

TUGAS AKHIR - TM141585

**PENGARUH JUMLAH LIPATAN BAJA JIS SUP 9
DAN BAJA 0,5CCrMnSi TERHADAP NILAI
KEKERASAN, STRUKTUR MIKRO, DAN *PATTERN*
PADA PERMUKAAN PISAU**

LUTHFAN NATAKESUMA LAMONI
2113100148

Dosen Pembimbing
Suwarno, ST., MT., PhD

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TM141585

**PENGARUH JUMLAH LIPATAN BAJA JIS SUP 9 DAN BAJA
0,5CCrMnSi TERHADAP NILAI KEKERASAN, STRUKTUR
MIKRO, DAN *PATTERN* PADA PERMUKAAN PISAU**

LUTHFAN NATAKESUMA LAMONI
2113100148

Dosen Pembimbing
Suwarno, ST., MT., PhD

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TM141585

**EFFECT OF FOLDING STEEL JIS SUP 9 AND 0,5CCrMnSi ON
THE HARDNESS NUMBER, MICRO STRUCTURE AND
PATTERN ON THE BLADE SURFACE**

LUTHFAN NATAKESUMA LAMONI
2113100148

Academic Supervisor
Suwarno, ST., MT., PhD

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH LIPATAN BAJA JIS SUP 9 DAN BAJA
0,5CCrMnSi TERHADAP NILAI KEKERASAN,
STRUKTUR MIKRO DAN *PATTERN* PADA
PERMUKAAN PISAU**

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 :

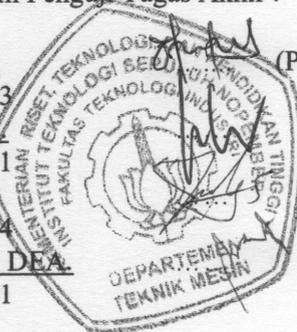
LUTHFAN NATAKESUMA LAMONI
NRP. 2113 100 148

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



ABSTRAK

**PENGARUH LIPATAN BAJA JIS SUP 9 DAN BAJA
0,5CCrMnSi TERHADAP NILAI KEKERASAN,
STRUKTUR MIKRO DAN PATTERN PADA
PERMUKAAN PISAU**

Nama Mahasiswa : Luthfan Natakesuma Lamoni
NRP : 2113 100 148
Jurusan : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing : Suwarno, ST., MSc., PhD

Abstrak

Pisau sebagai salah satu jenis alat potong terus berkembang seiring dengan semakin beragamnya kebutuhan manusia. Kualitas pisau yang tinggi ditinjau dari segi kekerasan, ketangguhan, maupun ketajamannya ditentukan oleh bahan dan proses pembuatannya. Pada umumnya pisau berbahan logam diproses dengan cara ditempa. Kualitas pisau hasil penempaan manual oleh pande besi tradisional di Kawisanyar, Gresik Jawa Timur dengan bahan baja bekas, diketahui memiliki nilai kekerasan berkisar antara 35-58 HRC. Dengan struktur mikro merupakan bainit dan pearlit yang ditemukan disepanjang permukaan pisau. Hal ini mampu untuk ditingkatkan dan dikembangkan agar mendapatkan kualitas pisau yang lebih baik dengan memanfaatkan metode yang digunakan dalam membuat pisau damaskus. Diantaranya adalah metode welded forging. Metode penempaan welded forging memanfaatkan susunan lapisan antara baja karbon rendah dan baja karbon tinggi.

Pada penelitian ini digunakan lembaran plat baja JIS SUP 9 dan baja cor 0,5CCrMnSi yang disusun membentuk benda kerja dengan dimensi 75 x 30 x 15 mm. Benda kerja kemudian ditempa secara manual dengan variasi pada jumlah lipatan

dengan beberapa tahap penempaan. Pada setiap tahap terjadi beberapa siklus yang membentuk dimensi ketebalan akhir 3 mm. Setelah itu dilakukan pengujian kekerasan dan metalografi, untuk mengetahui nilai kekerasan dan struktur mikro yang terbentuk setelah proses penempaan. Serta di analisa susunan partikel cementite yang membentuk pola damask.

Pada penelitian ini didapatkan nilai kekerasan dan struktur mikro pada pisau tempa B1 dan B2. Nilai kekerasan pada penampang lebih tinggi dibandingkan dengan permukaan. Pada penampang pisau B1 nilai kekerasannya sebesar 351 HV. Pada permukaan pisau B1 nilai kekerasannya sebesar 339,3 HV. Sedangkan pada penampang pisau B2 nilai kekerasannya sebesar 434,9 HV, pada permukaannya sebesar 383,8 HV. Pisau B2 memiliki nilai kekerasan rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan pisau B1. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan ukuran butir yang terbentuk setelah proses penempaan lebih kecil dan halus. Batas-batas antara material yang berbeda tetap terlihat dan tidak berdifusi antara satu dengan yang lainnya. Fase yang terbentuk adalah pearlite, ferrite, dan martensite tempered.

Kata kunci : pisau, damaskus, welded forging, penempaan.

ABSTRACT

***EFFECT OF FOLDING STEEL JIS SUP 9 AND
0,5CCrMnSi ON THE HARDNESS NUMBER, MICRO
STRUCTURE AND PATTERN ON THE BLADE
SURFACE***

Student's Name : ***Luthfan Natakesuma Lamoni***
Student's Number : ***2113 100 148***
Department : ***Mechanical Engineering***
Lecturer Supervisor : ***Suwarno, ST., MSc., PhD***

Abstract

Knife as one type of cutting tool that has been known for a long time, to serve human needs. The quality of a good knife becomes important as the development of human needs. High quality knives depend on the material to be made and the method of manufacture. In general, metal knives are made with forging. The forging process is able to increase strength and reduce further machining processes. There are several methods of forging to make a high quality knife. One of them is welded forging. Welded forging method manipulated the arrangement between low carbon sheets and high carbon sheets. The arrangement of the sheet forms low and high carbon layers. These layers then affect the pattern that appear on the surface of the knife or known as damask pattern.

This research used plate of JIS SUP 9 steel and 0,5CCrMnSi cast steel arranged to form workpiece with dimension 75 x 30 x 15 mm. . The workpiece is then manually forged at several stages of forging and with variation of number of folds. At each stage there are several cycles that form the final dimensions of 3 mm thickness. After the process of forging and form a desired blade, the knife as-forged tested the hardness number and metallography, to determine the value of hardness and microstructure formed after the forging process. It also analyze the arrangement of cementite

particles formed on the surface of the blade, which forms a damask pattern.

In this research we get the value of hardness and micro structure on the blade of B1 and B2. The hardness number at the cross section is higher than the surface. On the cross section of blade B1 its hardness number is 351 HV. On the surface of the blade B1 its hardness number is 339.3 HV. While on the cross section of the knife B2 hardness number of 434.9 HV, on the surface of 383.8 HV. The blade B2 has a higher mean hardness number than the blade B1. The microstructural observation results show the size of the grains formed after the forging process is smaller and smoother. The boundaries between different materials remain visible and do not diffuse from one another. The resulting phase is pearlite, ferrite, and tempered martensite.

Key words : knife, damascus, damask pattern, damascene, welded forging.

KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum, Wr, Wb

Puji dan syukur marilah kita panjatkan kehadirat Allah SWT, atas berkah dan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir ini sebagai persyaratan akademis dalam mendapatkan gelar Sarjana Teknik, pada bidang studi Metalurgi, jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua orangtua, ayah dan ibu, serta keluarga semua yang senantiasa mendoakan dan mendukung penulis baik secara materil maupun moril. Tidak lupa rasa terima kasih juga penulis ucapkan kepada bapak Suwarno, ST., MSc, PhD., selaku dosen pembimbing yang senantiasa mengarahkan penulis. Serta bapak Dr. Eng. Sutikno, ST., MT., Indra Sidharta, ST., MSc., Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA., yang telah memberikan kepercayaan dan meluluskan penulis selama proses sidang tugas akhir ini. Terima kasih juga kepada bapak Subandi yang telah membantu proses pengerjaan tugas akhir ini. Dan juga Ayu Kristina KS, ST., serta Laskar Yonglek dan teman seperjuangan di laboratorium metalurgi.

