

TUGAS AKHIR - TM 141585

# **PENGARUH TEMPERATUR PENEMPAAN PADA BAJA 0.5CCrMnSi DAN JIS SUP 9 TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO**

**AYU KRISTINA KUSUMASARI SUPRAPTO**  
NRP 2113 100 011

Dosen Pembimbing  
Suwarno, ST., MSc., PhD.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018



**TUGAS AKHIR - TM 141585**

**PENGARUH TEMPERATUR PENEMPAAN PADA  
BAJA 0.5CCrMnSi DAN JIS SUP 9 TERHADAP  
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO**

**AYU KRISTINA KUSUMASARI SUPRAPTO  
NRP 2113 100 011**

**Dosen Pembimbing  
Suwarno, ST., MSc., PhD.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018**



**FINAL PROJECT - TM 141585**

**EFFECT OF FORGING TEMPERATURE FOR  
0.5CCrMnSi AND JIS SUP 9 ON HARDNESS  
AND MICRO HARDNESS**

**AYU KRISTINA KUSUMASARI SUPRAPTO  
NRP 2113 100 011**

**Academic Supervisor  
Suwarno, ST., MSc., PhD.**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018**

**PENGARUH TEMPERATUR PENEMPAAN PADA  
BAJA 0.5CCrMnSi DAN JIS SUP 9 TERHADAP  
KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**AYU KRISTINA KUSUMASARI SUPRPTO**

NRP. 2113 100 011

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Suwarno, ST., MSc., PhD. (Pembimbing)  
NIP. 198005202005011003
2. Dr. Eng. Sutikno, ST., MT. (Penguji I)  
NIP. 197407032000031001
3. Indra Sidharta, ST., MSc. (Penguji II)  
NIP. 198006192006041004
4. Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA. (Penguji III)  
NIP. 195012111985021001



**SURABAYA**

**JANUARI, 2018**



# **PENGARUH TEMPERATUR PENEMPAAN PADA BAJA 0.5CCrMnSi DAN JIS SUP 9 TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO**

**Nama Mahasiswa : Ayu Kristina Kusumasari S.**  
**NRP : 2113 100 011**  
**Departemen : Teknik Mesin**  
**Dosen Pembimbing : Suwarno, ST., MSc., PhD.**

## **Abstrak**

*Pisau merupakan salah satu teknologi yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Pemilihan bahan dari pisau berkembang seiring dengan perkembangan kebutuhan manusia yang semakin beraneka ragam. Pada dasarnya kualitas dari sebuah pisau ditentukan oleh bahan dan proses pembuatan. Untuk pisau dengan bahan dasar logam dibuat dengan proses tempa. Proses penempaan menghaluskan struktur butir dan mengurangi proses permesinan. Butir yang halus searah dengan penempaan dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan pisau. Baja yang baik untuk bahan pisau pada umumnya mempunyai kandungan karbon 0.5 sampai 0.7 persen. Sebagai upaya untuk mengetahui pengaruh komposisi kimia dan temperatur penempaan terhadap kekerasan baja dan struktur mikro dari pisau, penelitian ini dilakukan.*

*Pada penelitian ini dilakukan proses penempaan pada baja 0.5CCrMnSi dan JIS SUP 9. Sebelum dilakukan penempaan, semua bahan terlebih dahulu dilakukan proses annealing untuk mempersiapkan ke proses selanjutnya. Temperatur annealing adalah 880°C dan penahanan dilakukan selama 1 jam kemudian dibiarkan dingin di dalam tungku. Penempaan dilakukan dalam tiga tahap siklus dengan dua variasi temperatur. Pada tahap pertama dan kedua penempaan dilakukan pada*

*temperatur 1000°C sampai 700°C. Penempaan pada tahap 3 diberikan variasi, 750°C sampai 600°C untuk variasi 1 dan 650°C sampai 500°C untuk variasi 2. Setelah itu dilakukan pengujian yaitu, uji kekerasan dan pengamatan struktur mikro.*

*Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa pisau dengan penempaan temperatur variasi kedua memiliki peningkatan kekerasan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan variasi satu. Peningkatan kekerasan tertinggi pada baja JIS SUP 9 sebesar 112 HV pada permukaan dan 106.2 HV pada penampang. Peningkatan kekerasan pada baja 0.5CCrMnSi adalah sebesar 158.5 HV pada permukaan dan 21.3 HV pada penampang. Hasil uji struktur mikro didapatkan bahwa temperatur penempaan mempengaruhi ukuran butir. Struktur mikro dengan variasi temperatur kedua memiliki ukuran butir yang lebih kecil bila dibandingkan dengan variasi temperatur pertama. Terdapat pola pada permukaan pisau dengan bahan JIS SUP 9 dan 0.5CCrMnSi.*

***Kata kunci : pisau, penempaan, temperatur penempaan, JIS SUP 9, 0.5CCrMnSi***

# **EFFECT OF FORGING TEMPERATURE FOR 0.5CCrMnSi AND JIS SUP 9 ON HARDNESS AND MICRO STURCTURE**

**Student's Name : Ayu Kristina Kusumasari S.**  
**Student's Number : 2113 100 011**  
**Department : Mechanical Engineering**  
**Lecturer Supervisor : Suwarno, ST., MSc., PhD.**

## **Abstract**

*Blade is one of a technology which is often encountered in everyday life. Material selection of blade evolve along with the increasingly diverse needs of human being. Essentially the quality of a blade is determined by the materials and the manufacturing process used. Stee. For a blade with a metal base material made with the process of forging. The forging process smooths the grain structure and reduces the machining process. The fine grains in the direction of the forging can increase the strength and hardness of the blade. A good steel for knife generally has a carbon content of 0.5 to 0.7 percent. This research was conducted in attempt to find out the influence of chemical composition and forging temperature on steel hardness and micro structure of the blades.*

*This research was conducted in the process of forging steel in 0.5 CCrMnSi and JIS SUP 9. Prior to forging, all of the material is first carried out the process of annealing for preparing to next process. The annealing process performed at 880°C with 1 hour holding time, than allowed to cool in the furnace. Forging is done in three stages of the cycle with two different temperature variations at each stage. The forging will be carried out in three stages of the cycle with two temperature variation. In the first and second stage of forging is done at temperatures 1000°C to 700°C. the forging at stage three is given*



*variations, 750°C to 600°C for variation 1 and 650°C to 500°C for variation 2. The test for specimens is hardness and microstructure observation.*

*From this research, its found that blade with second variation of forging temperature have a higher hardness increase. The highest hardness increae in JIS SUP 9 steel is 112 HV on surface and 106.2 HV at cross section. Increased hardess number of 0.5CCrMnSi steel is 158.5HV at surface and 21.3 HV at cross section. Microstructure observation showed that the forging temperature affected the grain size. The microstructure with the second temperature variation has a finer grain sized than the first variation one. There is a pattern on the surface of the JIS SUP 9 and 0.5CCrMnSi steel blades.*

***Keywords : blade, forging, forging temperature, JIS SUP 9, 0.5CCrMnSi***

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah* atas berkat rahmat dan petunjuk Allah SWT penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul: **Pengaruh Temperatur Penempaan pada Baja 0.5CCrMnSi dan JIS SUP 9 terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro**. Penulis ingin berterima kasih kepada orang-orang yang ikut terlibat dalam penulisan Tugas Akhir ini. Secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. **Bapak, Ibu dan Mas** penulis yang selalu mengirimkan doa kepada penulis. Tanpa mereka, penulis tidak akan sanggup untuk bertahan sampai detik ini.
2. **Suwarno, ST., MSc., PhD.** selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dengan sabar selama penulis mengerjakan Tugas Akhir.
3. **Indra Sidharta, ST., MSc., Dr. Eng. Sutikno, ST., MT., Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA., dan Fahmi Mubarak, ST., MSc., PhD.** selaku dosen pembahas yang telah memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan Tugas Akhir penulis.
4. **Luthfan N. Lamoni** selaku *Damascus Squad* yang telah bekerjasama dengan baik dari awal hingga akhir penulisan Tugas Akhir penulis.
5. **KRT. Subandi** selaku penempa dan akomodator penulis selama di Solo. **Pak Sardi** *squad* yang telah membantu kelancaran penempaan. **Bu Bandi, Anak Pak Bandi, Mas Mbak Orang Tua Juna dan Juna** yang telah membuat menempa menjadi lebih menyenangkan.
6. **Harlista dan Meidina** selaku teman seperjuangan penyusunan dalam suka maupun duka yang telah banyak berkontribusi dalam memberikan bantuan dan dukungan.
7. **Fitri, Ananta, Rizqu dan Joko** selaku Warga Republik Metalurgi Raya yang telah menemani dan membantu penulis selama bekerja di laboratorium. **Rayhan, Galih, Fahmi, Cory, Mas Safaat, Mas Ridho, Mas Hilmi, Mas Fendi,**

**Fitri Kecil, Engra, Yola, Zuli, Usi, Mona, Mas Khisni, Mas Faisal, Wira, Anto, Izda, Mukor, Zikhrul dan Mas Singo** yang juga telah memberikan dukungan kepada penulis.

8. **Pak Mantri, Mas Agus dan Pak Gatot** selaku karyawan Laboraturium Metalurgi.
9. **Welly, Tukul dan Afif** selaku teman seperjuangan menjadi “OC Acara 2014” .
10. **Tiara, Anggita, Shofia** selaku *fans* setia penulis, **Amanda dan Nadya** selaku tim sukses penulis.
11. **Gladia, Richa, Sandra, Kevin dan Nono** *konco lawas* penulis yang tak henti-hentinya memberikan dukungan kepada penulis ketika penat.
12. **MMC 2014, Smart Ladies dan Keluarga Besar “M56”** selaku angkatan penulis yang telah menerjang badai dan panas saling bahu-membahu.
13. **2113100119** yang telah membuat kehidupan perkuliahan penulis menjadi lebih berwarna.
14. Semua pihak yang telah terlibat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak mungkin disebutkan satu-persatu.

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 dikembangkan.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
Abstrak.....	v
Abstract.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1    Latar Belakang.....	1
1.2    Rumusan Masalah.....	3
1.3    Batasan Masalah.....	3
1.4    Tujuan Penelitian.....	4
1.5    Manfaat Penelitian.....	4
BAB II.....	5
KAJIAN PUSTAKA.....	5
2.1    Penelitian Terdahulu.....	5
2.2    Bahan-Bahan Pisau.....	10
2.2.1    Baja 0.5CCrMnSi.....	13
2.2.2    Baja JIS SUP 9.....	14
2.3    Proses Tempa ( <i>Forging</i> ).....	15

2.4	Perlakuan Panas ( <i>Heat Treatment</i> ) .....	18
2.5	Pembuatan Pisau Damaskus .....	23
2.5.1	Pembuatan Ingot .....	23
2.5.2	Penempaan Ingot .....	24
2.5.3	Proses Pembuatan Pisau.....	25
BAB III .....		27
BAHAN DAN METODOLOGI PENELITIAN.....		27
3.1	Bahan.....	27
3.2	Peralatan .....	27
3.2.1	Alat Ukur .....	28
3.2.2	Alat Potong.....	28
3.2.3	Tungku Elektrik.....	28
3.2.4	Mesin Optical Emission Spectrometer .....	29
3.2.5	Tungku Pemanas.....	29
3.2.6	Palu dan Landasan .....	30
3.3	Tahapan Penelitian .....	31
3.4	Metode Pembuatan Pisau.....	32
3.4.1	Perlakuan Panas .....	32
3.4.2	Pemanasan .....	32
3.4.3	Penempaan.....	33
3.4.4	Proses Gerinda.....	34
3.5	Pengujian Metalografi .....	34
3.6	Pengujian Kekerasan .....	37

BAB IV .....	39
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....	39
4.1    Pengujian Komposisi Kimia .....	39
4.2    Pisau Tempa Manual .....	39
4.3    Pengujian Kekerasan .....	41
4.3.1    Kekerasan pada Bahan Pisau setelah Penempaan	43
4.3.2    Pembahasan Kekerasan .....	45
4.4    Pengamatan Struktur Mikro.....	47
4.4.1    Struktur Mikro Sebelum Penempaan .....	47
4.4.2    Struktur Mikro Setelah Penempaan .....	48
4.4.3    Pembahasan Struktur Mikro .....	52
BAB V .....	55
KESIMPULAN DAN SARAN .....	55
5.1    Kesimpulan.....	55
5.2    Saran.....	55
LAMPIRAN.....	59
BIODATA PENULIS .....	67

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a) Pedang damaskus sebelum dipotong-potong. (b) Pola permukaan pedang damaskus .....	6
Gambar 2.2 Susunan partikel <i>cementite</i> (a) Perbesaran 40x (b) Perbesaran 250x (c) Perbesaran 800x (Peterson dkk., 1990) .....	7
Gambar 2.3 Mikrosegregasi yang terbentuk pada interdendrit .....	8
Gambar 2.4 Diagram CCT French Steel 45 MS 6 (0.45% C – 1.5% Mn – 1.34% Si – 0.03% Cr) (Voort, 1991) .....	14
Gambar 2.5 Diagram CCT JIS SUP 9 (Voort, 1991).....	15
Gambar 2.6 Proses penampaan pisau .....	16
Gambar 2.7 Batas temperatur pengerjaan panas (Schey, 2000)..	16
Gambar 2.8 Perubahan bentuk akibat penempaan .....	18
Gambar 2.9 Diagram Fe-Fe <sub>3</sub> C (ASM Handbook Vol. 4 <i>Heat Treating</i> , 1991).....	19
Gambar 2.10 Grafik CCT diagram baja eutektik (Schey, 2000)..	22
Gambar 2.11 (a) Bahan-bahan ingot pisau damaskus. (b) Pemanasan <i>crucible</i> di dalam tungku. ....	24
Gambar 2.12 (a) Pemanasan ingot dengan tungku. (b) Ingot pisau damaskus pada setiap tahap penempaan (Verhoeven, 2001) .....	25
Gambar 2.13 Pola damask pada pisau damaskus (Verhoeven, 2001) .....	26
Gambar 3.1 Skema spesimen .....	27
Gambar 3.2 <i>Nobertherm Furnace</i> .....	29



