41	9.013	72	6.371	103	3.207	134	0.423
11	10.358	42	8.944	73	6.273	104	3.106	135	0.349
12	10.337	43	8.874	74	6.174	105	3.006	136	0.277
13	10.315	44	8.803	75	6.074	106	2.906	137	0.206
14	10.290	45	8.731	76	5.974	107	2.807	138	0.136
15	10.265	46	8.657	77	5.873	108	2.709	139	0.057
16	10.237	47	8.582	78	5.772	109	2.610	140	0.000
17	10.208	48	8.506	79	5.671	110	2.513		
18	10.176	49	8.428	80	5.569	111	2.416		
19	10.144	50	8.349	81	5.467	112	2.320		
20	10.109	51	8.270	82	5.365	113	2.224		
21	10.073	52	8.189	83	5.262	114	2.129		
22	10.035	53	8.107	84	5.159	115	2.035		
23	9.995	54	8.023	85	5.056	116	1.942		
24	9.954	55	7.939	86	4.953	117	1.849		
25	9.911	56	7.854	87	4.850	118	1.758		
26	9.867	57	7.768	88	4.747	119	1.667		
27	9.821	58	7.681	89	4.643	120	1.577		
28	9.773	59	7.592	90	4.540	121	1.488		
29	9.723	60	7.503	91	4.437	122	1.399		
30	9.672	61	7.413	92	4.333	123	1.312		

\*\*\* FORMULA : = W\*R\*(COS( $\beta$ )-COS( $\alpha$ )) \*\*\*

弘達儀器股份有限公司

## LAMPIRAN 2

### TABEL KONVERSI NILAI KEKERASAN

Tabel konversi nilai kekerasan [8]

Hardness				Tensile strength		Hardness				Tensile strength		Hardness				
HV	HRB	HB	HRC	kp/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	HV	HRC	HB	kp/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	HV	HRC	HR	HRC	HR	30N
100	57-0	95	33	325		400	40-8	380-0	130	1275	700	60-1	77-6			
110	62-0	105	36	355		410	41-8	389-5	134	1315	710	60-5	78-0			
120	67-0	114	39	380		420	42-7	399-0	137	1345	720	61-0	78-4			
130	71-0	124	43	420		430	43-6	408-5	141	1385	730	61-4	78-7			
140	75-1	133	46	450		440	44-5	418-0	144	1410	740	61-8	79-1			
150	78-8	143	49	480		450	45-3	423	147	1440	750	62-1	79-4			
160	82-1	152	52	510		460	46-1	432	150	1470	760	62-5	79-7			
170	85-0	162	55	540		470	46-9	442	153	1500	770	62-9	80-0			
180	87-3	171	58	570		480	47-7	450	156	1530	780	63-3	80-4			
190	89-6	181	62	600		490	48-4	456	160	1570	790	63-6	80-7			
200	91-8	190	65	635		500	49-1	466	164	1610	800	64-0	81-1			
210	93-7	200	68	670		510	49-8	475	168	1640	810	64-3	81-4			
220	95-5	209	71	695		520	50-5	483	172	1680	820	64-7	81-7			
230	97-0	219	74	725		530	51-1	492	176	1725	830	65-0	81-9			
240	HRC	228	77	755		540	51-7	500	180	1765	840	65-3	82-2			
250	22-2	238	80	785		550	52-3	509	184	1805	850	65-6	82-5			
260	24-0	247	84	825		560	53-0	517	188	1845	860	65-9	82-7			
270	25-6	257	87	855		570	53-6	526	193	1890	870	66-1	82-9			
280	27-1	266	90	880		580	54-1	535	198	1940	880	66-4	83-1			
290	28-5	276	94	920		590	54-7	543	203	1990	890	66-7	83-3			
300	29-8	285	97	950		600	55-2	552			900	67-0	83-6			
310	31-0	295	101	990		610	55-7	560			910	67-2	83-8			
320	32-2	304	104	1020		620	56-3	569			920	67-5	84-0			
330	33-3	314	107	1050		630	56-8	577			930	67-8	84-2			
340	34-4	323	110	1080		640	57-3	586			940	68-0	84-4			
350	35-5	333	114	1115		650	57-8				950	68-4	84-6			
360	36-6	342	117	1150		660	58-3				960	68-7	84-8			
370	37-7	352	120	1175		670	58-8				970	69-0	85-0			
380	38-8	361	123	1205		680	59-2				980	69-3	85-2			
390	39-8	370	127	1245		690	59-7				1000	69-9	85-6			



## LAMPIRAN 4

### TABLE HARDNESS OF SOME TOOL STEEL

STEEL TYPE	HARDENING, °F	QUENCHING MEDIUM	TEMPERING RANGE, °F	APPROX HARDNESS ROCKWELL C
W1	1400-1550	Brine or water	300-650	65-50
W2	1400-1550	Brine or water	300-650	65-50
S1	1650-1800	Oil	400-1200	58-40
S5	1600-1700	Oil	350-800	60-50
O1	1450-1500	Oil	300-500	62-57
A2	1700-1800	Air	350-1000	62-57
A4	1500-1600	Air	350-800	62-54
D2	1800-1975	Air	400-1000	61-54
D3	1700-1800	Oil	400-1000	61-54
D4	1775-1850	Air	400-1000	61-54
H11	1825-1875	Air	1000-1200	54-38
H19	2000-2200	Air or oil	1000-1300	59-40
H21	2000-2200	Air or oil	1100-1250	54-36
H23	2200-2350	Air or oil	1200-1500	47-30
H26	2150-2300	Salt, oil, or air	1050-1250	58-43
H41	2000-2175	Salt, oil, or air	1050-1200	60-50
T1	2300-2375	Oil, air, or salt	1000-1100	65-60
T4	2300-2375	Oil, air, or salt	1000-1100	66-62
T6	2325-2400	Oil, air, or salt	1000-1100	65-60
M1	2150-2225	Oil, air, or salt	1000-1100	65-60
M2	2175-2250	Oil, air, or salt	1000-1100	65-60
M6	2150-2200	Oil, air, or salt	1000-1100	66-61
M41	2175-2220	Oil, air, or salt	1000-1100	70-65
L2	1450-1550	Water	350-1000	63-45
L6	1550-1700	Oil		
L6	1475-1550	Oil	350-1000	62-45
F2	1450-1600	Water or brine	300-500	66-62
P2	1525-1550‡	Oil	300-500	64-58§
P20	1500-1600	Oil	900-1100	37-28

## BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 8 April 1995 di Lamongan, provinsi Jawa Timur. Pendidikan formal yang pernah ditempuh meliputi MI Muhammadiyah 02 Laren, MTs. Muhammadiyah 14 Laren, dan SMA Negeri 1 Babat. Setelah itu penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Program Studi D3 Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi dan mengambil bidang studi

Manufaktur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2014.

Selama masa pendidikan di perkuliahan penulis aktif mengikuti Tim Riset Mobil Etanol Basudewo D3 Teknik Mesin, penulis menjabat sebagai koordinator *electrical* 2016-2017. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. SEMEN INDONESIA (persero) Tbk. Di *section of workshop* pabrik Tuban pada bulan Agustus tahun 2016. Penulis juga mengikuti kegiatan-kegiatan non akademik yang ada baik didalam maupun diluar jurusan seperti LKMM, pelatihan leadership, seminar-seminar, dan lain-lain. Penulis juga pernah menjadi asisten lab perautan Departemen Teknik Mesin Industri selama satu periode kepengurusan. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi dapat menghubungi E-mail : [shahinshohibulawliya@gmail.com](mailto:shahinshohibulawliya@gmail.com)