Rasa terima kasih juga penulis sampaikan kepada Kamilah Tafif yang telah sabar, dan selalu mendukung penulis selama pengerjaan tugas akhir ini. Teman teman Jablay Ngepot, Joko Ade Nugroho, Husen Haekal, Ananta Jatra S, Aqil Ammar, Gregorius Romario, Eden P Hutabalian, Amri Hakim, Vristanto Bimo Kusumo, Chairil Rizkyanto, Maulana Fajar, dan Krisna Suarna yang setia menemani malam malam sunyi selama penulis bekerja. Serta kepada BPH Himpunan 2015/2016 yang saya cintai Firman Rama Putra, Erik Noer Mazhlina, Aip Abdul Latip, Fridam Amrulloh, Masud Assadullah, Dwi Dani Aufar, Anderson Wellington, Ardhi Bintang, Rico Abel.

Sekali lagi penulis ucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung penulis hingga dapat menyelesaikan dengan baik tugas akhir ini.

Wassalamuallaikum, Wr, Wb

Surabaya, Januari 2018

Penulis

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
Abstrak	iv
<i>Abstract</i>	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Hasil Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Proses Tempa	12
2.3 Pembuatan Pisau Damaskus	14
2.3.1 Pembuatan <i>Ingot</i>	14
2.3.2 Penempaan <i>Ingot</i>	15
2.3.3 Penempaan Pisau Damaskus	15
2.4 Bahan Bahan Pisau	17
2.4.1 Baja JIS SUP 9	20
2.4.2 Baja Cor 0,5CCrMnSi	21
2.5 Perlakuan Panas	22
2.5.1 Diagram Keseimbangan Besi Karbon (<i>Fe – C</i>) dan Diagram CCT	23
2.5.2 <i>Martensite</i>	26
2.5.3 <i>Tempering</i>	28
2.5.4 <i>Annealing</i>	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Material	30
3.2 Peralatan	31

3.3 Diagram Alir Penelitian	33
3.4 Metode Pembuatan Pisau	35
3.4.1 Persiapan Bahan	36
3.4.2 Pembentukan Benda Kerja	36
3.4.3 Pemanasan Awal	37
3.4.4 Proses Penempaan	38
3.4.5 Proses <i>Finishing</i>	39
3.5 Pengujian	40
3.5.1 Metalografi	40
3.5.2 Pengujian Kekerasan	41
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1 Pengujian Komposisi Kimia	43
4.2 Pisau Tempa Manual	44
4.2.1 Pembahasan Pisau B1	47
4.2.2 Pembahasan Pisau B2	52
4.3 Pengamatan Pola Permukaan Pisau	55
4.3.1 Pembahasan Pola Permukaan Pisau	56
4.4 Pengujian Kekerasan	58
4.4.1 Kekerasan Pada Bahan Pisau	60
4.4.2 Pembahasan Kekerasan	64
4.5 Pengamatan Struktur Mikro	66
4.5.1 Pengamatan Struktur Mikro Pisau B1	67
4.5.2 Pengamatan Struktur Mikro Pisau B2	68
4.5.3 Pembahasan Struktur Mikro	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	79
BIODATA PENULIS	94

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pola Damask Pada Permukaan “ <i>genuine damascus</i> ”	6
Gambar 2.2	Susunan Partikel <i>Cementite</i> (a) perbesaran 40 x (b) perbesaran 250 x (c) perbesaran 800 x	9
Gambar 2.3	Mikrosegresi Yang Terbentuk Pada interdendrit	9
Gambar 2.4	Pengaruh jumlah <i>layer</i> dan temperature terhadap waktu difusi antara karbon	11
Gambar 2.5	Batas Temperature Pengerjaan Panas	13
Gambar 2.6	<i>Ingot</i> Pisau Damaskus	15
Gambar 2.7	Ratio Tempa Penempaan	17
Gambar 2.8	Pisau Damaskus	17
Gambar 2.9	Diagram CCT JIS SUP 9	21
Gambar 2.10	Diagram CCT French Steel 45 MS 6 (0.45% C – 1.5% Mn – 1.34% Si – 0.03% Cr)	22
Gambar 2.11	Diagram Fe – Fe ₃ C	24
Gambar 2.12	Diagram CCT	26
Gambar 3.1	Skema dimensi bahan lembaran plat dengan dimensi 75 x 15 x 4,28 mm	30
Gambar 3.2	Contoh susunan <i>layer</i> yang membentuk benda kerja	31
Gambar 3.3	Diagram alir penelitian	34
Gambar 3.4	Diagram alir penempaan benda kerja	35
Gambar 3.5	Skema proses <i>Full Annealing</i>	37
Gambar 3.6	Benda kerja yang telah disusun dan dilas	37
Gambar 3.7	Pemanasan awal benda kerja	38
Gambar 3.8	Penempaan benda kerja	39
Gambar 3.9	Spesimen pengujian kekerasan dan metalografi	40
Gambar 4.1	(a) Susunan benda kerja	45

	(b) Pisau tempa manual benda kerja B1	45
	(c) Pisau tempa manual benda kerja B2	46
Gambar 4.2	<i>Crack</i> pada pisau B1	
	(a) Antara lapisan	46
	(b) Permukaan	47
Gambar 4.3	(a) spesimen pengujian retak	49
	(b) Titik pengujian nilai kekerasan pada retakan	
Gambar 4.4	Struktur mikro	50
	(a) pada bagian retak pisau B1	
	(b) pada batas antara material	
Gambar 4.5	Hasil Pengujian SEM	51
	(a) Pengujian EDX	
	(b) Mapping EDX	
Gambar 4.6	Pengaruh jumlah <i>layer</i> dan temperature terhadap waktu difusi antara karbon	54
Gambar 4.7	(a) Pola pada permukaan pisau B1	55
	(b) Pola pada permukaan pisau B2	
Gambar 4.8	Struktur mikro pola	57
	(a) Permukaan pisau	
	(b) Penampang pisau	
Gambar 4.9	Titik pengujian nilai kekerasan pada pola	58
Gambar 4.10	(a) Pengambilan spesimen pada pisau B1	61
	(b) Titik pengambilan nilai kekerasan spesimen permukaan B1	
	(c) Titik pengambilan nilai kekerasan spesimen penampang B1	
Gambar 4.11	Grafik persebaran kekerasan pisau B1	62
Gambar 4.12	(a) Pengambilan spesimen pada pisau B2	63
	(b) Titik pengambilan nilai kekerasan spesimen permukaan B2	
	(c) Titik pengambilan nilai kekerasan spesimen penampang B2	
Gambar 4.13	Grafik persebaran kekerasan pisau B2	64
Gambar 4.14	Struktur mikro 0,5 CCrMnSi sebelum ditempa	66
Gambar 4.15	Struktur mikro JIS SUP 9 sebelum ditempa	67

Gambar 4.16	Struktur mikro permukaan pisau B1	68
Gambar 4.17	Struktur mikro penampang pisau B1	68
Gambar 4.18	Struktur mikro permukaan pisau B2	69
Gambar 4.19	Struktur mikro penampang pisau B2	69
Gambar 4.20	Tegangan kritis dalam pembentukan <i>martensite</i> pada proses <i>strain induced martensite</i> .	71
Gambar 4.21	Efek temperatur deformasi terhadap regangan yang terjadi pada proses pembentukan <i>martensite</i>	72
Gambar 4.22	Kekerasan yang terbentuk pada fase yang berbeda seiring dengan meningkatnya kandungan karbon pada bahan	73

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Tensile Properties</i> Baja Damaskus	10
Tabel 2.2	Variasi Warna dan Temperatur Pada Api	14
Tabel 2.3	Presentase Karbon Dalam Baja dan Aplikasinya	18
Tabel 3.1	Bahan penelitian dan komposisi kimia	30
Tabel 3.2	Rancangan susunan <i>layer</i> yang membentuk benda kerja	31
Tabel 3.3	Rancangan benda kerja dan proses penempaan	39
Tabel 3.4	Rancangan siklus penempaan pisau	39
Tabel 3.5	Desain Uji Metalografi	41
Tabel 3.6	Desain Uji Kekerasan	42
Tabel 4.1	Hasil uji komposisi kimia bahan	44
Tabel 4.2	Hasil pengujian nilai kekerasan pada retakan	48
Tabel 4.3	Hasil pengujian SEM	52
Tabel 4.4	Hasil pengujian nilai kekerasan pada pola	58
Tabel 4.5	Hasil uji kekerasan bahan awal	59
Tabel 4.6	Hasil uji kekerasan pisau B1 dan B2	60

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 1
PENDAHULUAN

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pisau sebagai salah satu jenis alat potong yang sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari, terus mengalami perkembangan seiring dengan berkembangnya teknologi. Mulai dari pisau yang terbuat dari batu dan digunakan sebagai alat berburu, dan pertahanan diri. Hingga saat ini dimana pisau yang pada umumnya terbuat dari logam, digunakan dalam memenuhi kebutuhan industri, pertanian, militer, kebutuhan rumah tangga, bahkan menjadi benda bernilai seni tinggi. Pisau dengan kualitas yang tinggi, baik dari segi kekerasan, ketangguhan, maupun ketajamannya menjadi penting seiring dengan semakin beragamnya kebutuhan manusia.