Gambar 3.3 Shimidzu PDA 7000 <i>Optical Emission Spectrometer</i> .....	29
Gambar 3.4 Tungku tradisional .....	30
Gambar 3.5 Landasan dan palu .....	30
Gambar 3.6 Diagram Alir Penelitian .....	31
Gambar 3.7 Skema grafik <i>annealing</i> menggunakan <i>furnace</i> .....	32
Gambar 3.8 Pisau dipotong melintang.....	34
Gambar 3.9 Spesimen diberi <i>mounting</i> .....	35
Gambar 3.10 Metkon <i>Grinder and Polisher</i> .....	36
Gambar 3.11 Mikroskop Optik <i>Olympus BX60M</i> .....	36
Gambar 3.12 Mesin Uji Kekerasan <i>Micro Hardness</i> .....	37
Gambar 4.1 Pisau hasil tempa manual.....	39
Gambar 4.2 Lokasi indentasi spesimen .....	41
Gambar 4.3 Grafik nilai rata-rata kekerasan pisau baja JIS SUP 9 .....	43
Gambar 4.4 Grafik nilai rata-rata kekerasan pisau baja 0.5CCrMnSi .....	44
Gambar 4.5 Struktur mikro JIS SUP 9 sebelum ditempa. Nital 2%. 100x dan 500x.....	47
Gambar 4.6 Struktur mikro baja 0.5CCrMnSi sebelum ditempa. Nital 2%. 100x dan 500.....	47
Gambar 4.8 Struktur mikro (a) permukaan dan (b) penampang JIS SUP 9 T2. Nital 2%. 100x dan 500x .....	49
Gambar 4.9 Struktur mikro permukaan baja JIS SUP 9 pada (a) T1 dan (b) T2. <i>Vilella reagent</i> . 100x.....	49

Gambar 4.10 Struktur mikro (a) permukaan dan (b) penampang 0.5CCrMnSi T1. Nital 2%. 100x dan 500x .....	50
Gambar 4.11 Struktur mikro (a) permukaan dan (b) penampang 0.5CCrMnSi T2. Nital 2%. 100x dan 500x .....	51
Gambar 4.12 Struktur mikro permukaan baja 0.5CCrMnSi pada (a) T1 dan (b) T2. <i>Vilella reagent</i> . 100x.....	51

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Tensile Properties</i> Baja Damaskus .....	8
Tabel 2.2 Presentase karbon dan kegunaannya.....	11
Tabel 2.3 Variasi Warna dan Temperatur Pada Api .....	17
Tabel 3.1 Bahan penelitian dan komposisi kimia .....	27
Tabel 3.2 Temperatur pemanasan.....	33
Tabel 3.3 Rancangan penempaan .....	33
Tabel 3.4 Rancangan Pengujian Mikro Struktur.....	35
Tabel 3.5 Rancangan Pengujian Kekerasan.....	38

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Alat potong, khususnya pisau, merupakan salah satu teknologi yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Terdapat berbagai fungsi pisau diantaranya pisau dapur, pisau untuk pasukan militer, bahkan pisau hanya untuk sekedar koleksi atau hiasan. Pemilihan bahan dari pisau berkembang seiring dengan perkembangan kebutuhan manusia yang semakin beraneka ragam. Pada dasarnya kualitas dari sebuah pisau ditentukan oleh bahan dan proses pembuatan yang digunakan. Salah satu bahan yang digunakan adalah logam. Untuk pisau dengan bahan dasar logam dibuat dengan proses tempa.

Penempaan merupakan pembentukan logam yang dilakukan dengan mendeformasi plastis suatu bahan. Penempaan dilakukan dengan pemberian beban yang berulang-ulang atau membentuk siklus. Proses penempaan mengecilkan struktur butir dan mengurangi proses permesinan. Ukuran butir dalam proses penempaan dipengaruhi oleh temperatur, komposisi kimia dan proses mekanik (Schroen, 1984). Ukuran butir mengecil seiring dengan menurunnya temperatur penempaan. Bahan hasil proses tempa dapat memiliki bentuk butir yang halus. Butir yang halus searah dengan penempaan dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan pisau.

Pisau buatan pande besi tradisional kawisanyar di Gresik menggunakan baja-baja bekas seperti *spring steel*. *Spring steel* mempunyai komposisi kimia 0.62% C, 0.85% Mn, 0.01% P, 0.24% Si, 0.04% Ni, 0.89% Cr, 0.01% Mo, 0.03%. Pande besi tradisional memiliki pengetahuan metalurgi yang terbatas sehingga pisau-pisau yang dihasilkan berkualitas rendah dan kurang bersaing dengan pisau-pisau impor. Namun kualitas pisau buatan pande besi tradisional dapat ditingkatkan dengan pemilihan bahan dan proses penempaan serta proses finishing

yang tepat (Bhalkaya, 2016). Pisau tersebut memiliki kekerasan pada penampang melintang berkisar antara 39-41 HRC, sedangkan permukaan tumit pisau (*heel*) nilai kekerasan berkisar antara 35-44 HRC dan pada sisi permukaan tajam (*edge*) sekitar 53-58 HRC. Pengamatan metalografi menggunakan mikroskop optik menunjukkan butiran-butiran perlit dan bainit di sepanjang permukaan pisau. Hal ini berbeda dengan fenomena yang terjadi pada permukaan pisau damaskus yang dibuat oleh pande besi di Timur Tengah pada abad 17.

Peneliti terdahulu telah melakukan penelitian tentang beberapa bahan pedang/pisau damaskus. Unsur-unsur baja damaskus menunjukkan bahwa terdapat 1,60% C; 0,56% Mn; 0,17% P; 0,02% S; 0,048% Si; 0,012% Ni; 0,048% Cu; 0,01% V dan 0,002% Ti (Fatollahi, 2011). Pisau damaskus memiliki kekerasan 51 HRC. Karakteristik permukaan pisau damaskus menunjukkan *lamellar* cementit dan ferit berbentuk pola yang bergelombang atau sering disebut pola damask. Hal ini dipengaruhi oleh proses tempa dan unsur-unsur pengotor seperti V, Mn, Si, S dan P (Verhoeven, 2001). Molibdenum juga memberikan efek yang sama pada tingkat yang lebih rendah, begitu juga kromium, niobium dan mangan.

Baja 0.5CCrMnSi mempunyai komposisi kima adalah 0,5% C; 1,95% Si; 1,7% Mn; 0,3% Ni; 1,1% Cr; 0,007% V; 0,01% Mo. Baja ini mempunyai kekerasan 36.4 HRC. Baja cor tersebut mempunyai kandungan unsur pengotor yang dapat dengan efektif memunculkan pita karbida pada baja. Intensitas porositas dan ukuran porositas dari baja ini berkurang setelah dilakukan proses penempaan (Yuko, 2017). Hal tersebut membuat kekerasan baja meningkat menjadi 37 HRC.

Berdasarkan hal-hal yang dijelaskan tentang pentingnya pemilihan bahan dan proses penempaan, maka perlu dilakukan penelitian tentang bahan pisau untuk mengamati fenomena yang meliputi kekerasan dan struktur mikro. Selain itu karena belum ada penelitian untuk mengetahui perilaku dari Baja 0.5CCrMnSi dan JIS SUP 9 terhadap temperatur penempaan dengan variasi

temperatur 1000°C sampai 600°C dan 1000°C sampai 500°C. Pembuatan pisau dilakukan dengan penempaan manual oleh pande besi tradisional.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur penempaan pada baja 0.5CCrMnSi dan JIS SUP 9 terhadap kenaikan kekerasan pisau
2. Bagaimana pengaruh variasi temperatur penempaan pada baja 0.5CCrMnSi dan JIS SUP 9 terhadap perubahan struktur mikro pisau

## **1.3 Batasan Masalah**

Agar penelitian dapat berjalan lancar secara terarah dan mencapai tujuan yang diinginkan, batasan masalah yang diberlakukan sebagai berikut :

1. Penempaan dilakukan pada baja 0.5CCrMnSi, JIS SUP 9 dengan dimensi 75 x 15 x 30 mm.
2. Penempaan tahap awal dilakukan pada temperatur 1000°C sampai 700°C
3. Temperatur divariasikan pada tahap 3 yaitu untuk variasi 1 adalah 750°C dan variasi 2 adalah 650°C
4. Penempaan dilakukan secara manual pada pande besi tradisional
5. Semua perlakuan penempaan dilakukan oleh operator yang sama.
6. Alat uji dan alat ukur layak dan terkalibrasi

Asumsi yang ditetapkan pada penelitian ini adalah seluruh gaya pukulan yang diberikan selama proses penempaan diasumsikan sama.



#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi temperatur penempaan pada baja 0.5CCrMnSi dan JIS SUP 9 terhadap kenaikan kekerasan dan perubahan struktur mikro pisau.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

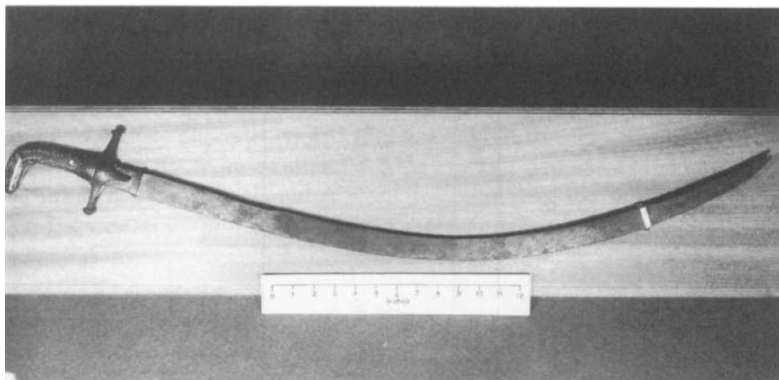
Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai bahan referensi bagi penelitian sejenisnya
2. Penambah pengetahuan tentang proses pembuatan pisau menggunakan baja 0.5CCrMnSi dan JIS SUP 9.

## BAB II KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

Peneliti terdahulu telah melakukan penelitian tentang beberapa bahan pisau Damaskus. Komposisi kimia pisau Damaskus terdiri dari 1,60% C; 0,56% Mn; 0,17% P; 0,02% S; 0,048% Si; 0,012% Ni; 0,048% Cu; 0,01% V dan 0,002% Ti (Fatollahi, 2011). Ditinjau dari kandungan karbon sejumlah 1,6% maka termasuk dalam baja *hyper-eutectoid*. Struktur mikro dari baja *hyper-eutectoid* adalah perlit (cementit lamel dan ferit) dan butiran-butiran cementit. Ukuran dari butiran cementit bervariasi berkisar antara 2-20  $\mu\text{m}$  dengan ketebalan antara 12-30  $\mu\text{m}$  (Peterson, dkk., 1990). Lembaran cementit pada pisau damaskus tersusun bergelombang yang dipengaruhi oleh proses penempaan yang tidak terdeformasi secara seragam. Temperatur tempa pada baja UHC berkisar 700-1000°C, hal tersebut untuk menjaga artikel cementit pada permukaan logam membentuk pola damask.



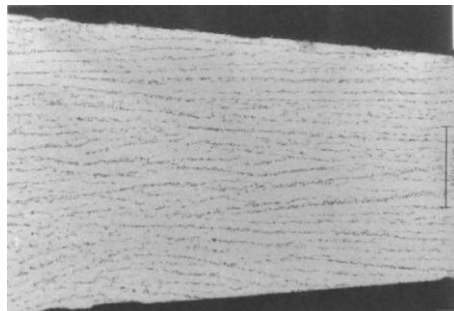
(a)



(b)

Gambar 2.1 (a) Pedang damaskus sebelum dipotong-potong. (b) Pola permukaan pedang damaskus.

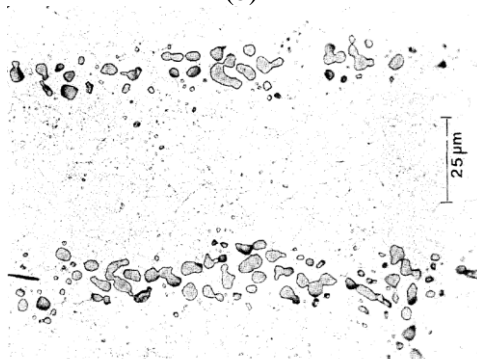
Pembentukan pola damask juga dipengaruhi oleh unsur pengotor pada ingot (Verhoeven, 2001). Penambahan 0,003% V, Mo, Mn, Nb dalam presentase bahan mengakibatkan terjadi pita karbida pada *ingot*. Mikrosegregasi terjadi pada *interdendrit* yang lebih terkonsentrasi. Hal ini disebabkan oleh penambahan unsur-unsur V, Mo, Mn dan Nb kurang dari 0,02%. Pengujian menggunakan *Electron probe microanalysis* (EPMA) pada *ingot* logam Sorel menunjukkan terjadi *microsegregated* pada *interdendrit* yang lebih terkonsentrasi.



(a)

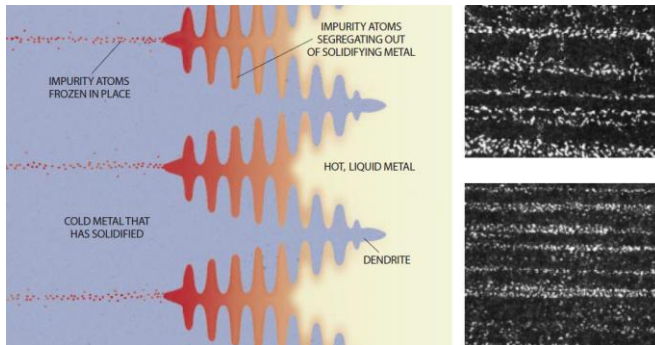


(b)



(c)

Gambar 2.2 Susunan partikel *cementite* (a) Perbesaran 40x (b) Perbesaran 250x (c) Perbesaran 800x (Peterson dkk., 1990)



Gambar 2.3 Mikrosegresi yang terbentuk pada interdendrit.

Penelitian mengenai *mechanical properties* yang dimiliki baja damaskus yang pernah dilakukan oleh Verhoeven dan Peterson didapatkan bahwa nilai kekerasan yang dimiliki baja damaskus berkisar antara  $R_a = 62 - 67$  atau jika dirata-rata dan dikonversikan menjadi satuan HRC menjadi 51 HRC. Dengan nilai kekerasan tersebut baja damaskus yang diuji memiliki nilai *tensile strength*, *yield strength*, *elongation*, dan *reduction area* seperti ditunjukkan pada tabel 2.1. nilai kekerasan dan kekuatan tarik tersebut menunjukkan sifat baja damaskus yang keras namun ulet. Hal ini yang menyebabkan ketahanan aus baja damaskus tinggi dan cocok digunakan sebagai alat potong

Tabel 2.1 *Tensile Properties* Baja Damaskus

Sample No.	Y.S (MPa)	T.S (MPa)	El (%)	R.A (%)
1	731	1030	7,9	31
2	703	1025	9,6	32
3	786	1150	12,6	-
Hot-Rolled 1% C	550	965	6	10

Sumber : Peterson, Dkk., 1990

Terdapat dua metode dalam membentuk pola damask dan mendapatkan susunan struktur mikro dari pisau damaskus yang telah diteliti oleh (Wadsworth dan Sherby, 1980) dan (Verhoeven, 1992). Wadsworth dan Sherby mencoba membuat kembali pedang damaskus dengan metode *welded forging* yaitu menyusun lapisan baja *low carbon steel* dengan baja *high carbon steel* kemudian ditempa dan dilipat hingga terbentuk beberapa lapisan baja. Susunan kedua baja dengan kandungan karbon yang berbeda tersebut menghasilkan pola di permukaan yang hampir mirip dengan pola damask pada *genuine damascus*. Sedangkan Verhoeven mencoba membuat kembali pisau damaskus dengan cara membentuk terlebih dahulu *ingot* untuk mencapai komposisi kimia yang diinginkan kemudian ingot tersebut ditempa hingga membentuk pisau. Metode yang digunakan oleh Verhoeven menunjukkan proses yang lebih alami, yang membentuk pola serta struktur mikro menyerupai dengan *genuine damascus*.