Kualitas pisau ditentukan oleh bahan dan proses pembuatan yang digunakan. Pada umumnya pisau berbahan logam diproses dengan cara ditempa (*forging*). Proses pembentukan logam dengan cara ditempa mampu meningkatkan kekuatan material dan mengurangi proses permesinan lanjut. Salah satu jenis proses penempaan adalah *open forging* yang dapat dilakukan secara manual dan dalam kondisi panas (*hot working*). Proses ini sering digunakan oleh pandai besi tradisional dalam membuat pisau. Terutama pandai besi tradisional di Indonesia.

Kualitas pisau hasil penempaan manual oleh pande besi tradisional di Kawisanyar, Gresik Jawa Timur dengan bahan baja bekas, diketahui memiliki nilai kekerasan pada penampang melintang berkisar antara 39-41 HRC, sedangkan permukaan tumit pisau (*heel*) nilai kekerasan berkisar antara 35-44 HRC dan 53-58 HRC kekerasan pada permukaan sisi tajam (*edge*). Dengan strukturmikro merupakan bainit dan pearlit yang ditemukan disepanjang permukaan pisau (Balkhaya, 2016). Hal ini mampu untuk ditingkatkan dan dikembangkan agar mendapatkan kualitas pisau yang lebih baik.

Pada abad pertengahan, terdapat sebuah alat potong yang disebut pedang/pisau damaskus. Penelitian terdahulu terhadap beberapa bahan pisau/pedang damaskus peninggalan abad 17 yang kemudian disebut *genuine damascus*, menunjukkan bahwa unsur-unsur penyusun pisau damaskus adalah 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). Dengan nilai kekerasan 62-67 HRC (Verhoeven, 1990). Baja damaskus termasuk dalam baja karbon tinggi (*ultra-high carbon (UHC)*). Komposisi kimia termasuk *hypereutectoid* terdiri dari *pearlite (lamellar cementite dan ferrite)* dan *cementite*. Baja damaskus memiliki pola khusus, yang disebut pola damask. Hal ini dipengaruhi oleh proses penempaan yang tidak terdeformasi secara seragam dan unsur-unsur pengotor seperti V, Mo, Mn, dan Nb yang terkandung menyebabkan terbentuknya mikrosegregasi pada *interdendrit* yang lebih terkonsentrasi. Dengan teknologi pengolahan logam pada masa itu mampu menciptakan alat potong yang memiliki tingkat ketajaman dan kekerasan tinggi. Namun sayang teknologi itu hilang seiring dengan bergantinya zaman ke era modern.

Usaha menciptakan kembali pisau atau pedang damaskus telah dilakukan oleh banyak peneliti. Namun hanya beberapa yang telah berhasil menciptakan pisau damaskus dengan kekerasan, ketajaman, dan pola damask yang mendekati *genuine damascus*. Diantaranya adalah Verhoeven, dan Wadsworth - Sherby. Verhoeven membuat kembali pisau yang mendekati *genuine damascus* dengan metode penempaan manual oleh pande besi pada temperatur tempa 1175°C-825°C dan rasio penempaan 9 menggunakan *ingot* yang dibuat dengan komposisi kimia mendekati komposisi kimia *genuine damascus*. Sedangkan Wadsworth dan Sherby meneliti sifat dari ultra high carbon steel setelah proses *rolling*. Dimana terbentuk pola yang hampir mirip dengan pola damask. Hal ini membuktikan bahwa proses penyusunan partikel *cementite* dapat direkayasa melalui proses *thermomechanical* seperti proses tempa. Berdasarkan hal ini Wadsworth dan Sherby menggunakan metode *welded forging*

dalam menciptakan pisau damaskus dengan pola damask pattern. Bahan yang digunakan dalam membentuk pisau damaskus juga menjadi kunci terbentuknya pisau damaskus dengan kualitas yang baik.

Penelitian terkait pengaruh kekerasan material pisau tempa manual dengan proses perlakuan panas menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi diantara baja AISI 1030, baja AISI 4340, baja AISI L-6, dan baja JIS SUP 9 yang ditempa secara manual dan diberikan perlakuan panas, dimiliki oleh baja JIS SUP 9 dengan proses pengerasan pada *furnace*. Dengan nilai kekerasan yang didapatkan adalah sebesar 62 HRC pada permukaannya, dan 60,2 HRC pada penampang (Balkhaya, 2016). Selain sifat kekerasan bahan, komposisi kimia bahan juga mempengaruhi kualitas pisau yang didapatkan. Penelitian terhadap bahan baja paduan rendah dengan komposisi kimia 0,5% C; 1,95% Si; 1,7% Mn; 0,3% Ni; 1,1% Cr; 0,007% V; 0,01% Mo memiliki karakteristik yang cukup baik setelah ditempa. Yaitu dengan hilangnya porositas serta nilai kekerasan sebesar 62,44 HRC setelah proses *quenching*, 57,67 HRC setelah proses *normalizing*, dan 38,67 HRC setelah proses *annealing* (Kharisma Yuko, 2017). Ketangguhan, kekerasan dan tingginya unsur pengotor pada baja paduan dan baja JIS SUP 9 ini mampu dimanfaatkan sebagai bahan pisau tempa.

Berdasarkan penjelasan diatas, sebagai upaya meningkatkan kualitas pisau yang dihasilkan oleh pandai besi tradisional di indonesia, perlu dilakukan penelitian tentang pisau. Penelitian yang dilakukan menggunakan bahan baja paduan rendah 0,5CCrMnSi dan baja JIS SUP 9 dengan variasi jumlah lipatan pada proses penempaan. Untuk mengamati pengaruhnya terhadap pembentukan pola damask, kekerasan dan struktur mikro yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Terbatasnya pengetahuan mengenai proses pembuatan *welded damascus blade* dengan bahan material JIS SUP 9 dan baja cor 0,5CCrMnSi menggunakan metode penempaan manual.

Sehingga belum banyak pande besi tradisional di Indonesia yang menggunakan metode dan bahan material serupa.

Dalam penelitian ini akan dievaluasi pengaruh variasi jumlah lipatan pada proses penempaan manual, menggunakan bahan baja JIS SUP 9 dan baja cor 0,5CCrMnSi, terhadap nilai kekerasan, struktur mikro, dan pola pada permukaan pisau yang terbentuk.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian dapat berjalan lancar dan terarah untuk mencapai tujuan yang diinginkan, perlu diberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Penempaan dilakukan dengan mengkombinasikan baja JIS SUP 9, dan baja cor 0,5CCrMnSi sebagai bahan penyusun *layer*
2. Total dimensi awal dari susunan *layer* yang terbentuk adalah 75 x 30 x 15 mm
3. Temperatur penempaan pada siklus pertama dijaga konstan berkisar antara 1000 - 750°C
4. Temperatur penempaan pada siklus kedua dijaga konstan berkisar antara 800 - 600°C
5. Temperatur penempaan pada siklus ketiga dijaga konstan berkisar antara 700 - 500°C
6. Penempaan dilakukan secara manual pada pande besi tradisional
7. Seluruh proses penempaan dilakukan oleh operator yang sama
8. Alat uji dan alat ukur layak dan terkalibrasi.