Penelitian tentang pengaruh komposisi kimia dan proses pengerasan telah dilakukan oleh (Bhalkaya, 2017). Bahan-bahan yang dipakai dalam penelitian ini antara lain JIS SUP 9, AISI L-6, AISI 4340 dan AISI 1050. Penelitian dilakukan dengan cara menempa bahan dan kemudian dikeraskan. Temperatur awal dan akhir penempaan dibuat konstan berkisar antara 950-1000°C. dan 650-670°C. Hasil dari penelitian tersebut adalah proses tempa manual dan pengerasan dapat meningkatkan nilai kekerasan. Kekerasan tertinggi terdapat pada baja JIS SUP 9 dengan pengerasan *furnace* adalah sebesar 62 HRC di permukaan dan 60.2 HRC di penampang dan pengerasan tradisional adalah 55.5 HRC di permukaan dan 55.2 HRC di penampang. Hasil pengamatan struktur mikro pada jenis bahan pisau menunjukkan bahwa pada permukaan dan penampang setelah dikeraskan didominasi oleh struktur martensit dan sedikit austenite sisa.

Penelitian tentang bahan yang kuat, keras, tangguh dan tahan aus telah dilakukan oleh (Yuko, 2017). Bahan pada penelitian tersebut adalah Baja 05CCrMnSi dengan kekerasan 36.4 HRC dan kekuatan impak sebesar 0.5 Kpm/cm<sup>2</sup>. Bahan pada

penelitian tersebut ditempa terlebih dahulu sebelum diberikan perlakuan panas. Hasil dari penempaan tersebut didapatkan intensitas porositas berkurang setelah dilakukan proses penempaan dan kekerasan bertambah menjadi 37 HRC begitu juga dengan kekuatan impak bertambah menjadi 0.54 Kpm/cm<sup>2</sup>. Pada penelitian tersebut spesimen dipanaskan sampai temperatur asutenisasi 800°C, 850°C dan 900°C yang kemudian ditahan selama 1 jam. Setelah penahanan, proses pendinginan spesimen dilakukan di dapur, udara dan air (temperatur ruang). Struktur mikro yang didapatkan pada proses pendinginan dapur adalah perlit dan ferit.

## **2.2 Bahan-Bahan Pisau**

Bahan merupakan hal yang sangat penting dalam pembuatan pisau. Terdapat unsur-unsur penyusun logam (Hrisoulas, 1987):

1. Besi (Fe)

Besi adalah logam yang paling umum ditemukan di dalam bumi berbentuk bijih namun tidak pernah ditemukan dalam keadaan murni. Bijih besi dileburkan dan dimurnikan sebelum digunakan. Selama proses peleburan dan pemurnian, unsur-unsur paduan ditambahkan untuk merubah properties dari besi.

2. Karbon (C)

Tabel 2.2 berikut menunjukkan persentase karbon dalam baja beserta dengan aplikasinya adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Presentase karbon dan kegunaannya

Karbon (%)	Kegunaan
0.05-0.01	Paku, kawat, baja lunak
0.10-0.20	Baja umum, baja lunak
0.02-0.03	Sekrup, beberapa bagian mesin, baja lunak
0.03-0.04	Parts mesin
0.04-0.05	Gears, poros roda, direkomendasi untuk part-part dikeraskan dan tidak tepat untuk bahan pisau
0.50-0.60	Linggis, palu, memiliki kekerasan yang sangat baik setelah perlakuan panas dan direkomendasikan untuk bahan pisau yang tangguh dan fleksibel
0.60-0.70	Pedang, kapak, parang, pisau

Sumber: Hrisoulas, 1987.

Kandungan karbon dalam baja sangat bervariasi. Untuk bahan pisau harus memilih kandungan karbon yang sesuai dengan kebutuhan pisau yang digunakan. Kandungan karbon rendah dalam bahan pisau memiliki sifat ketangguhan, sedangkan untuk kandungan karbon tinggi pisau memiliki sifat keras dan tahan aus. Namun kandungan karbon yang sangat tinggi akan menyebabkan pisau menjadi getas dan sulit untuk ditempa.

### 3. Chromium (Cr)

Penambahan Cr meningkatkan kekerasan, kekuatan, ketahanan aus, kemampuan dikeraskan, ketahanan panas, memperlambat laju korosi dan dapat menurunkan regangan.



Sebagian besar penambahan Cr pada baja berkisar antara 0.50-1.50%. beberapa baja tahan karat mengandung 20% Cr. Hal ini dapat mempengaruhi penempaan dan menyebabkan baja mudah retak

4. Timbal (Pb)  
Penambahan unsur Pb dapat meningkatkan *machinability*, namun tidak mempengaruhi properties dari baja. Penambahan Pb dalam baja berkisar antara 0.15-0.30%
5. Mangan (Mn)  
Penambahan unsur Mn dapat meningkatkan kekuatan dan memiliki sifat yang baik setelah perlakuan panas. Kandungan Mn dalam baja berkisar antara 0.5-2.0%
6. Molybdenum (Mo)  
Kandungan Mo dalam baja dapat meningkatkan kekerasan yang seragam dengan ketangguhan, tahan terhadap temperatur tinggi. Paduan Mo dibawah 0.2 persen baik untuk ditempa.
7. Nikel (Ni)  
Ni dapat meningkatkan ketangguhan dan memperkuat baja, tetapi tidak efektif dalam meningkatkan kekerasan. Unsur Ni dalam baja pada umumnya berkisar antara 1-4%. Beberapa baja tahan karat mengandung unsur Ni sampai 36 persen.
8. Fosfor (P)  
P adalah salah satu unsur pengotor dalam baja dalam presentase yang kecil. Kandungan unsur P dalam baja meningkatkan kekuatan *yield* dan mengurangi *ductile* pada temperatur rendah.
9. Silikon (Si)  
Kekuatan tarik dapat ditingkatkan dengan menambah unsur Si. Apabila dikombinasikan dengan unsur-unsur lain juga dapat meningkatkan ketangguhkan. Penambahan 1.5-2.5% unsur Si dalam baja dapat meningkatkan konduktivitas listrik.
10. Sulfur (S)

Salah satu unsur pengotor dalam baja adalah S. Penambahan unsur S dapat meningkatkan *machinability* namun dapat merusak properti logam.

11. Tungsten atau Wolfram (W)

Pebambahan unsur W dalam baja dapat mengecilkan butir yang mengakibatkan baja dapat mempertahankan kekerasan pada temperatur tinggi, tahan aus dan mudah dipertajam namun sulit dalam proses pembentukan.

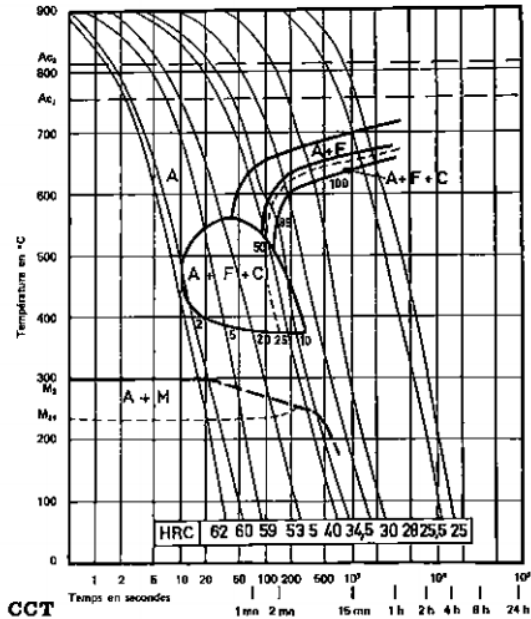
12. Vanadium (V)

Pertumbuhan butir baja dapat terhambat dengan penambahan unsur V. selain itu, struktur baja dapat dikontrol selama proses perlakuan panas. Kandungan V dalam baja berkisar antara 0.15 sampai 0.20 persen. Baja perkakas yang mengandung unsur V dapat meningkatkan kekuatan impak.

### 2.2.1 Baja 0.5CCrMnSi

Baja 0.5CCrMnSi ini mempunyai kekerasan yang tinggi dan ketangguhan yang baik. Kekerasan dari baja ini bernilai 34,6 HRC sedangkan nilai impaknya sebesar 0,4 kpm. Komposisi kimia dari baja ini adalah 0,5% C; 1,95% Si; 1,7% Mn; 0,3% Ni; 1,1% Cr; 0,007% V; 0,01% Mo. Temperatur  $A_3$  dari material ini sebesar 798.158°C

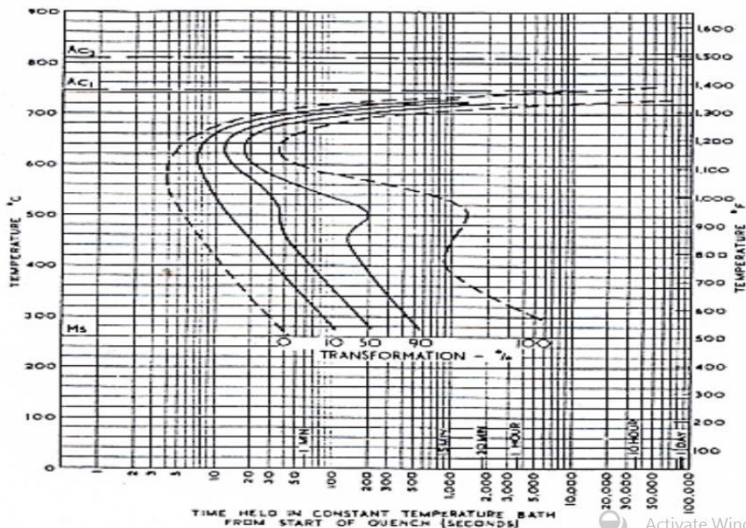
Composition: 0.45% C - 1.50% Mn - 1.34% Si - <0.010% S - 0.017% P - 0.03% Ni - 0.03% Cr - <0.01% Mo - 0.09% Cu - 0.040% V Grain size: 8-10 Austenitized at 925°C (1700°F) for 30 min



Gambar 2.4 Diagram CCT French Steel 45 MS 6 (0.45% C – 1.5% Mn – 1.34% Si – 0.03% Cr) (Voort, 1991)

### 2.2.2 Baja JIS SUP 9

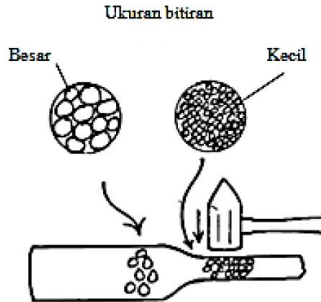
*Spring steel* sering digunakan untuk membuat pisau. Grade terdekat dari baja ini adalah JIS SUP 9 yang mempunyai komposisi kimia 0.62% C, 0.85% Mn, 0.01% P, 0.24% Si, 0.04% Ni, 0.89% Cr, 0.01% Mo, 0.03% Cu. Kekerasan baja JIS SUP 9 berkisar antara 39-43 HRC. Temperatur tempa pada baja ini berkisar antara 400-800°C dengan temperatur pengerasan permukaan 850°C. Media pendingin pada baja JIS SUP 9 air dan oli. Diagram *continuous cooling transformasi* (CCT) ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Diagram CCT JIS SUP 9 (Voort, 1991)

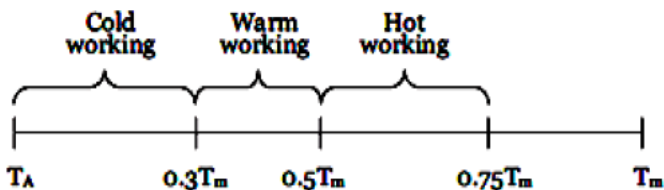
### 2.3 Proses Tempa (*Forging*)

Pembentukan logam yang dilakukan dengan mendeformasi plastis suatu bahan disebut *forging*. Penempaan dilakukan dengan pemberian beban yang berulang ulang atau membentuk siklus. Penempaan dapat dilakukan secara manual maupun otomatis dengan menggunakan mesin. Proses penempaan dapat menghaluskan struktur butir dan mengurangi proses permesinan. Ukuran butir dalam proses penempaan dipengaruhi oleh temperatur, komposisi kimia dan proses mekanik (Schroen, 1984). Proses pemanasan menyebabkan ukuran butir membesar. Bahan hasil proses tempa memiliki bentuk butir halus searah dengan penempaan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Hal tersebut meningkatkan kekuatan dan ketajaman pisau.



Gambar 2.6 Proses penampaan pisau

Dalam proses penempaan terdapat dua macam metode penempaan, yaitu pengerjaan dingin dan pengerjaan panas. Metode pengerjaan panas dilakukan dengan cara bahan dipanaskan terlebih dahulu hingga mencapai temperatur sekitar  $0,75 T_m$ , kemudian dilakukan proses penempaan pada temperatur  $0,6 T_m$  hingga  $0,5 T_m$ . Metode ini akan mengakibatkan struktur dan sifat-sifat logam yang tidak seragam karena deformasi selalu lebih besar pada permukaan. Logam akan mengalami butir rekristalisasi yang lebih kecil pada permukaan, hal ini dapat dihindari dengan mengontrol temperatur pengerjaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Metode ini yang biasa digunakan oleh pande besi tradisional (Schey, 2000).



Gambar 2.7 Batas temperatur pengerjaan panas (Schey, 2000)

Pande besi tradisional melakukan pengontrolan temperatur secara manual berdasarkan warna dari baja dan api yang

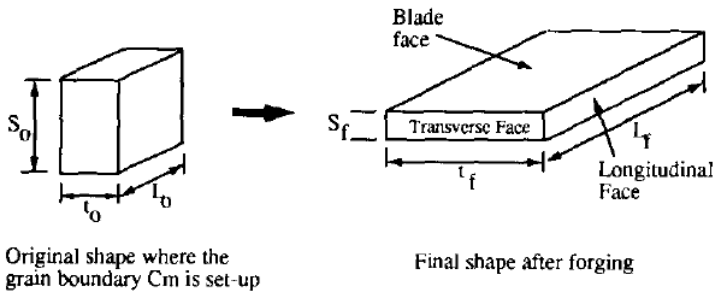
dihasilkan. Secara tidak langsung warna dari api menunjukkan temperaturnya, seperti pada tabel 2.3 dibawah ini. Warna api atau baja yang digunakan ketika melakukan penempaan pada umumnya berwarna *cherry red* atau pada temperatur tempa sekitar 800°C (Hrisoulas, 1987).

Tabel 2.3 Variasi Warna dan Temperatur Pada Api

<b>Temperatur (°F/°C)</b>	<b>Warna</b>
1200°F / 648°C	<i>Dull red</i>
1400°F / 760°C	<i>Red</i>
1500°F / 815°C	<i>Cherry red</i>
1600°F / 871°C	<i>Full cherry red</i>
1800°F / 982°C	<i>Orange</i>
1900°F / 1037°C	<i>Orange yellow</i>
2000°F / 1093°C	<i>Yellow</i>
2200°F / 1204°C	<i>Full yellow</i>
2400°F / 1315°C	<i>Light yellow</i>

Sumber : Hrisoulas, 1987

Pada metode penempaan pisau damaskus, logam akan lebih banyak mengalir ke arah longitudinal pisau dari pada arah transversal (Verhoeven, 1992). Perubahan bentuk selama penempaan didesain untuk memproduksi aliran yang sama banyak pada arah longitudinal maupun transversal, diilustrasikan seperti Gambar 2.8. Faktor penempaan 9 ( $S_0/S_f$ ) mengurangi diameter butir cementit ( $\approx 500 \mu\text{m}$ ) menjadi lembaran cementit dengan jarak 56  $\mu\text{m}$ . Dimana jarak lembaran cementit yang baik untuk pola damaskus adalah 30 sampai 100  $\mu\text{m}$ . Untuk dimensi t, faktor penempaan yang digunakan adalah 3. Kemudian untuk dimensi l juga menggunakan faktor penempaan 3.

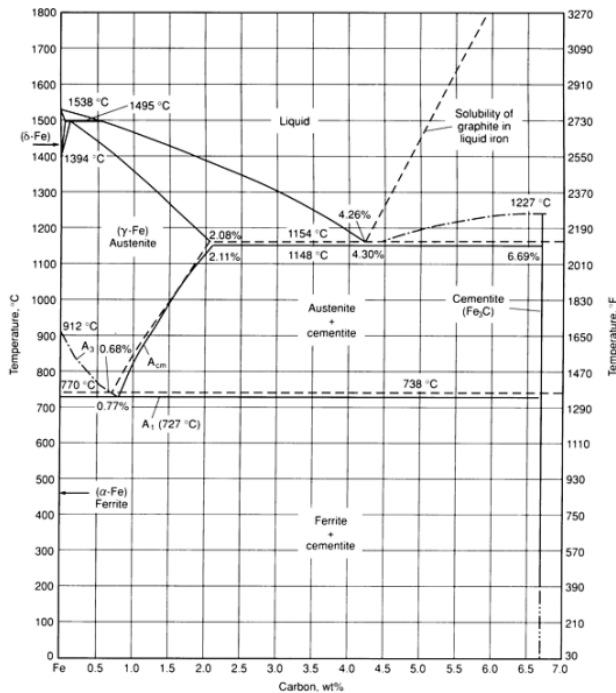


Gambar 2.8 Perubahan bentuk akibat penempaan

## 2.4 Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Perlakuan panas merupakan kombinasi antara proses pemanasan dan pendinginan suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Kecepatan pendinginan dan batas temperatur berpengaruh pada struktur dan sifat logam. Tujuan dari perlakuan panas adalah meningkatkan keuletan, memperbaiki *machineability*, menghilangkan tegangan internal (*internal stress*), menghaluskan butir kristal dan memperbaiki sifat kelistrikan atau kemagnitan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi perlakuan panas adalah temperatur pemanasan, waktu yang diperlukan dan laju pendinginan. Diagram fase besi-karbon seperti pada Gambar 2.9 menunjukkan hubungan antara temperatur, fase yang berbentuk dan batas antara daerah fase. Secara garis besar sistem paduan besi karbon dapat dibedakan menjadi dua yaitu baja dan besi tuang. Baja merupakan paduan antara besi dan karbon dengan kandungan karbon kurang dari 2%. Apabila kandungan karbon lebih dari 2% maka disebut besi tuang (*cast iron*).



Gambar 2.9 Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C (ASM Handbook Vol. 4 *Heat Treating*, 1991)

Terdapat beberapa istilah dalam diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C antara lain sebagai berikut:

1. Ferit merupakan larutan padat karbon dalam besi ( $\alpha$ ). Kelarutan karbon maksimum 0.025% C pada temperatur 723°C sedangkan pada temperatur kamar hanya 0.008% C. Ferit memiliki sifat kekuatan rendah dan keuletan tinggi. Truktur kristal bcc
2. Perlit merupakan campuran antara ferit dan cementit. Fasa ini mengandung karbon maksimum 0.8%C terbentuk pada temperatur 723°C.



3. Austenit merupakan larutan padat karbon dalam besi ( $\gamma$ ), memiliki sifat ketangguhan tinggi. Fase austenite tidak stabil pada temperatur kamar. Struktur Kristal fcc
4. Ledeburit merupakan campuran eutektik dari austenite dan cementit. Mengandung 4.3% C yang terbentuk pada temperatur 1130°C
5. Cementit merupakan karbida besi ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), senyawa interstisial mengandung 6.67% C, memiliki sifat sangat keras, getas, ekuatan tarik rendah. Cementit memiliki struktur Kristal orthorombik
6. Temperatur kritis bawah (*lower critical temperatur*)  $A_1$ , temperatur eutektoid. Temperatur ini tampak garis pada temperatur 723°C. pada temperatur ini terjadi reaksi eutektoid.
 
$$\text{Austenit} \xrightarrow{\text{Cooling}} \text{Perlit (Ferit + Cementit)}$$

$$\text{Perlit (Ferit + Cementit)} \xrightarrow{\text{heating}} \text{Austenit}$$
7. Temperatur kritis atas (*upper critical temperatur*)  $A_3$ , temperatur awal perubahn fase dari  $\gamma$  ke  $\alpha$  pada pendinginan atau akhir perubahan  $\alpha$  ke  $\gamma$  pada pemanasan.

Terdapat beberapa simbol dalam temperatur transformasi. Temperatur transformasi merupakan temperatur dimana perubahan fase terjadi. Atura ini biasanya digunakan untuk mencatat temperatur batas dari daerah transformasi. Simbol-simbol berikut digunakan untuk besi dan baja. Symbol-simbol tersebut antara lain:

1.  $A_{c_{cm}}$

Garis  $A_{c_{cm}}$  merupakan batas kelarutan karbon dalam austenite. Dengan menggunakan diagram kesetimbangan memang mungkin dapat diprediksi struktur yang akan terbentuk pada suatu paduan asalkan pada kondisi ekuilibrium.

2.  $A_{c_1}$

Garis  $A_{c_1}$  merupakan garis temperatur dimana austenite ( $\gamma$ ) mulai terbentuk selama pemanasan. Huruf c diturunkan dari bahasa Perancis yaitu *chauffant*.

3.  $Ac_3$ 

Garis  $Ac_3$  merupakan garis temperatur dimana terjadi transformasi ferit menjadi austenite selama pemanasan

4.  $Ar_{cm}$ 

Pada baja hipereutektoid, temperatur dimana mulai terjadi presipitasi cementit selama pendinginan. Dengan  $r$  diambil dari bahasa Perancis *refroidissant*.

5.  $Ar_1$ 

Merupakan garis temperatur dimana transformasi dari austenite menjadi ferit atau ferit dan cementit selesai selama pendinginan.

6.  $Ar_3$ 

Garis  $Ar_3$  merupakan garis temperatur dimana austenite bertransformasi menjadi ferit selama pendinginan

7.  $Ar_4$ 

Garis temperatur dimana delta ferit bertransformasi menjadi austenite selama pendinginan.

8.  $M_s$  (or  $Ar''$ )

Garis  $M_s$  merupakan garis temperatur dimana mulai terjadi transformasi dari austenite menjadi martensit selama proses pendinginan

9.  $M_f$ 

Garis  $M_f$  merupakan garis temperatur dimana selesainya pembentukan martensit selama pendinginan.

Tahap-tahap proses perlakuan panas adalah sebagai berikut:

a. Pemanasan (*Heating*)

Tujuan dari pemanasan adalah untuk memprtahankan temperatur seragam logam. Pemanasan yang tidak merata pada suatu logam mengakibatkan distorsi atau retak. Temperatur seragam tercapai dengan pemanasan lambat. Salah satu faktor penting dalam pemanasan adalah konduktivitas panas dari logam. Logam dengan konduktivitas panas tinggi membutuhkan waktu pemanasan yang lebih singkat bila dibandingkan dengan logam

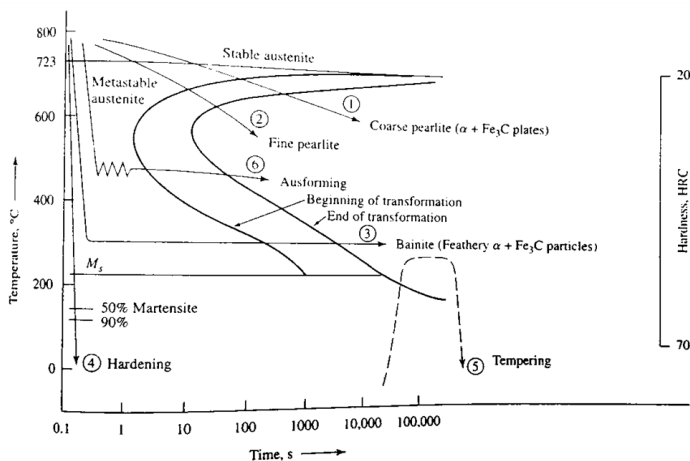
konduktivitas rendah. Dimensi logam juga mempengaruhi waktu pemanasan.

b. Waktu Tahan ( *Holding Time* )

Tahap ini bertujuan untuk mengubah struktur mikro menjadi seperti yang diinginkan. Waktu penahanan tergantung dari komposisi kimia dan massa logam.

c. Pendinginan (*Cooling*)

Pendinginan dilakukan hingga mencapai temperatur kamar. Pendinginan dapat dilakukan dengan berbagai media seperti air, oli dan lainnya. Waktu pendinginan tergantung dari jenis logam dan struktur mikro yang diinginkan. Semakin cepat laju pendinginan maka kekerasan dari material tersebut juga akan semakin tinggi.



Gambar 2.10 Grafik CCT diagram baja eutektik (Schey, 2000)

Berdasarkan Gambar 2.10 menunjukkan beberapa fase yang terjadi setelah proses pendinginan secara terkontrol. Baja eutektik dipanaskan mencapai temperatur austenite stabil yaitu 723°C. Pada proses pendinginan, austenit mulai terurai menjadi ferit, perlit, bainit dan martensit. Waktu pendinginan sangat

berpengaruh terhadap fase-fase yang akan terbentuk. Secara umum ada empat jenis perlakuan panas yang sering digunakan antara lain *annealing*, *normalizing*, *hardening* dan *tempering*. Salah satu perlakuan panas yang berfungsi untuk mempersiapkan material untuk proses selanjutnya adalah *annealing*.

*Annealing* merupakan proses perlakuan panas yang terdiri atas pemanasan dan penahanan pada temperatur yang sesuai diikuti dengan pendinginan pada kecepatan yang tepat pula. Proses ini dapat merupakan proses yang mempersiapkan untuk proses selanjutnya dalam suatu rangkaian proses produksi. Terdapat berbagai macam proses *annealing* antara lain *full annealing*, *stress relief annealing*, *normalizing*, *spheroidizing* dan *homogenizing*. Prosedur dari full annealing adalah sebagai berikut :

1. Pemanasan baja sampai dengan di atas temperatur kritis. Untuk baja hipoeutektoid di atas temperatur  $A_3 + (25-50) ^\circ\text{C}$ . Untuk baja hipereutektoid di atas temperatur  $A_1 + (25-50)^\circ\text{C}$ .
2. Penahanan untuk memperoleh  $\gamma$  homogeny
3. Pendinginan lambat bersama dapur. Terutama pada saat melewati daerah transformasi, struktur mikro akan mendekati struktur mikro equilibrium

Temperatur pemanasan dijaga agar tidak terlalu tinggi. Temperatur pemanasan dan penahanan yang terlalu tinggi akan mengakibatkan butir  $\gamma$  besar sehingga butir kasar.

## **2.5 Pembuatan Pisau Damaskus**

Pembuatan pisau Damaskus hampir sama dengan pembuatan pisau pada umumnya. Namun bahan pisau yang digunakan berbeda (Verhoeven, 2001). Terdapat beberapa tahap dalam proses pembuatan pisau damaskus adalah sebagai berikut:

### **2.5.1 Pembuatan Ingot**

Ingot pisau damaskus dibuat dengan meleburkan bahan-bahan seperti logam sorel, arang, serpihan kaca dan daun hijau seperti pada Gambar 2.11. Jumlah carbon dan unsur pengotor

yang muncul di dalam ingot dikontrol oleh perbandingan antara besi, logam sorel dan arang yang dimasukkan di dalam campuran. Selama proses pemanasan serpihan kaca akan meleleh dan membentuk terak. Fungsi dari terak ini adalah untuk melindungi ingot dari oksidasi. Daun hijau mengikat hydrogen yang diketahui untuk mempercepat karburisasi besi. Kandungan C pada logam meningkat menjadi 1.5 persen. Pertumbuhan partikel karbida selama proses pendinginan membentuk pola damask.



(a)



(b)

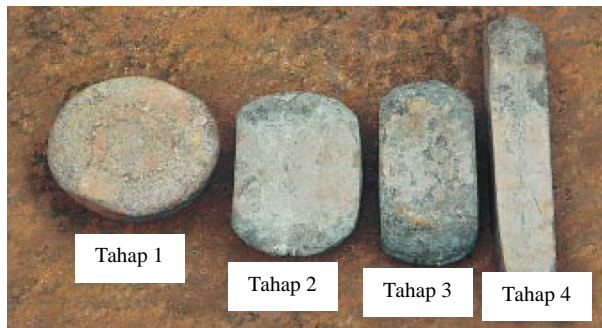
Gambar 2.11 (a) Bahan-bahan ingot pisau damaskus. (b) Pemanasan *crucible* di dalam tungku.

### 2.5.2 Penempaan Ingot

Ingot dipanaskan sampai temperatur yang tepat dengan menggunakan tungku propane dengan bahan bakar gas (Gambar 2.12 (a)). Selanjutnya dilakukan proses penempaan secara manual. Terdapat 4 tahap dalam penempaan (Gambar 2.12 (b)), setiap tahap adalah hasil dari 50 siklus pemanasan dan penempaan.