Beberapa asumsi yang ditetapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Seluruh gaya pukulan selama proses penempaan diasumsikan sama
2. Pengaruh tegangan yang ditimbulkan akibat variasi gaya penempaan dianggap sama

3. Proses manufaktur bahan baku sebelum penempaan diasumsikan tidak berpengaruh.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah lipatan pada proses penempaan manual, terhadap nilai kekerasan, dan struktur mikro. Dengan mengkombinasikan baja JIS SUP 9 dan baja 0,5CCrMnSi sebagai bahan pisau *welded damascus*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian yang dilakukan ini adalah dapat digunakan sebagai referensi bagi pembaca dalam membuat pisau damaskus dan memungkinkan dilakukan pengembangan lebih lanjut kedepannya, serta meningkatkan pengetahuan tentang proses pembuatan pisau *welded damascus* menggunakan proses penempaan manual.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 2

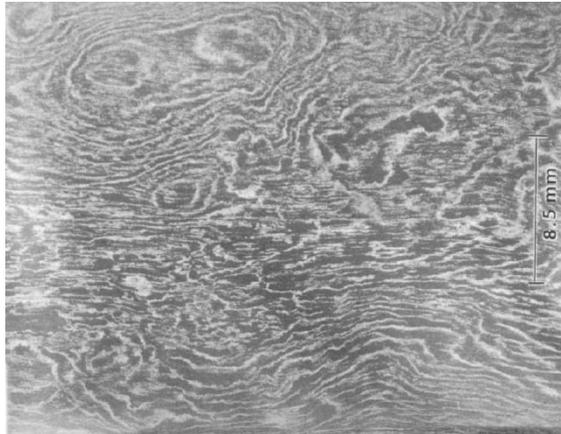
TINJAUAN PUSTAKA

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai pisau damaskus terus dilakukan sebagai upaya dalam menemukan kembali teknologi pembuatannya yang hilang. Peneliti terdahulu memanfaatkan pisau pisau atau pedang damaskus peninggalan abad pertengahan sebagai bahan penelitian mereka guna menemukan kunci dari ketajamannya. Beberapa karakteristik yang ditunjukkan oleh pisau dan pedang damaskus peninggalan abad pertengahan atau yang biasa disebut “*genuine damascus*” diantaranya adalah seluruh “*genuine damascus*” yang ada memiliki pola khusus yang hanya muncul dan terbentuk pada pedang dan pisau damaskus yang kemudian disebut “*damask pattern*” (Fatollahi, 2011).



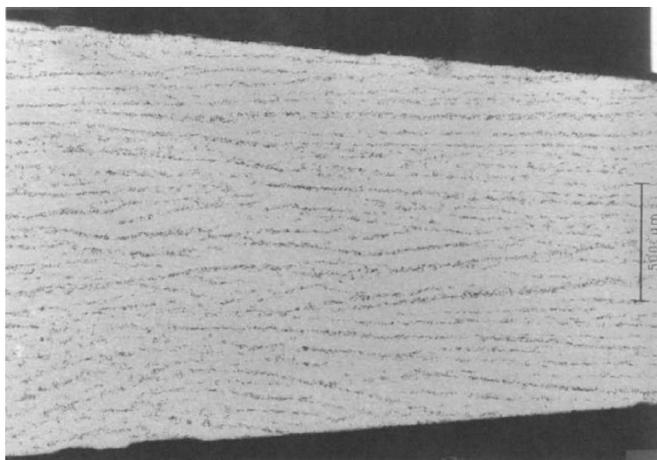
Gambar 2.1 Pola Damask Pada Permukaan “*genuine damascus*” (Fatollahi, 2011)

Pisau atau pedang damaskus termasuk dalam baja karbon tinggi (*ultra high carbon* (UHC)). Penelitian terhadap komposisi kimia yang terkandung dalam baja damaskus telah dilakukan dan

didapatkan unsur unsur yang terkandung dalam baja damaskus diantaranya adalah 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). Komposisi kimia termasuk *hyper-eutectoid* dengan matrix pearlitik terdiri dari pearlit (*lamellar cementite* dan *ferrite*) dan cementit (Peterson, dkk., 1990).

Analisa terhadap strukturmikro pada baja damaskus menunjukkan bahwa inklusi yang terdapat pada baja damaskus sangat sedikit dan kecil, dengan diameter antara 0,5 – 1 μm . Selain itu susunan partikel *cementite* berbentuk *spheroid* dengan diameter 2 – 8 μm pada permukaan pisau membentuk kelompok kelompok partikel yang tersusun menjadi lembaran paralel yang terdiri dari 3 – 4 partikel secara melintang. Partikel *cementite* pada permukaan pisau tidak tersusun secara paralel melainkan bergelombang. Hal ini dipengaruhi oleh proses penempaan yang tidak terdeformasi secara seragam, partikel partikel *cementite* ini bertindak sebagai hambatan dislokasi dan meningkatkan kekuatan (Peterson, dkk., 1990). Susunan lembaran partikel *cementite* yang terbentuk memiliki jarak 20 – 100 μm antara lembaran yang satu dengan lainnya, hal ini merupakan salah satu faktor terbentuknya pola damask pada permukaan pisau (Verhoeven, 1992).

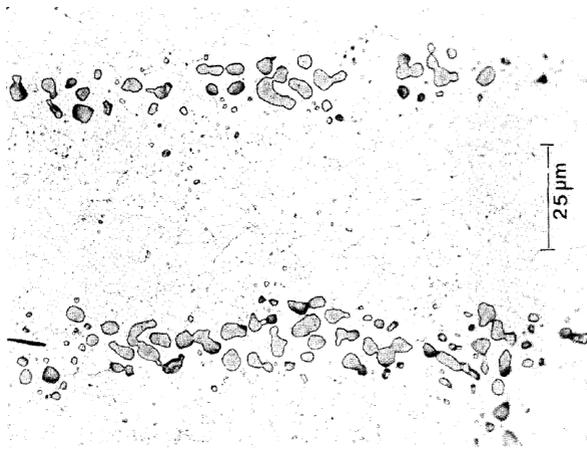
Selain susunan partikel *cementite*, pola damask juga dipengaruhi oleh unsur unsur pengotor yang terdapat pada kandungan baja damaskus. Penelitian tentang pengaruh unsur unsur pengotor pada *ingot* dalam pembentukan pola damask telah dilakukan oleh (Verhoeven, 2001). Penelitian ini menggunakan *forging* manual oleh pande besi profesional. Bahan yang digunakan pada percobaan ini adalah logam Sorel sebagai *ingot* dengan kandungan karbon berkisar 3,9 – 4,7% C dan 0,003 – 0,014% V. Penambahan 0,003% V, Mo, Mn, Nb dalam persentase sedikit mengakibatkan terjadi *band* karbida pada *ingot*. Pengujian menggunakan *Electron probe microanalysis* (EPMA) pada *ingot* logam Sorel menunjukkan terjadi *microsegregated* pada *interdendit* yang lebih terkonsentrasi. Hal ini disebabkan oleh penambahan unsur-unsur V, Mo, Mn, dan Nb kurang dari 0.02%.



(a)

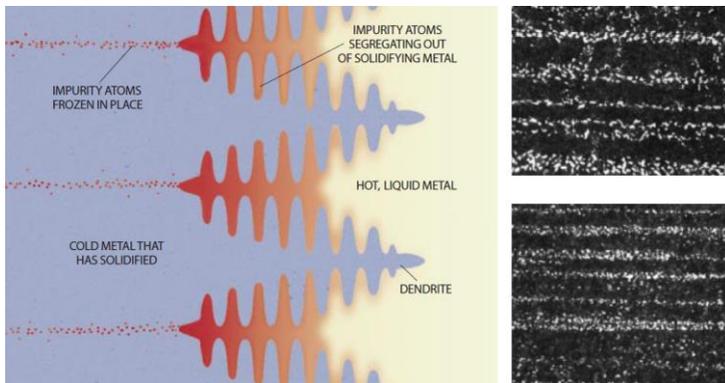


(b)



(c)

Gambar 2.2 Susunan Partikel *Cementite* (a) perbesaran 40 x (b) perbesaran 250 x (c) perbesaran 800 x (Peterson, Dkk., 1990)



Gambar 2.3 Mikrosegregasi Yang Terbentuk Pada Interdendrit (Verhoeven, 2001)

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 $R_a = 62 - 67$. 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

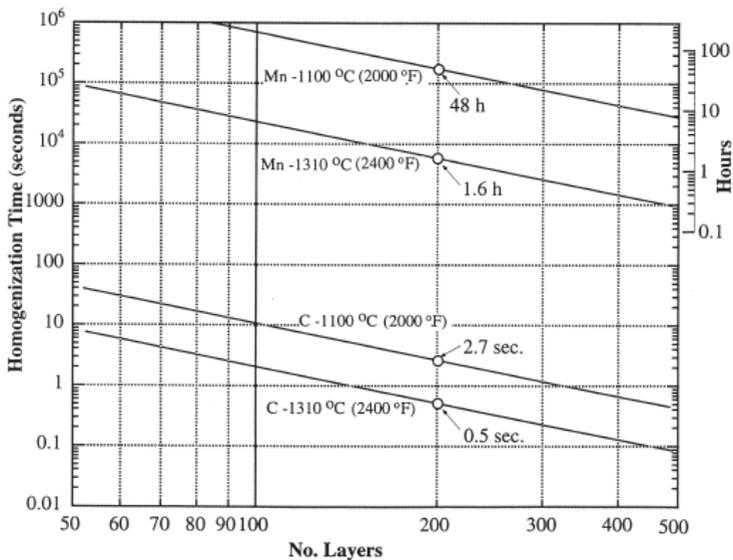
Sumber : Peterson, Dkk., 1990

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.