(a)



(b)

Gambar 2.12 (a) Pemanasan ingot dengan tungku. (b) Ingot pisau damaskus pada setiap tahap penempaan (Verhoeven, 2001)

### 2.5.3 Proses Pembuatan Pisau

Untuk pembuatan pisau, siklus tempa tergantung dari dimensi bahan. Setelah proses penempaan dilanjutkan dengan proses grinding menggunakan mesin gerinda sabuk untuk meratakan permukaan. proses grinding juga bertujuan untuk memberikan sisi tajam. Etsa dilakukan untuk mengeluarkan pola damask seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Pola damask pada pisau damaskus (Verhoeven, 2001)

Pola damask dapat dihasilkan dengan dua cara, antara lain :

1. Wootz dipanaskan pada temperatur tinggi membentuk butiran austenite yang besar dan dilakukan proses pendinginan lambat untuk menghasilkan presipitasi cementit sepanjang batas butir austenite yang terbentuk selama proses pemanasan (Peterson dkk., 1990)
2. Wootz ditempa pada temperatur berkisar antara 500°C sampai 950°C, sehingga menyebabkan batas butir sementit *spherodize* terpisah sebagai lapisan partikel sementit kasar yang menghasilkan pola damask.

## BAB III BAHAN DAN METODOLOGI PENELITIAN

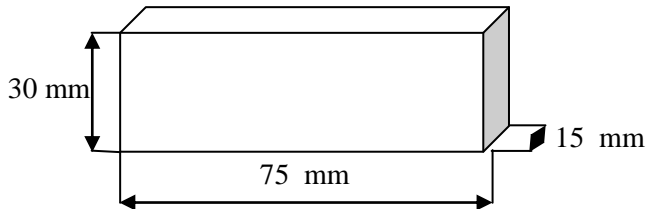
### 3.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0.5CCrMnSi dan JIS SUP 9 dengan rincian komposisi kimia sebagai berikut:

Tabel 3.1 Bahan penelitian dan komposisi kimia

Bahan	Unsur-unsur (% berat)								
	C	Mn	P	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	V
0.5CCrMnSi	0.54	1.99	0.02	1.7	0.07	1.05	0.01	0.05	0.01
JIS SUP 9	0.62	0.85	0.01	0.24	0.04	0.89	0.01	0.03	0.01

Dimensi dari spesimen yang digunakan ditunjukkan pada gambar 3.1. spesimen tersebut berbentuk plat dengan dimensi panjang 75 mm, lebar 15 mm dan tebal 30 mm.



Gambar 3.1 Skema spesimen

### 3.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



### 3.2.1 Alat Ukur

Dalam penelitian ini dibutuhkan alat ukur untuk membantu dalam membentuk spesimen sesuai dengan dimensi yang diperlukan. Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini antara lain jangka sorong

### 3.2.2 Alat Potong

Alat potong ini digunakan untuk memotong spesimen dari ukuran awal menjadi ukuran spesimen yaitu 75x15x30 mm. Terdapat dua jenis alat potong yang digunakan, yaitu *Hack Saw Machine CPSD Model G7016* dan *J3GB-400 Model of Bar Cutter*

### 3.2.3 Tungku Elektrik

Sebelum spesimen diproses tempa, spesimen di *annealing* terlebih dahulu menggunakan *furnace* yang ada di *Workshop Metalurgi Teknik Mesin ITS*. Tungku elektrik ini memiliki spesifikasi temperatur maksimum mencapai 3000°C dan dimensi ruang bakar tungku adalah 450 x 250 x 160 mm seperti Gambar 3.2.



Gambar 3.2 *Nobertherm Furnace*

### 3.2.4 Mesin Optical Emission Spectrometer

Mesin Shimidzu PDA 7000 ini digunakan untuk menguji komposisi kimia yang terkandung dalam suatu material.



Gambar 3.3 Shimidzu PDA 7000 *Optical Emission Spectrometer*

### 3.2.5 Tungku Pemanas

Tungku pemanas tradisional digunakan untuk memanaskan spesimen sebelum ditempa. Tungku pemanas menggunakan bahan bakar arang jati.



Gambar 3.4 Tungku tradisional

### 3.2.6 Palu dan Landasan

Palu ini digunakan untuk menempa spesimen yang telah dipanaskan di tungku tradisional. Landasan yang digunakan dalam proses pembuatan pisau adalah baja karbon tinggi. Landasan ini biasa disebut *anvil*.

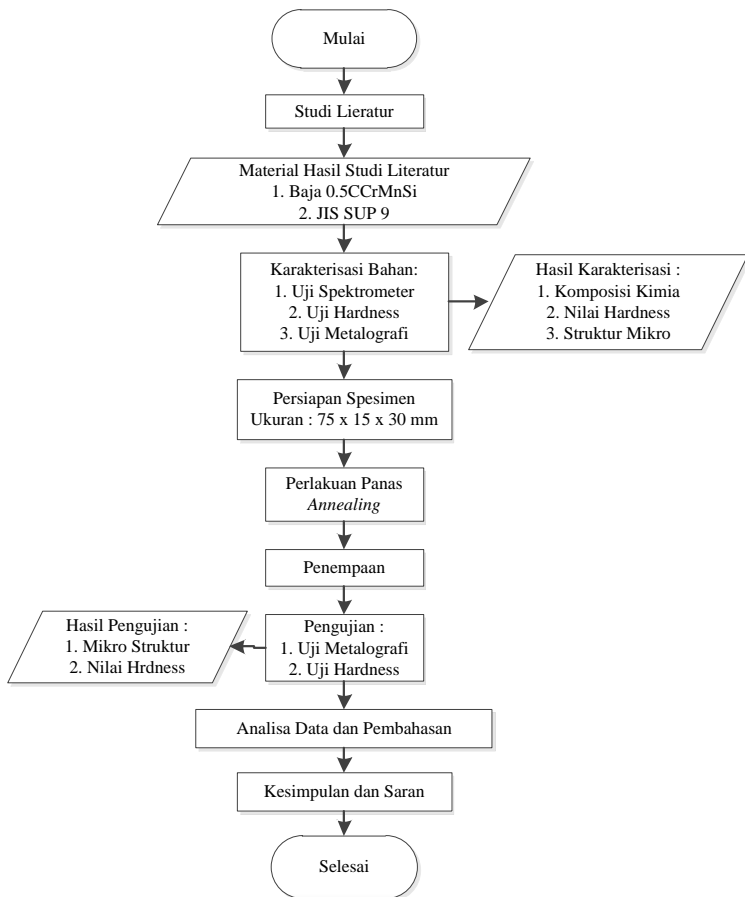


Gambar 3.5 Landasan dan palu

Selain peralatan yang telah disebutkan, terdapat peralatan pendukung seperti: penjepit, pahat dan gerinda tangan.

### 3.3 Tahapan Penelitian

Langkah –langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian ini secara singkat digambarkan melalui diagram alir pada Gambar 3.6 berikut:



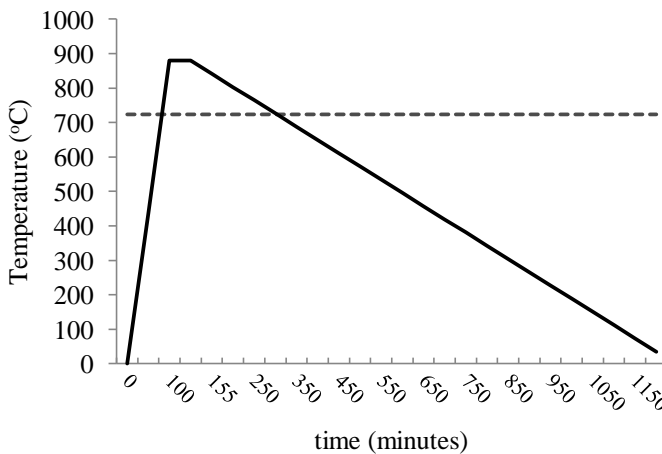
Gambar 3.6 Diagram Alir Penelitian

### 3.4 Metode Pembuatan Pisau

Metode pembuatan pisau pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 3.4.1 Perlakuan Panas

Tahap ini merupakan tahap dimana spesimen dipersiapkan untuk proses selanjutnya, dalam hal ini adalah *annealing*. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan *machineability*. *Annealing* dilakukan dengan cara spesimen dipanaskan hingga mencapai temperatur austenisasi dengan waktu pemanasan 100 menit kemudian ditahan pada temperatur tersebut selama 60 menit. Selanjutnya spesimen dibiarkan di dalam *furnace* hingga mencapai temperatur kamar ( $40^{\circ}\text{C}$ ).



Gambar 3.7 Skema grafik *annealing* menggunakan *furnace*

#### 3.4.2 Pemanasan

Spesimen yang sudah dipersiapkan kemudian dipanaskan menggunakan tungku. Batas maksimum temperatur pada proses tempa  $50^{\circ}\text{C}$  dibawah garis liquidus diagram fase (Schey, 2000). Temperatur diukur dengan termometer infra merah saat spesimen dikeluarkan dari tungku dan saat selesai menempa di setiap siklus tempa. Selain itu pengontrolan temperatur juga dilakukan dengan pengamatan warna pada baja seperti pada Tabel 2.3. Terdapat tiga tahap pemanasan dalam pembuatan pisau, yaitu:

Tabel 3.2 Temperatur pemanasan

Tahap	Variasi Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )	
	1	2
1	1000	1000
2	800	800
3	750	650

### 3.4.3 Penempaan

Penempaan dilakukan setelah dilakukan pemanasan awal. Temperatur tempa antara  $50^{\circ}\text{C}$  sampai  $250^{\circ}\text{C}$  dibawah  $A_{cm}$  (Verhoevan, 1992). Dalam penelitian ini terdapat 3 tahap penempaan. Penempaan tahap pertama bertujuan untuk mengurangi porositas. Untuk tahap 2 dan tiga bertujuan untuk memberikan bentuk pada pisau. Faktor reduksi yang digunakan adalah 9 untuk tebal dan 3 untuk lebar. Masing-masing bahan yaitu 0.5CCrMnSi 0.5% dan JIS SUP 9 akan ditempa dengan menggunakan variasi temperatur sebagai berikut :

Tabel 3.3 Rancangan penempaan

Tahap	Variasi	Rentang Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )	Tebal (mm)		% Reduction
			Awal	Akhir	
1	T1,T2	1000 $\rightarrow$ 750	30	23	23.33

2	T1,T2	800 → 700	23	16	30.43
3	T1	750 → 600	16	3	81.25
	T2	650 → 500			

#### 3.4.4 Proses Gerinda

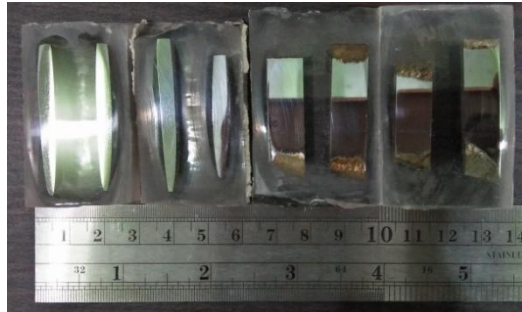
Proses ini bertujuan untuk menghilangkan baja sisa penempaan dan permukaan baja yang terdekarburisasi. *Belt grinder* dapat digunakan pada tahap ini

#### 3.5 Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi ini bertujuan untuk mengetahui strukturmikro dari spesimen baik sebelum dan sesudah proses tempa. Sebelum dilakukan pengujian, pisau dipotong dengan ukuran 10 mm (Gambar 3.8), panjang dan tebal disesuaikan dengan dimensi pisau. Selanjutnya bagian pisau yang sudah dipotong diberi *mounting* (Gambar 3.9) untuk mempermudah pemegangan dan pengukuran.



Gambar 3.8 Pisau dipotong melintang



Gambar 3.9 Spesimen diberi *mounting*

Pengujian ini menggunakan mikroskop optis milik Departemen Teknik Mesin ITS Surabaya. Desain uji metalografi sesuai dengan tabel 3.4

Tabel 3.4 Rancangan Pengujian Mikro Struktur

Variabel Bebas		Variabel Terikat		
Bahan	Perlakuan	Struktur Mikro		
		100x	500x	1000x
0.5CCrMnSi	T1	Permukaan		
		Penampang		
	T2	Permukaan		
		Penampang		
JIS SUP 9	T1	Permukaan		
		Penampang		
	T2	Permukaan		
		Penampang		





Gambar 3.10 Metkon *Grinder and Polisher*



Gambar 3.11 Miskroskop Optik *Olympus BX60M*

Tahapan proses pengamatan strukturmikro dari spesimen dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Grinding : permukaan spesimen dihaluskan menggunakan kertas gosok dengan *grade* 80, 100, 120, 240, 320, 400, 500, 600, 800, 1000, 1500 dan 2000 yang dipasang di alat grinding (Gambar 3.10)
2. Polishing : permukaan spesimen dihaluskan menggunakan kain beludru dan serbuk alumina yang dipasang di alat grinding
3. Etching : Spesimen dietsa menggunakan nital (2 ml  $\text{HNO}_3$  , 98 ml *ethanol* 96%) dan *vilella reagent* ( 5ml HCL, 1 gr *picric acid*, 100 ml *ethanol* 95%)
4. Spesimen diamati menggunakan mikroskop optik (Gambar 3.11) dengan perbesaran 100x, 500x dan 1000x.

### 3.6 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dipilih untuk mewakili sifat tajam pisau. Pengujian kekerasa ini menggunakan alat uji kekerasan *Micro Hardness Tester* Shimadzu HMV-2T dengan indentor intan dan beban 98.07 mN seperti pada Gambar 3.12



Gambar 3.12 Mesin Uji Kekerasan *Micro Hardness*



## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Hasil penelitian tentang pengaruh temperatur penempaan terhadap kekerasan dan struktur mikro pisau tempa manual diperoleh dari data berupa angka, grafik dan gambar. Pengujian yang dilakukan antara lain kekerasan dan pengamatan struktur mikro.

#### **4.1 Pengujian Komposisi Kimia**

Sebelum melakukan penelitian, bahan pisau dilakukan pengujian komposisi kimia dengan menggunakan uji spektrometer. Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengujian komposisi kimia. Dari pengujian tersebut terlihat bahwa kandungan karbon yang dimiliki oleh baja JIS SUP 9 lebih banyak yaitu sebesar 0.62% bila dibandingkan dengan baja 0.5CCrMnSi sebesar 0.54%. Terdapat unsur-unsur paduan seperti Si, Mn, Ni, Cr dan Mo pada masing-masing bahan. Namun kandungan dari unsur-unsur tersebut lebih banyak terdapat pada baja 0.5CCrMnSi.

#### **4.2 Pisau Tempa Manual**

Bahan awal baja JIS SUP 9 dan 0.5CCrMnSi ditempa menjadi pisau ditunjukkan pada gambar 4.1. Hasil pengamatan visual menunjukkan tidak terjadi cacat pada masing-masing pisau setelah ditempa.



Gambar 4.1 Pisau hasil tempa manual

Tabel 4.1 Hasil uji komposisi kimia bahan

Unsur	Komposisi Kimia % (wt)	
	JIS SUP 9	0.5CCrMnSi
C	0.62	0.54
Si	0.24	1.78
Mn	0.85	1.99
P	0.012	0.022
S	< 0.01	0.01
Ni	0.036	0.07
Cr	0.89	1.05
Mo	0.013	0.016
Cu	0.029	0.05
Co	< 0.01	< 0.01
Al	< 0.01	0.09
W	-	0.01
Ti	< 0.01	< 0.01
V	< 0.01	0.013
Sn	< 0.01	0.012
Nb	-	< 0.01

Sumber : Uji Spektrometer

Masing-masing bahan yang telah dipersiapkan dengan dimensi 30x15x75 mm ditempa dengan menggunakan dua variasi temperatur. Penempaan dilakukan di Besalen “PAMOR” di Karanganyar, Jawa Tengah. Terdapat empat bilah pisau hasil penempaan, masing-masing pisau berukuran 26 cm dari ujung hingga pangkal. Lebar dari pisau tersebut adalah 4 cm.

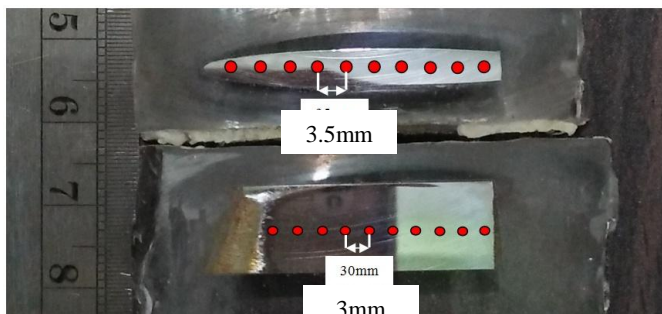
### 4.3 Pengujian Kekerasan

Nilai kekerasan diperoleh dari pengujian bahan awal dan pisau tempa manual dengan variasi bahan dan temperatur penempaan yang terdiri dari variasi temperatur pertama (T1) dan variasi temperatur kedua (T2). Pada Tabel 4.2 merupakan hasil pengujian kekerasan yang dilakukan pada bahan awal sebelum ditempa.

Tabel 4.2 Nilai kekerasan bahan awal

Spesimen	Nilai Kekerasan (HV)			Rata-rata
	1	2	3	
0.5CCrMnSi	296	305	281	294
JIS SUP 9	242	231	238	237

Pengambilan data kekerasan untuk setiap pisau yang telah ditempa dilakukan pada permukaan dan penampang pisau masing-masing sepuluh titik. Gambar 4.2 berikut merupakan sketsa pengambilan nilai kekerasan pada penampang dan permukaan pisau.



Gambar 4.2 Lokasi indentasi spesimen

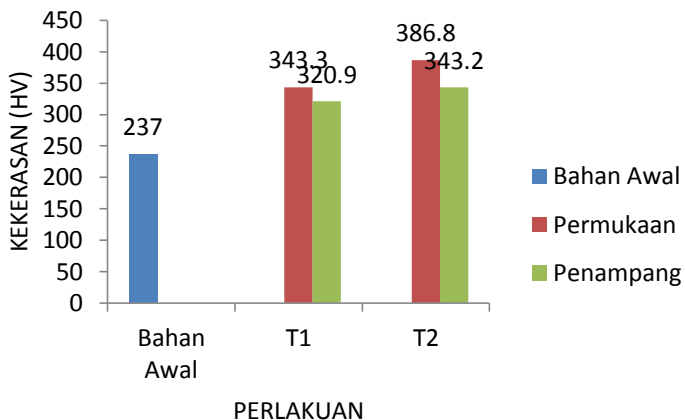
Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengujian kekerasan yang dilakukan pada masing-masing pisau

Tabel 4.3 Hasil pengujian kekerasan pisau

Bahan	Titik	Nilai Kekerasan (HV)			
		T1		T2	
		Permukaan	Penampang	Permukaan	Penampang
JIS SUP 9	1	451	337	346	287
	2	267	381	380	380
	3	285	375	388	384
	4	272	262	371	285
	5	284	273	421	372
	6	311	222	409	300
	7	426	256	431	417
	8	286	343	400	347
	9	381	382	371	308
	10	470	378	351	352
	Rata-rata	343.3	320.9	386.8	343.2
0.5CCrMnSi	1	332	289	453	252
	2	346	304	446	278
	3	31.6	318	459	450
	4	392	335	393	430
	5	337	267	489	292
	6	316	319	485	307
	7	375	322	436	293
	8	355	293	398	310
	9	329	338	467	237
	10	337	336	499	304
	Rata-rata	315.1	312.1	452.5	315.3

#### 4.3.1 Kekerasan pada Bahan Pisau setelah Penempaan

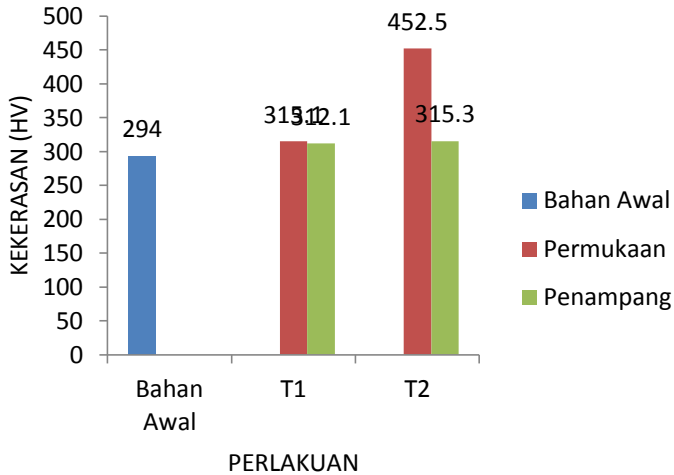
Dari hasil pengujian didapat nilai rata-rata kekerasan pada bahan awal Tabel 4.2 dan setelah penempaan Tabel 4.3 seperti ditunjukkan Gambar 4.2 berikut



Gambar 4.3 Grafik nilai rata-rata kekerasan pisau baja JIS SUP 9

Gambar 4.3 menunjukkan nilai rata-rata kekerasan dari bahan awal dan setelah penempaan pada baja JIS SUP 9. Bahan awal memiliki kekerasan 237 HV. Setelah dilakukan penempaan terjadi peningkatan kekerasan pada permukaan dan penampang. Pada variasi pertama kekerasan pada permukaan dan penampang meningkat menjadi 343.3 HV dan 320.9 HV. Hal yang sama terjadi pada temperatur variasi kedua, kekerasan pada permukaan menjadi 349 HV dan pada penampang adalah sebesar 343.2 HV. Peningkatan kekerasan pada variasi dua lebih tinggi bila dibandingkan dengan variasi satu. Pada kedua variasi, kekerasan pada permukaan lebih tinggi bila dibandingkan dengan kekerasan pada penampang.





Gambar 4.4 Grafik nilai rata-rata kekerasan pisau baja 0.5CCrMnSi

Gambar 4.4 menunjukkan nilai kekerasan spesimen pada pisau 0.5CCrMnSi. Nilai kekerasan pada bahan awal sebesar 294 HV. Setelah dilakukan proses penempaan terjadi peningkatan kekerasan pada permukaan dan penampang pisau. Pada variasi satu kekerasan meningkat menjadi 315.1 HV pada permukaan dan 312.1 HV pada penampang pisau. Pada variasi dua kekerasan meningkat menjadi 452.5 pada permukaan dan 315.3 pada penampang. Untuk kekerasan pada permukaan, penempaan yang dilakukan pada variasi dua menghasilkan kekerasan permukaan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan variasi satu. Namun, kekerasan pada penampang variasi satu lebih tinggi daripada variasi dua.

### 4.3.2 Pembahasan Kekerasan

Proses penempaan mengakibatkan terjadinya peningkatan kekerasan pada bahan awal. Hal tersebut terbukti dari hasil pengujian kekerasan yang telah dilakukan pada pisau baja hasil penempaan manual. Peningkatan kekerasan terjadi karena adanya pengecilan ukuran butir. Selain itu juga terjadi dislokasi butiran. Hal tersebut disebabkan karena gaya tempa yang diberikan secara berulang-ulang menyebabkan terjadinya *strain hardening* sehingga terjadi peningkatan kekerasan. Selain itu peningkatan kekerasan juga diakibatkan oleh proses pendinginan setelah penempaan yang menyebabkan terjadinya pembentukan struktur baru.

Tabel 4.4 Peningkatan nilai kekerasan

Bahan	Bagian	Peningkatan (HV)	
		T1	T2
JIS SUP 9	Permukaan	106.3	112
	Penampang	83.9	106.2
0.5CCrMnSi	Permukaan	21.1	158.5
	Penampang	18.1	21.3

Peningkatan nilai kekerasan terjadi di permukaan dan penampang pisau. Pada bahan baja JIS SUP 9, nilai peningkatan kekerasan pada permukaan lebih tinggi terjadi pada variasi dua yaitu sebesar 112 HV sedangkan pada variasi satu adalah 106.3 HV. Untuk penampang pisau, peningkatan kekerasan pada temperatur variasi dua lebih tinggi yaitu 106.2 HV sedangkan pada variasi satu adalah sebesar 83.9 HV.

Pada bahan baja 0.5CCrMnSi, peningkatan kekerasan lebih tinggi terjadi pada variasi dua yaitu sebesar 158.5 HV sedangkan pada variasi satu sebesar 21.1 HV. Pada penampang pisau, nilai peningkatan kekerasan lebih tinggi pada variasi dua yaitu 21.3 HV sedangkan pada variasi satu sebesar 18.1 HV.

Terjadi perbedaan peningkatan kekerasan yang sangat jauh pada bagian permukaan variasi dua. Hal tersebut diduga karena pada saat pengujian, fase yang lebih banyak terkena indentasi adalah karbida-karbida yang tersebar pada permukaan pisau

Dari nilai peningkatan kekerasan yang dimiliki oleh baja JIS SUP 9 dan baja 0.5CCrMnSi, terlihat bahwa kedua baja tersebut memiliki sifat kemampukerasan yang berbeda. Baja JIS SUP 9 memiliki peningkatan kekerasan yang lebih stabil bila dibandingkan dengan baja 0.5CCrMnSi. Beberapa faktor yang mempengaruhi kemampukerasan suatu material dipengaruhi oleh kadar karbon dan unsur paduan. Unsur paduan yang berperan dalam meningkatkan kemampukerasan antara lain Cr, Mn dan Si. Unsur paduan tersebut ada pada baja JIS SUP 9 dan baja 0.5CCrMnSi.

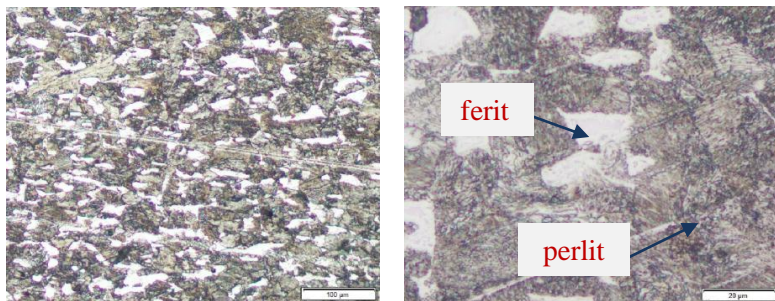
Peningkatan kekerasan pada variasi kedua lebih tinggi bila dibandingkan dengan variasi pertama. Hal tersebut dapat terjadi karena proses penempaan kedua dilakukan pada temperatur yang lebih rendah yaitu  $650^{\circ}\text{C}$  hingga  $500^{\circ}\text{C}$ . logam akan naik kekerasannya bila logam tersebut mengalami deformasi plastis akibat pengerjaan dingin (*cold working*), dalam hal ini adalah proses tempa yang mengakibatkan adanya *strain hardening*. Dislokasi akan sulit bergerak seiring dengan besarnya regangan yang diterima oleh suatu material. Karena variasi kedua menggunakan temperatur yang lebih rendah dari temperatur yang pertama, maka variasi kedua membutuhkan siklus tempa lebih banyak untuk membentuk sebilah pisau. Semakin banyak siklus maka akan semakin banyak pula pukulan yang akan diterima oleh spesimen. Oleh karena itu, ukuran butir juga akan semakin kecil dan regangan yang diterima juga akan semakin besar dengan proses tempa yang semakin lama. Hal tersebut yang membuat pisau dengan temperatur variasi dua memiliki peningkatan kekerasan lebih tinggi.

#### 4.4 Pengamatan Struktur Mikro

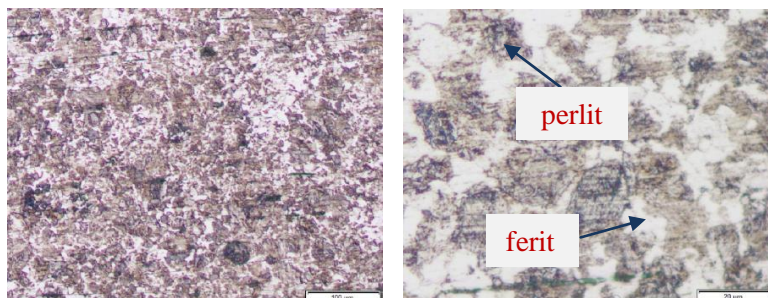
Pengamatan struktur mikro pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dari masing-masing bahan pisau. Pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 100x, 500x dan 1000x. struktur yang diamati adalah bahan awal dan setelah proses penempaan.