Dalam menggunakan metode penempaan manual dalam membentuk pisau *welded damascus*, jumlah *layer* yang digunakan mempengaruhi proses difusi dari karbon antara kedua jenis *layer* yang digunakan. Semakin banyak jumlah *layer*, proses difusi antara karbonnya membutuhkan waktu yang semakin sebentar,

selain itu temperature yang tinggi juga mempercepat difusi antara karbonnya. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4 (Verhoeven, 1998). Hal ini dapat dilakukan pada saat proses penempaan awal, dimana pada pemanasan pertama dapat digunakan temperatur yang tinggi, dimana karbon yang terkandung pada tiap jenis *layer* dapat berdifusi dengan baik. Dan juga jumlah *layer* yang baik dalam membentuk pola adalah antara 200 – 500.

Susunan *layer* yang terbentuk menjadi billet pada metode penempaan manual dalam menciptakan pisau *welded damascus* mempengaruhi pola damask yang keluar di permukaan. Jumlah susunan *layer* yang cukup baik dan kontras untuk mendapatkan pola damask yang diinginkan adalah antara 7 hingga 28 *layer* pada susunan awal. Dan tidak lebih dari 64, karena pola yang terbentuk akan menjadi bias (Jim Hrisoulas, 1994).



Gambar 2.4 Pengaruh jumlah *layer* dan temperature terhadap waktu difusi antara karbon (Verhoeven, 1998)

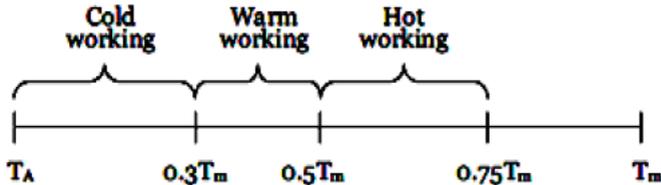
2.2 Proses Tempa

Penempaan atau *forging* merupakan proses pengolahan logam yang sudah dikenal sejak lama. Proses ini merupakan proses pembentukan logam dengan mendeformasi plastis suatu bahan. Pada umumnya proses penempaan dilakukan dengan memberikan beban secara berulang ulang membentuk suatu siklus hingga bahan logam tersebut terbentuk seperti yang diinginkan. Penempaan dapat dilakukan secara manual dengan menggunakan beban dari tenaga manusia dengan menggunakan palu, ataupun secara otomatis dengan dengan beban dari mesin dan menggunakan cetakan. Selain merubah bentuk proses penempaan juga menghaluskan struktur butir dan dapat mengurangi proses permesinan.

Ukuran dan bentuk butir yang dihasilkan melalui proses penempaan dipengaruhi oleh temperatur tempa, komposisi kimia, dan proses pengerjaan. Ukuran butir semakin besar seiring dengan meningkatnya temperatur penempaan. Begitu pula dengan komposisi kimia dan proses pengerjaannya, komposisi kimia berpengaruh terhadap kemampuan tempa dari suatu bahan, semakin keras suatu bahan akan semakin sulit untuk ditempa. Bahan hasil proses tempa memiliki bentuk butir halus yang searah dengan proses pemberian beban saat penempaan. Butir yang halus dan searah ini dapat meningkatkan kualitas ketajaman dan kekuatan 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 halus pada permukaan, hal ini dapat dihindari dengan mengontrol temperatur pengerjaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.

Metode ini yang biasa digunakan oleh pande besi tradisional (Schey, 2000).



Gambar 2.5 Batas Temperature 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 2.2 dibawah ini. Warna api atau baja yang digunakan ketika melakukan penempaan pada umumnya berwarna *cherry red* atau pada temperatur tempa sekitar 800°C . Dalam memanaskan logam terdapat 3 bagian penting dalam tungku api, yaitu *oxidizing layer*, *neutral layer*, dan *carburizing layer*. Yang mana masing masing mempunyai pengaruh terhadap logam yang dipanaskan. *Oxidizing layer*, logam yang diletakan pada *layer* ini akan mudah teroksidasi dan kehilangan kadar karbon karena terpapar oleh oksigen di udara. *Neutral layer*, berada ditengah api dan merupakan tempat terbaik dalam memanaskan logam untuk mencapai temperatur tempanya. *Carburizing layer*, dapat meningkatkan kadar karbon dari logam namun logam yang diletakan di *layer* ini juga mampu menyerap zat pengotor selain logam (Jim Hrisoulas, 1987).

Tabel 2.2 Variasi Warna dan Temperatur Pada Api

Temperature (°F/°C)	Warna
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 : Jim Hrisoulas, 1987

2.3 Pembuatan Pisau Damaskus

Secara umum proses pembuatan pisau damaskus sama dengan proses pembuatan pisau tradisional biasa. Namun komposisi kimia dari bahan pisau tersebut yang menjadikannya berbeda (Verhoeven, 2001). Bahan pisau damaskus yang di buat di India, biasa disebut *wootz cakes* dipercaya menjadi kunci kesuksesan pisau damaskus ini. Beberapa tahap dalam proses pembuatan sebilah pedang atau pisau damaskus adalah sebagai berikut :

2.3.1 Pembuatan *Ingot*

Ingot dibuat dengan cara peleburan dalam tungku campuran besi murni, *ingot* logam Sorel, arang, serpihan kaca dan daun-daunan. Unsur C dan unsur pengotor selama proses peleburan dikendalikan oleh perbandingan besi murni, logam Sorel dan arang. Dalam proses peleburan serpihan kaca mencair dan membentuk terak yang melindungi *ingot* dari oksidasi. Daun-daunan menghasilkan hidrogen untuk mempercepat karburisasi besi. Kandungan C dari besi meningkat menjadi 1,5 persen. Pertumbuhan partikel karbida selama proses pendinginan adalah salah satu faktor yang nantinya akan membentuk pola damask.

2.3.2 Penempaan Ingot

Dalam menempa *ingot* hingga menjadi bentuk *billet* dilakukan dengan cara memanaskan *ingot* pada temperatur yang tepat dengan menggunakan tungku propana dengan bahan bakar gas, selanjutnya dilakukan proses penempaan secara manual. Penempaan dilakukan 4 tahap, setiap tahap membutuhkan 50 siklus pemanasan. Gambar 2.6 menunjukkan bentuk ingot bahan pisau damaskus.



Gambar 2.6 *Ingot* Pisau Damaskus (Verhoeven, 2001)

2.3.3 Penempaan Pisau Damaskus

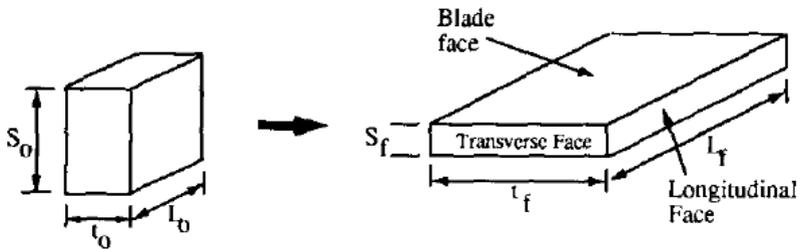
Pisau damaskus ditempa secara manual oleh pande besi tradisional dengan metode pengerjaan panas (*hot working*). Pemanasan awal dilakukan pada *ingot* pisau dalam tungku propana dengan bahan bakar gas hingga mencapai temperatur membentuk campuran cementit dan austenite atau hingga berwarna *cherry red*. Kemudian dilakukan penempaan secara manual menggunakan palu dan anvil sebagai landasan. Penempaan dilakukan hingga temperatur *ingot* turun mencapai temperatur 50°C dibawah suhu rekristalisasinya. Kemudian *ingot* pisau dipanaskan kembali dan ditempa lagi dengan siklus yang sama.