##### 4.4.1 Struktur Mikro Sebelum Penempaan

Sebelum dilakukan penempaan, struktu mikro bahan awal diamati dengan hasil pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Struktur mikro JIS SUP 9 sebelum ditempa. Nital 2%. 100x dan 500x



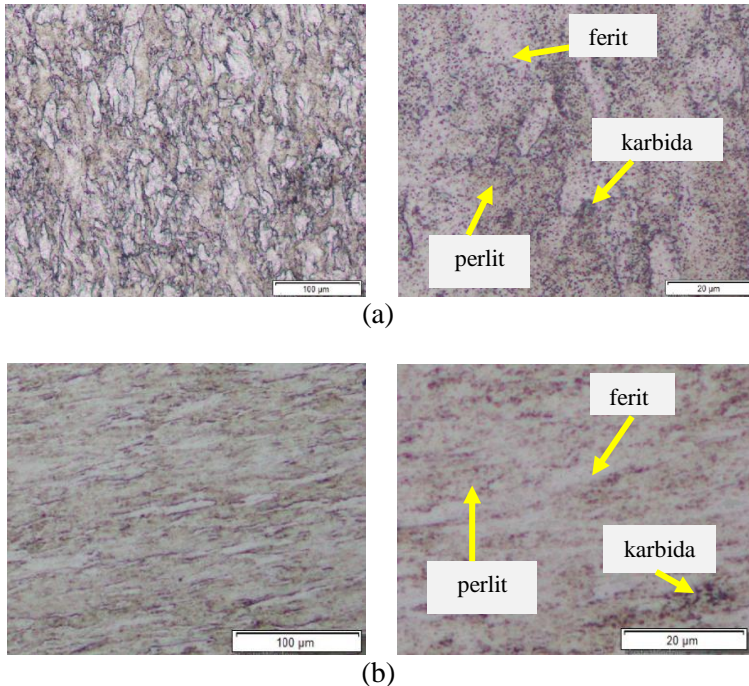
Gambar 4.6 Struktur mikro baja 0.5CCrMnSi sebelum ditempa. Nital 2%. 100x dan 500

#### 4.4.2 Struktur Mikro Setelah Penempaan

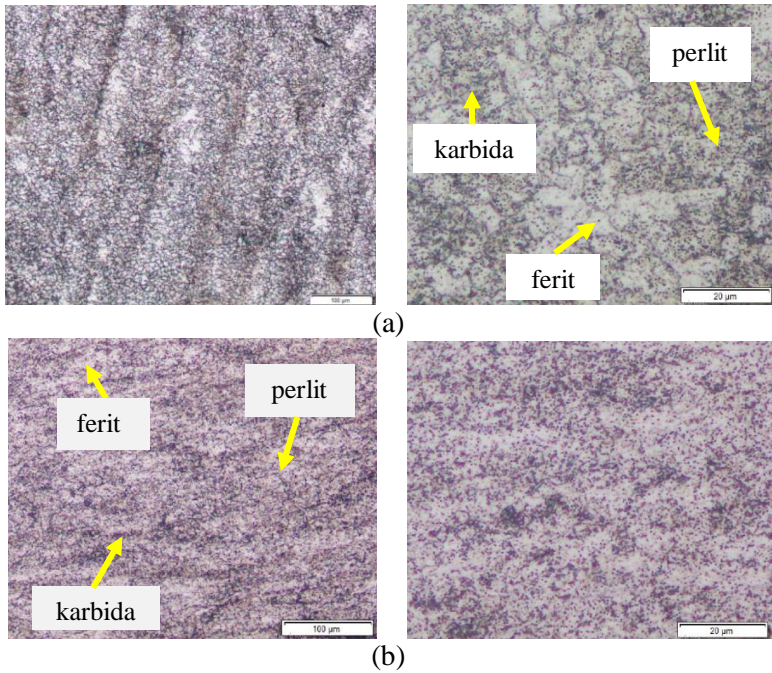
Setelah ditempa menjadi pisau, pengamatan struktur mikro kembali dilakukan pada masing-masing pisau dengan mikroskop optik dan perbesaran 100x, 500x dan 1000x. pengamatan tersebut dilakukan untuk mengamati perubahan yang terjadi pada struktur mikro setelah proses penempaan.

##### 4.4.2.1 Baja JIS SUP 9

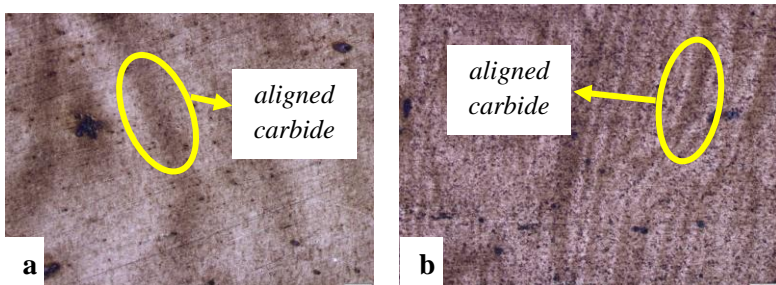
Berikut adalah pengamatan struktur mikro pada permukaan dan penampang pisau dengan variasi temperatur pertama (T1) dan variasi kedua (T2).



Gambar 4.7 Struktur mikro (a) permukaan dan (b) penampang JIS SUP 9 T1. Nital 2%. 100x, 500x dan 1000x.



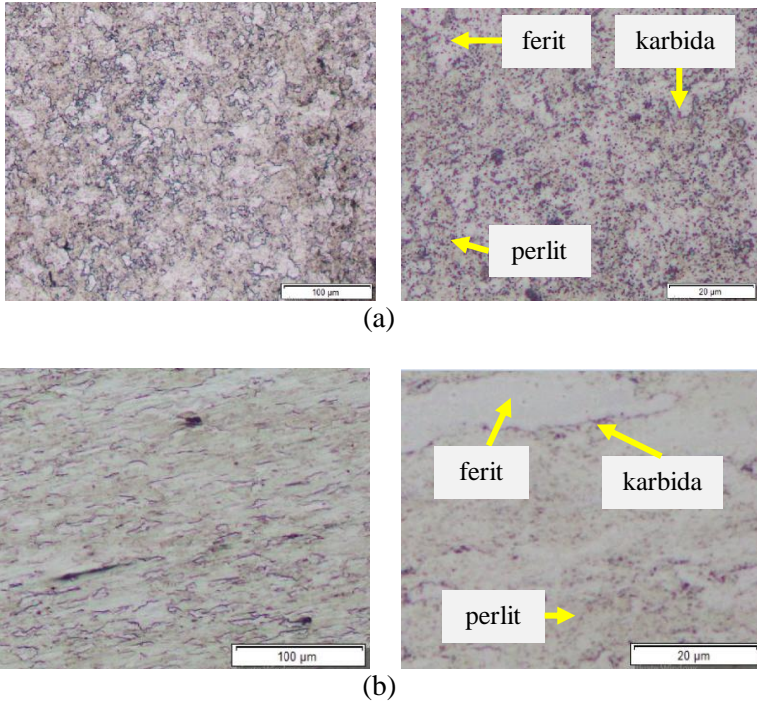
Gambar 4.8 Struktur mikro (a) permukaan dan (b) penampang JIS SUP 9 T2. Nital 2%. 100x dan 500x



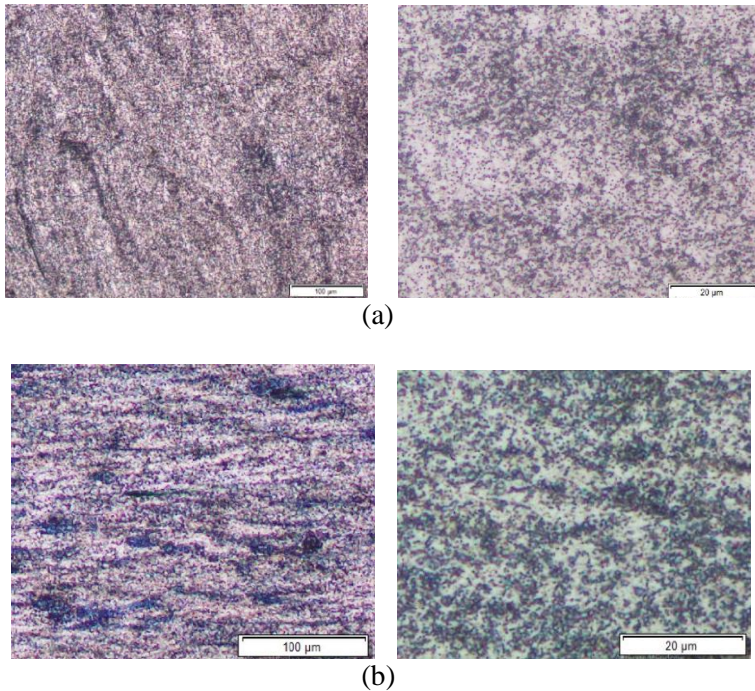
Gambar 4.9 Struktur mikro permukaan baja JIS SUP 9 pada (a) T1 dan (b) T2. *Vilella reagent*. 100x.

#### 4.4.2.2 Baja 0.5CCrMnSi

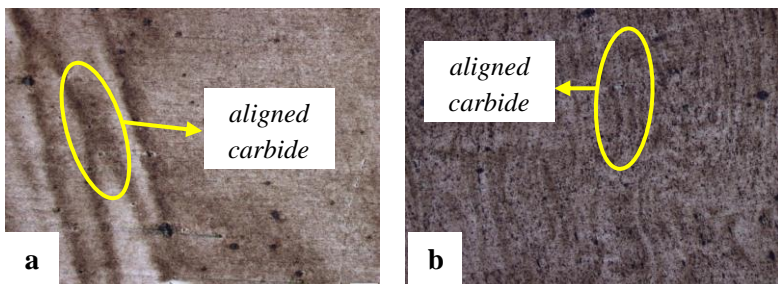
Berikut adalah pengamatan struktur mikro pada permukaan dan penampang pisau dengan variasi temperatur pertama (T1) dan variasi kedua (T2).



Gambar 4.10 Struktur mikro (a) permukaan dan (b) penampang 0.5CCrMnSi T1. Nital 2%. 100x dan 500x



Gambar 4.11 Struktur mikro (a) permukaan dan (b) penampang 0.5CCrMnSi T2. Nital 2%. 100x dan 500x



Gambar 4.12 Struktur mikro permukaan baja 0.5CCrMnSi pada (a) T1 dan (b) T2. *Vilella reagent*. 100x



### 4.4.3 Pembahasan Struktur Mikro

Struktur mikro bahan awal baja JIS SUP 9 ditunjukkan pada Gambar 4.5 terdiri dari ferit (terang) dan perlit (gelap) dengan butiran besar. Selain dua fase tersebut, terdapat fase yang lain yaitu karbida dari unsur V, Mo dan Cr (gelap). Untuk baja 0.5CCrMnSi struktur mikro ditunjukkan pada Gambar 4.6 terdiri dari ferit (terang), perlit (gelap) dan juga karbida (gelap). Setelah dilakukan proses penempaan, terjadi perubahan pada struktur mikro. Pengamatan dilakukan pada permukaan dan penampang pisau.

Dari permukaan pisau baja JIS SUP 9 Gambar 4.7(a) dan 4.8(a) terlihat ukuran butir menjadi lebih kecil. pada variasi satu adalah 20  $\mu\text{m}$  sedangkan pada variasi dua adalah 10  $\mu\text{m}$ . Bila dibandingkan dengan struktur mikro awal Gambar 4.5, sebagian dari perlit dan segregasi karbida berubah menjadi *spherodized* karena gaya tempa yang diberikan. Penempaan pada temperatur dibawah  $A_1$  akan mengakibatkan sementit lamellar dan karbida menjadi *spherodized* dan butir ferit juga semakin kecil (Wadsworth, 1998). Terdapat karbida yang berbentuk bulat kecil baik pada variasi satu maupun variasi dua. Namun untuk ukuran butir pada variasi dua Gambar 4.8(a) lebih kecil yaitu 10  $\mu\text{m}$  bila dibandingkan dengan variasi satu Gambar 4.7(a) yaitu 20  $\mu\text{m}$ . Hal ini diduga karena pada variasi dua temperatur lebih rendah sehingga kemampuan tumbuhnya butir akan lebih kecil. Selain itu, jumlah siklus tempa akan semakin banyak sehingga gaya tempa yang diterima akan semakin banyak. Saat ditempa mungkin untuk terjadi pecahnya butir. Dengan lebih banyaknya siklus tempa maka butir juga akan semakin terpecah. Pada permukaan variasi kedua Gambar 4.8(a) terdapat karbida-karbida yang tersegregasi dan tersusun berkelompok menjadi garis-garis. Pada penampang pisau Gambar 4.7(b) dan 4.8(b) terlihat butir berubah bentuk menjadi pipih. Hal ini dikarenakan gaya tempa yang diberikan lebih banyak dari arah transversal.

Struktur mikro baja 0.5CCrMnSi diamati pada Gambar 4.10 untuk variasi satu dan Gambar 4.11 untuk variasi dua. Pada

Gambar 4.10(a) dan Gambar 4.11(a) adalah struktur mikro permukaan pisau. Ukuran butir yang sebelumnya besar menjadi lebih kecil setelah ditempa. Bila dibandingkan dengan struktur mikro awal (Gambar 4.6), karbida pada baja ini menjadi terpecah karena gaya tempa yang diberikan sehingga berbentuk bulat (*equiaxial*) dan berukuran kecil. Pada permukaan pisau variasi dua Gambar 4.11(a) terdapat fenomena pola bergelombang. Hal tersebut diduga karena adanya segregasi karbida yang terbentuk dari unsur pengotor maupun unsur paduan yang tersusun berkelompok. Struktur mikro pada penampang pisau ditunjukkan oleh Gambar 4.10(b) dan 4.11(b). Pada Gambar 4.10(b) terlihat struktur mikro mengalami perubahan bentuk menjadi pipih. Begitu juga dengan struktur mikro penampang pisau pada variasi kedua Gambar 4.11(b).

Setelah dietsa menggunakan *vilella reagent*, pola pada permukaan menjadi lebih terlihat. Pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.12 merupakan pola yang terlihat pada permukaan pisau. Mekanisme penempaan pada penelitian ini terdapat tiga tahap. Pada tahap pertama, bahan dipanaskan mencapai temperatur tahap pertama yaitu 1000°C yang merupakan temperatur di atas garis  $A_3$ . Temperatur tersebut adalah temperatur austenit stabil. Pada temperatur tersebut, beberapa partikel karbida larut tapi atom dari elemen pengotor memperlambat laju pelarutan sehingga menyisakan partikel karbida yang lebih besar. Penempaan akan membuat perlit dan karbida-karbida yang telah tersegregasi menjadi *spherodized* dan berkumpul secara bersusun seperti pita. Setiap siklus pemanasan dan pendinginan menyebabkan partikel tumbuh hanya sedikit, hal tersebutlah yang menyebabkan dibutuhkan banyak siklus untuk membentuk pola yang jelas. Karena elemen pengotor tersusun di daerah dendrite, partikel karbida juga akan terkonsentrasi disitu. Terdapat perbedaan kerapatan pola yang terjadi pada permukaan pisau dengan temperatur penempaan variasi satu dan variasi dua. Pada baja JIS SUP 9 Gambar 4.9(a) terdapat 5 pita sedangkan pada Gambar 4.9(b) terdapat pita sebanyak 15. Hal serupa juga terjadi pada baja

O.5CCrMnSi Gambar 4.10(a) terdapat 4 pita sedangkan pada Gambar 4.10 terdapat lebih dari 10 pita. Penempatan pada temperatur yang lebih tinggi menghasilkan pola yang lebih lebar bila dibandingkan dengan variasi dua. Saat ditempa dengan temperatur yang lebih tinggi, unsur penyusun karbida akan memiliki energi yang lebih banyak untuk berpindah sehingga jarak antar pita yang dihasilkan untuk akan semakin besar.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian setelah pengambilan dan analisa data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Kekerasan dipengaruhi oleh pemilihan bahan dan temperatur penempaan. Semakin rendah temperatur penempaan maka semakin tinggi pula peningkatan nilai kekerasan yang didapat.
2. Peningkatan kekerasan tertinggi pada bahan baja JIS SUP 9 variasi dua adalah sebesar 112 HV pada permukaan dan 106.2 HV pada penampang. Peningkatan kekerasan tertinggi pada baja 0.5CCrMnSi variasi dua. Sedangkan peningkatan kekerasan tertinggi pada bahan baja 0.5CCrMnSi variasi dua sebesar 158.5 HV pada permukaan dan 21.3 HV pada penampang.
3. Struktur mikro mengalami perubahan setelah dilakukan proses penempaan. Perubahan struktur mikro yang terjadi dipengaruhi oleh temperatur penempaan. Semakin rendah temperatur penempaan, maka ukuran butir semakin kecil. Bentuk butir pada permukaan pisau didominasi oleh bentuk *equiaxial* sedangkan pada penampang pisau butir berbentuk *elongated*. Terdapat *aligned carbide* pada permukaan masing-masing pisau.
4. Terdapat pola pada permukaan pisau baja JIS SUP 9 dan 0.5CCrMnSi.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan penelitian serupa dengan tungku yang temperturnya lebih terkontrol

2. Melakukan penelitian serupa dengan pengukuran ketajaman dan ketangguhan.
3. Melakukan penelitian serupa dengan bahan *high carbon steel*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arai, Thoru, dkk. 1991. *ASM Handbook : Volume 4 Heat Treating*. USA : ASM Handbook Committees.
- Balkhaya. 2016. *Effect of Raw Materials and Hardening Process on Hardness of Manually Forged Knife*. Surabaya : ITS
- Fatollahi, Farzin. 2011. *Damascus Steel*. MSE. Vol. 121, hal. 1-10
- Hrisoulas, Jim. 1987. *The Complete Blacksmith: Forging Your Way to Perfection*. Colorado: Paladin Enterprises, Inc.
- Mehl, Robert, dkk. 1972. *ASM Handbook : Volume 7 Atlas of Microstructures of Industrial Alloys*. Ohio : ASM Handbook Committees.
- Peterson, dkk. 1990. *Damascus Steel, Characterization of One Damascus Steel Sword*. Ames : Iowa States University
- Schey, John A. 2000. *Introduction to Manufacturing Processes*. Singapura: Mc Graw Hill
- Schroen, Karl. 1984. *The Hand Forged Knife*. Knife World Publication.
- Verhoeven, J.D. 2001. *The Mystery of Damascus Blades*. USA : Scientific American. Vol, 284, No.1, Hal. 74-79
- Verhoeven, J.D. dan Pendray A.H. 1992. *Experiments To Reproduce the Pattern of Damascus Steel Blades*. Ames : Iowa States University
- Voort, G. F. V. 1991. *Atlas of Time-Temperature Diagrams for Irons and Steels*. USA : ASM International.
- Wadsworth J. dan Sherby O.D. 1998. *On The Bulat Damascus Steels Revisited*. California: Stanford University
- Yuko, Kharisma. 2017. *Pengaruh Tempeatur Austenisasi dan Proses Pendinginan terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Baja Paduan 05CCrMnSi*. Surabaya : ITS

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **LAMPIRAN**

### **Hasil Uji Metalografi**

Hasil dari pengujian metalografi adalah sebagai berikut:

1. Struktur Mikro Pisau Baja JIS SUP 9
  - a. Permukaan Pisau

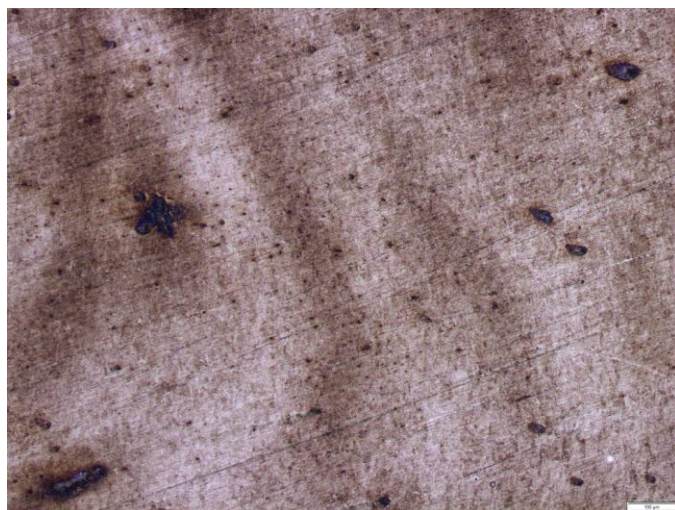


Variasi 1. Nital 2%. 1000x

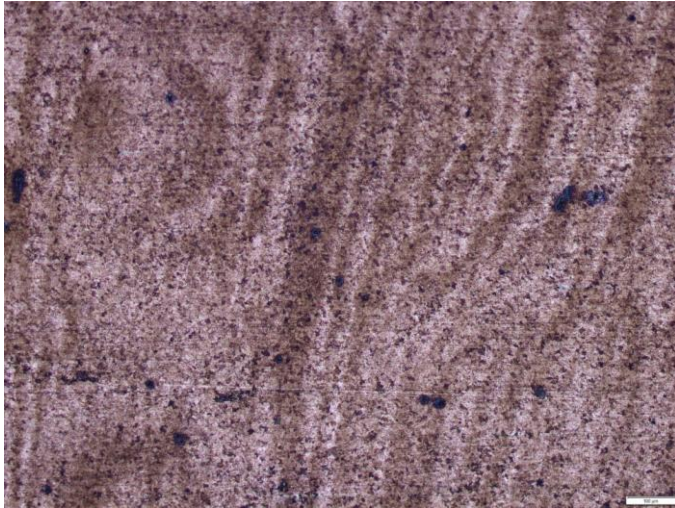




Variasi 2. Nital 2%. 1000x



Variasi 1. *Vilella reagent*. 100x

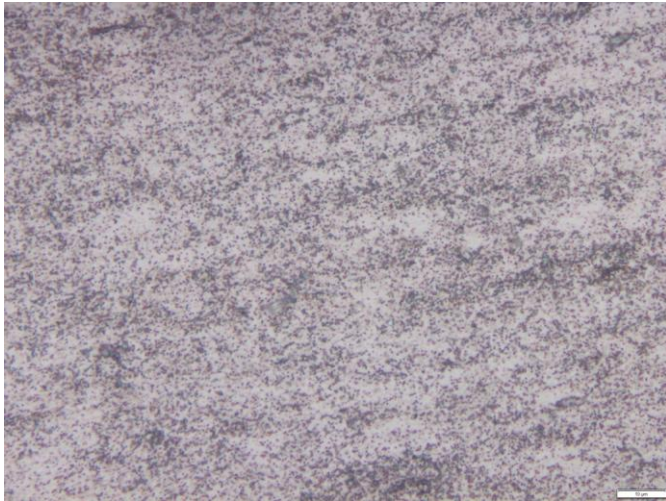


Variasi 2. *Vilella reagent*. 100x

b. Penampang



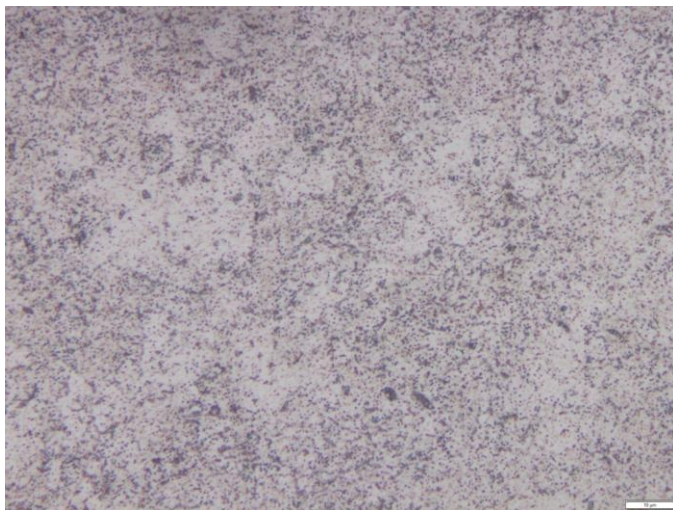
Variasi 1. Nital 2%. 1000x



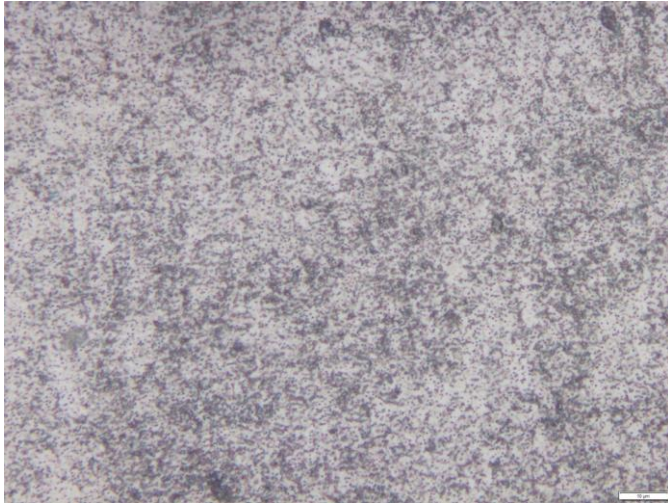
Variasi 2. Nital 2%. 1000x

2. Struktur Mikro Pisau Baja 0.5CCrMnSi

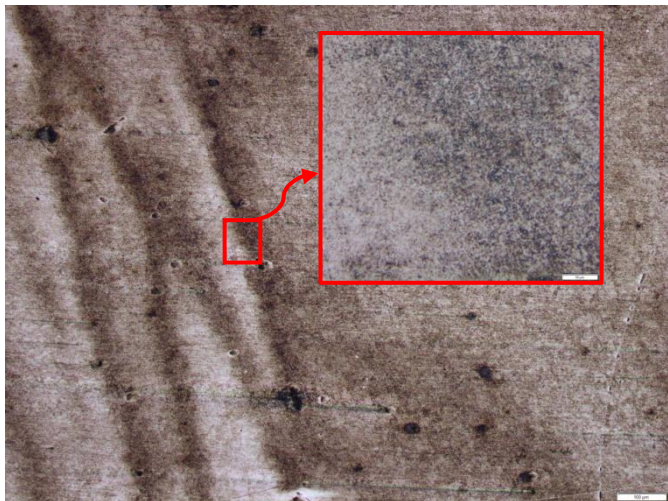
a. Permukaan



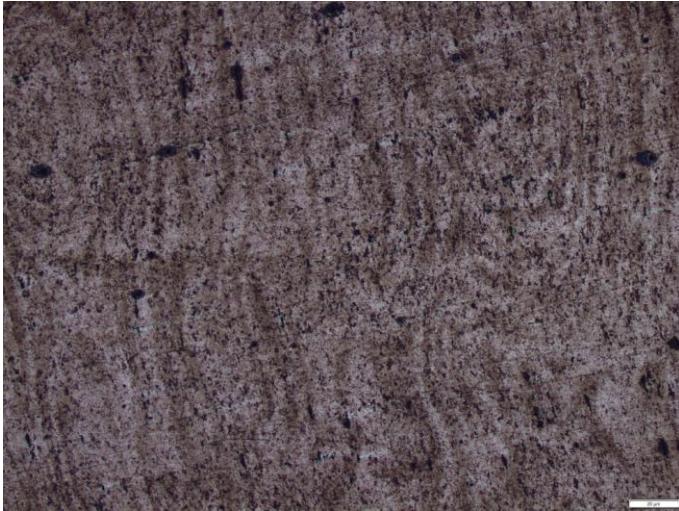
Variasi 1. Nital 2%. 1000x



Variasi 2. Nital 2%. 1000x



Variasi 1. *Vilella reagent*. 100x

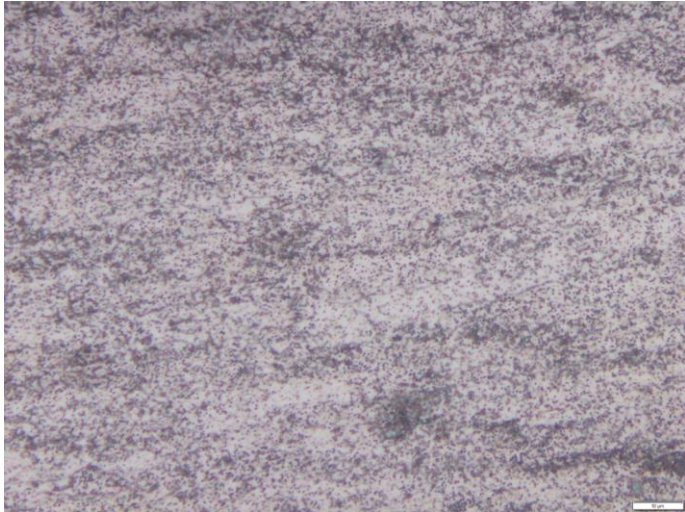


Variasi 2. *Vilella reagent*. 100x

b. Penampang



Variasi 1. Nital 2%. 1000x.



Variasi 2. Nital 2%. 1000x

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



**Ayu Kristina Kusumasari Surapto** lahir di Madiun tanggal 14 September, merupakan adik dari Kalimantan Suprpto, anak dari pasangan Suprpto dan Puji Rahayu. Penulis mengawali pendidikan dasar di MI Islamiyah Madiun pada tahun 2001 sampai 2007. Lalu pendidikan menengah di SMP Negeri 1 Madiun pada tahun 2007 sampai 2010. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 2 Madiun pada 2010 sampai 2013.

Ketertarikan penulis dalam bidang keteknikan mendorong penulis untuk melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan mengambil departemen favorit yaitu Teknik Mesin. Penulis merupakan angkatan 2013 “M56” dengan NRP 2113100011.

Selain mendapatkan 144 sks dari dalam kelas, penulis juga mendapatkan 1000 sks dari luar kelas. Selama masa perkuliahan penulis aktif dalam kegiatan kemahasiswaan. Menjadi pengurus salah satu ormawa di Mesin yaitu Mesin *Music Club* (MMC) sebagai Staf Divisi Inventaris 2014-2015 dan Staf Ahli Divisi Inventaris 2015-2016. Penulis juga aktif dalam kegiatan pembentukan kader di Mesin. Selain itu, penulis bergabung dengan Laboratorium Metalurgi sebagai asisten praktikum. Untuk informasi dan saran serta kepentingan penelitian, penulis dapat dihubungi melalui email [ayukristina21@gmail.com](mailto:ayukristina21@gmail.com)