Pada metode penempaan pisau damaskus, logam akan lebih banyak mengalir ke arah longitudinal pisau dari pada arah transversal. Perubahan bentuk selama penempaan didesain untuk

memproduksi aliran yang sama banyak pada arah longitudinal maupun transversal, diilustrasikan seperti Gambar 2.7. Faktor penempaan 9 (S_0/S_f) harusnya 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 tinggi, faktor penempaan yang digunakan adalah 3. Kemudian untuk dimensi lebar juga menggunakan faktor penempaan 3 (Verhoeven, 1992).

Proses penempaan pisau damaskus dilakukan pada temperature $50 - 250^\circ\text{C}$ dibawah garis Acm. Penghilangan dan penyusunan kembali struktur mikro dilakukan pada tahap awal, dimana baja dipanaskan hingga temperature 50°C diatas Acm. Kemudian dilakukan penempaan secara berulang² hingga membentuk pisau yang sesuai (Verhoeven, 2001).

Dalam proses pembuatan pisau damaskus terdapat beberapa tahap siklus penempaan agar terbentuk struktur mikro dengan bulir yang halus. Siklus penempaan awal, dengan temperatur tempa mencapai $1000 - 750^\circ\text{C}$ agar terbentuk dimensi pisau awal dengan fasa austenite yang cukup besar, sehingga presipitat unsur lain yang lebih kecil dan menyebar dapat berdifusi dengan fasa austenit. Setelah itu siklus pembentukan pisau dengan temperatur tempa mencapai $800 - 600^\circ\text{C}$ dan proses penempaan yang searah agar terbentuk dimensi dan profil pisau yang sesuai dan partikel *cementite* yang lebih kecil dan tersusun membentuk lembaran. Kemudian siklus penempaan akhir dengan temperatur tempa $700 - 500^\circ\text{C}$ untuk memperhalus butir yang terbentuk. Setelah itu dilakukan proses gerinda dan etsa agar pola damask yang terbentuk dapat terlihat



Original shape where the grain boundary C_m is set-up

Final shape after forging

Gambar 2.7 Ratio Tempa Penempaan (Verhoeven, 1990)



Gambar 2.8 Pisau Damaskus (Verhoeven, 2001)

2.4 Bahan Bahan Pisau

Pemilihan bahan yang tepat menjadi faktor penting dalam proses pembuatan pisau. Pande besi tradisional seringkali menggunakan bahan bahan baja bekas. Baja dengan karakteristik tertentu seperti tangguh, tahan aus, mudah dipertajam, tahan korosi dan tahan benturan merupakan sifat sifat baja yang ideal untuk dijadikan bahan pembuatan pisau. Sifat sifat ini sangat dipengaruhi oleh unsur unsur yang terkandung di dalamnya. Pada umumnya unsur unsur yang terkandung dalam logam adalah sebagai berikut (Hrisoulas, 1987) :

1. Besi (Fe)

Besi adalah logam yang paling umum yang ditemukan didalam Bumi berbentuk bijih, tetapi tidak pernah ditemukan dalam keadaan murni. Bijih besi dileburkan dan dimurnikan

sebelum digunakan. Selama proses peleburan dan pemurnian, unsur-unsur paduan ditambahkan untuk merubah propertis dari besi.

2. Karbon (C)

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

Tabel 2.3 berikut menunjukkan persentase karbon dalam baja beserta dengan aplikasinya adalah sebagai berikut:

Tabel 2.3 Presentase Karbon Dalam Baja dan Aplikasinya

Karbon (W.T%)	Aplikasi
0,05 – 0,1	Paku, Kawat, Baja lunak
0,1 – 0,2	Baja Umum, Baja lunak
0,2 – 0,3	Sekrup, Beberapa bagian mesin, Baja lunak
0,3 – 0,4	<i>Parts</i> Mesin
0,4 – 0,5	<i>Gears</i> , Poros roda, untuk <i>part part</i> dikeraskan dan tidak tepat untuk bahan pisau
0,5 – 0,6	Linggis, Palu, memiliki kekerasan yang sangat baik, dan direkomendasikan sebagai bahan pisau
0,6 – 0,7	Pedang, Kapak, Parang, Pisau
0,7 – 1	Alat potong secara umum, kandungan karbon lebih rendah menjadi pisau yang lebih tangguh, dan kandungan karbon lebih tinggi menjadi pisau yang lebih keras dan tahan aus.

Sumber : Jim Hrisoulas, 1987

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 dalam baja dapat meningkatkan *machinability*, namun tidak mempengaruhi propertis dari baja. Penambahan Pb dalam baja berkisar antara 0,15-0,30%.

5. Mangan (Mn)

Penambahan unsur Mn dalam baja 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 ketangguhan, tahan terhadap temperatur tinggi. Paduan Mo di bawah 0,20 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 salah satu unsur pengotor dalam baja dalam persentase yang sangat kecil. Kandungan unsur P dalam baja meningkatkan kekuatan luluh dan mengurangi *ductile* pada temperatur rendah, Unsur P diyakini untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi.

9. Silikon (Si)

Si dapat meningkatkan kekuatan tarik. Apabila dikombinasikan dengan unsur-unsur lain Si juga dapat meningkatkan ketangguhan. Penambahan 1,5-2,5% unsur Si dalam baja juga dapat meningkatkan konduktivitas listrik.

10. Sulfur (S)

S juga termasuk unsur pengotor dalam baja. Penambahan unsur S dalam baja dapat merusak properti logam, namun dapat meningkatkan *machinability*.

11. Tungsten atau Wolfram (W)

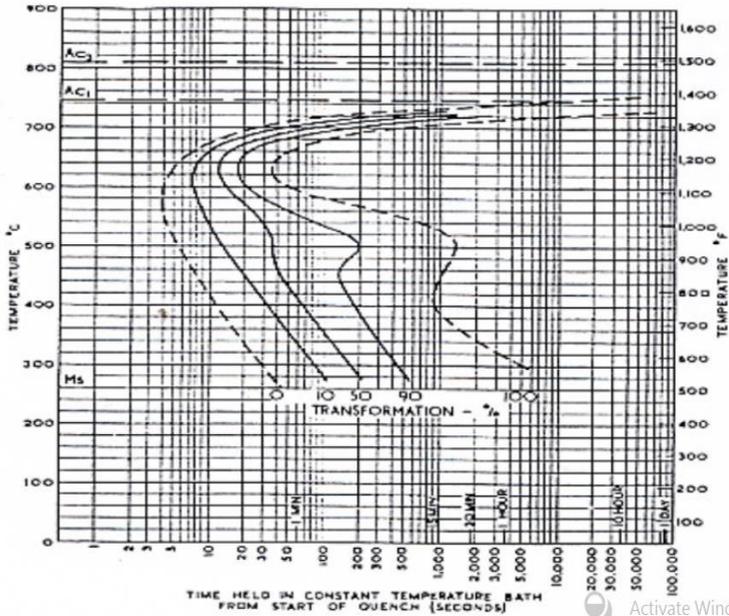
Tungsten sering digunakan sebagai unsur paduan pada baja perkakas, penambahan unsur W dalam baja dapat merubah stuktur butir menjadi lebih kecil yang mengakibatkan baja dapat mempertahankan kekerasan pada temperatur tinggi, tahan aus, dan mudah dipertajam, namun sulit dalam proses pembentukan.

12. Vanadium (V).

Vanadium menghambat pertumbuhan butir baja. Penambahan unsur V dalam baja dapat mengontrol struktur selama proses perlakuan panas. Kandung unsur V dalam baja sangat kecil berkisar antara 0,15 sampai 0,20 persen. Baja perkakas yang mengandung unsur V dapat meningkatkan kekuatan *impact*.

2.4.1 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. Kekerasa 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 2.9.

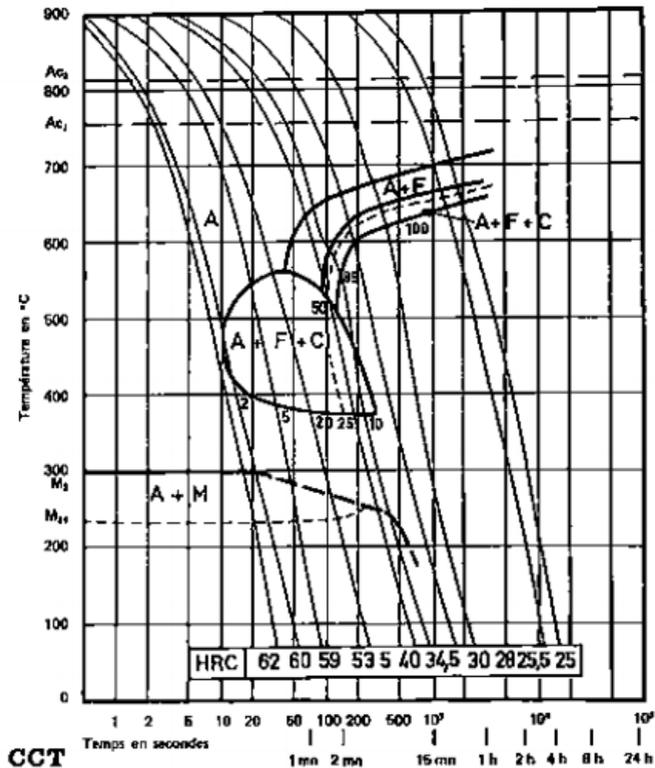


Gambar 2.9 Diagram CCT JIS SUP 9 (Voort, 1991)

2.4.2 Baja Cor 0,5CCrMnSi

Baja cor 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 A₃ dari material ini sebesar 798.158°C.

Composition: 0.46% 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 2.10 Diagram CCT French Steel 45 MS 6 (0.45% C - 1.5% Mn - 1.34% Si - 0.03% Cr) (Voort, 1991)

2.5 Perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat mekaniknya. Baja dapat dikeraskan sehingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat atau dapat dilunakan untuk

memudahkan proses pemesinan lanjut. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, ukuran butir dapat diperbesar atau diperkecil. Selain itu ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet. Untuk memungkinkan perlakuan panas tepat, komposisi kimia baja harus diketahui karena perubahan komposisi kimia, khususnya karbon dapat mengakibatkan perubahan sifat-sifat fisis.

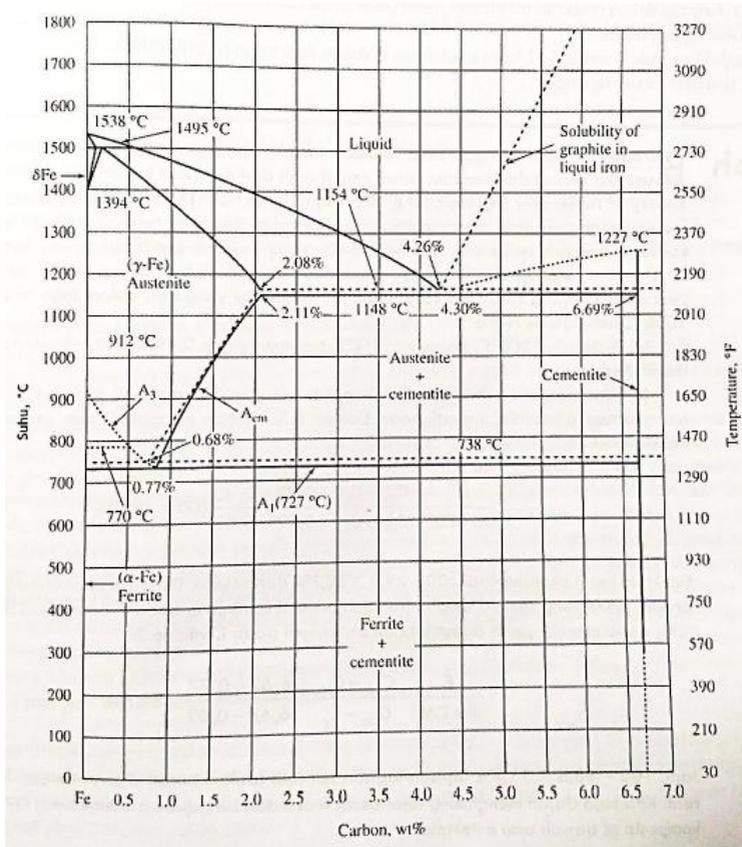
2.5.1 Diagram Keseimbangan Besi Karbon (*Fe-C*) dan Diagram CCT

Diagram keseimbangan besi karbon dapat digunakan sebagai dasar untuk melaksanakan perlakuan panas. Penggunaan diagram ini relatif terbatas karena beberapa metode perlakuan panas digunakan untuk menghasilkan struktur yang *non-equilibrium*. Akan tetapi pengetahuan mengenai perubahan fasa pada kondisi seimbang memberikan ilmu pengetahuan dasar untuk melakukan perlakuan panas. Bagian diagram Fe-C yang mengandung karbon dibawah 2 % menjadi perhatian utama untuk perlakuan panas baja.

Metode perlakuan panas baja didasarkan pada perubahan fasa austenit pada sistem Fe-C. Transformasi austenit selama perlakuan panas ke fasa lain akan menentukan struktur mikro dan sifat yang didapatkan pada baja.

Besi merupakan logam *allotropik*, artinya besi akan berada pada lebih dari bentuk kristal tergantung dari temperaturnya. Pada suhu kurang dari 912 °C (1674 °F) berupa besi alfa (α). Besi *gamma* (γ) pada suhu antara 912-1394 °C (1674-2541 °F). Besi delta (δ) berada pada suhu 1394 °C – 1538 °C (2541 °F-1538 °F). Penambahan unsur karbon ke besi memberikan perubahan yang besar pada fasa-fasa yang ditunjukkan oleh diagram keseimbangan besi karbon. Selain Karbon pada baja terkandung juga unsur-unsur lain seperti Si, Mn dan unsur pengotor lain seperti P, S dan sebagainya. Unsur-unsur ini tidak memberikan pengaruh utama kepada diagram fasa sehingga diagram tersebut dapat

digunakan tanpa menghiraukan adanya unsur-unsur tersebut. (Surdia dan Saito, 1999: 69).



Gambar 2.11 Diagram Fe – Fe₃C

Secara garis besar sistem paduan besi karbon dapat dibedakan menjadi dua yaitu baja dan besi tuang (*cast iron*). Dari diagram fase tampak bahwa baja mengandung struktur eutektoid sedangkan besi tuang memiliki struktur eutektit. Beberapa istilah dalam diagram fase besi-carbida adalah sebagai berikut :

1. Cementit

Cementit adalah karbida besi (Fe_3C), merupakan senyawa interstisial mengandung 6,67% C, memiliki sifat sangat keras, getas, kekuatan tarik rendah. Cementit memiliki struktur kristal orthorhombik

2. Austenit

Austenit merupakan larutan padat karbon dalam besi (γ), memiliki sifat ketangguhan tinggi biasanya tidak stabil pada temperatur kamar

3. Ledeburit

Ledeburit merupakan campuran eutektik dari austenit dan cementit mengandung 4.3% C yang terbentuk pada temperatur 1130°C

4. Ferit

Ferit merupakan larutan padat karbon dalam besi (α). Kelarutan karbon maksimum 0,025% C pada temperatur 723°C sedangkan pada temperatur kamar hanya 0.008% C. Ferit memiliki sifat kekuatan rendah, namun keuletan tinggi.

5. Pearlit

Pearlit merupakan campuran eutektoid dari cementit dan ferit mengandung karbon maksimum 0,8% C terbentuk pada temperatur 723°C .

6. Temperatur kritis bawah (*lower critical temperature*) A1

Garis A1 merupakan temperatur eutektoid. Tampak pada diagram Fe- Fe_3C berupa garis mendatar pada temperatur 723°C . Pada temperatur ini terjadi reaksi eutektoid.

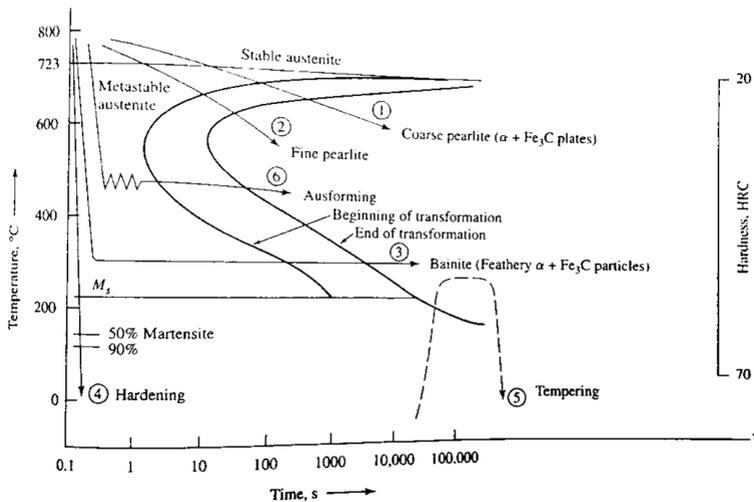
7. Temperatur kritis atas (*upper critical temperature*) A3

Garis A3 merupakan temperatur awal terjadi perubahan allotropi dari γ ke α pada pendinginan atau akhir perubahan α ke γ pada pemanasan.

8. Garis Acm

Garis Acm merupakan batas kelarutan karbon dalam austenit. Dengan menggunakan diagram kesetimbangan memang

mungkin dapat diprediksi struktur yang terjadi pada suatu paduan asalkan pada kondisi ekuilibrium atau dapat dianggap ekuilibrium. Selain diagram Fe-Fe₃C proses perlakuan panas mengacu pula pada diagram CCT sebagai referensi dalam mengatur proses pendinginannya. *Continuous Cooling Transformation*, atau disebut CCT Diagram merupakan diagram yang menggambarkan hubungan antara laju pendinginan kontinu dengan fasa atau struktur yang terbentuk setelah terjadinya transformasi fasa. Gambar 2.12 menunjukkan diagram CCT untuk baja secara skematika. Terlihat bahwa Kurva-Kurva pendinginan kontinu dengan laju pendinginan yang berbeda akan menghasilkan fasa atau struktur baja yang berbeda. Laju pendinginan yang berbeda akan membentuk fasa yang berbeda pula, diantaranya adalah martensite.



Gambar 2.12 Diagram CCT (Schey, 2000)

2.5.2 Martensite

Dalam memenuhi kebutuhan akan sifat mekanik tertentu, perlakuan panas diberikan kepada logam. Diantaranya untuk mendapatkan kekerasan yang diinginkan. Pendinginan sebagai

salah satu proses dalam perlakuan panas akan menghasilkan fase yang berbeda pada laju yang berbeda pula. Martensite akan terbentuk pada laju pendinginan yang cepat mendekati laju garis kritisnya. Pada diagram CCT, martensit akan mulai terbentuk pada garis Ms, dan akan selesai pada garis Mf. Setiap logam dengan komposisi kimia yang berbeda akan memiliki temperatur Ms dan Mf yang berbeda pula sesuai dengan diagram CCTnya masing-masing.

Pada proses austenisasi, dimana fase yang terbentuk adalah austenit (fase γ) yang homogen akan memiliki struktur kristal *f.c.c* (*face centered cubic*) dengan energi yang dimiliki cukup besar akibat pemanasan. Fase austenit yang kemudian didinginkan secara cepat tidak memiliki waktu yang cukup untuk berdifusi kembali membentuk fase awalnya yaitu ferrit dan pearlit (*diffusionless transformation*). Sedangkan kondisi alami austenit yang mengalami penurunan temperatur adalah untuk berdifusi dan melepaskan energi yang tersimpan membentuk fase awalnya. Sehingga energi yang terjebak pada struktur kristal *f.c.c* tidak memiliki waktu yang cukup untuk berdifusi akan mendorong terbentuknya martensit dengan struktur kristal *b.c.t* (*body centered tetragonal*) dan fase α' (*shear transformation*). Selain proses pendinginan cepat, metode lain dapat digunakan dalam membentuk martensit diantaranya adalah *strain induced martensite*.

a. *Strain induced martensite*

Proses difusi yang terhambat menjadi salah satu faktor penting dalam pembentukan martensit. Pada metode *strain induced martensite* penghambatan ini disebabkan oleh pemberian tegangan atau gaya yang cukup pada saat proses pendinginan atau penurunan temperatur. Tegangan atau gaya yang diberikan tersebut akan menyebabkan fase austenit yang terbentuk berdeformasi secara plastis. Hal ini akan menghambat proses difusi austenit menjadi pearlit dan ferrit. Kristal yang menerima tegangan ini akan mengalami peregangan, sehingga struktur kristal austenit yaitu

f.c.c akan berubah menjadi *b.c.t* dan terbentuk martensit. Pada proses penempaan metode dan proses ini akan terjadi ketika logam yang dipanaskan diberikan gaya tempa. *Strain induced martensite* dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah komposisi kimia, temperatur, laju regangan, keadaan regangan, dan besar butir austenit.

2.5.3 Tempering

Tempering dilakukan untuk meningkatkan sifat keuletan suatu logam. Setelah dilakukan *quenching* logam akan menjadi sangat getas dan mudah patah, sehingga perlu dilakukan pemanasan kembali namun tidak merusak sifat mekanik yang lain. Pemanasan saat *tempering* dilakukan hingga temperatur dibawah garis A1 kemudian dilakukan penahanan pada temperatur tersebut dengan waktu tertentu. Biasanya 1 hingga 2 jam, setelah itu material didinginkan dengan udara hingga temperatur kamar. Temperatur *tempering* ini bergantung pada komposisi kimia dari logam tersebut. Semakin tinggi temperatur *tempering* maka keuletan material akan semakin meningkat namun penurunan kekerasannya akan semakin tinggi. Struktur mikro yang terbentuk setelah proses ini adalah *tempered martensite*.

2.5.4 Annealing

Selain untuk tujuan pengerasan perlakuan panas dapat dilakukan untuk tujuan pelunakan. Hal ini diperlukan untuk perlakuan baja-baja yang keras, sehingga dapat meningkatkan kemampuannya untuk dikerjakan dengan mesin dan dibentuk. Disamping itu juga pelunakan di lakukan untuk tujuan meningkatkan keuletan dan mengurangi tegangan dalam yang menyebabkan material berperilaku getas. Secara umum proses pelunakan dapat berupa proses full annealing dan spheroidizing.

a. Full annealing

Full annealing merupakan proses perlakuan panas yang bertujuan untuk melunakkan logam yang keras sehingga mampu

dikerjakan dengan mesin. Proses ini banyak dilakukan pada baja medium. Proses ini dilakukan dengan cara memanaskan material baja pada temperatur 15 hingga 40 °C di atas temperatur A_3 atau A_1 tergantung kadar karbonnya. Pada temperatur tersebut pemanasan ditahan untuk beberapa lama hingga mencapai kesetimbangan. Selanjutnya material didinginkan dalam dapur pemanas secara perlahan-lahan hingga mencapai temperatur kamar. Struktur mikro hasil full annealing berupa pearlit kasar yang relatif lunak dan ulet.

b. Spheroidizing

Baja karbon medium dan tinggi memiliki kekerasan yang tinggi dan sulit untuk dikerjakan dengan mesin dan dideformasi. Untuk melunakkan baja ini dilakukan proses spheroidizing.

Proses spheroidizing dilakukan dengan cara memanaskan baja pada temperatur sedikit dibawah temperatur eutectoid, yaitu sekitar 700 °C. Pada temperatur tersebut ditahan selama 15 hingga 25 jam. Kemudian didinginkan secara perlahan-lahan di dalam tungku pemanas hingga mencapai temperatur kamar.

BAB 3
METODOLOGI PENELITIAN

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Material

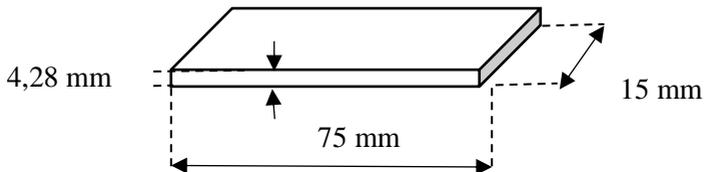
Material-material yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada tabel 3.1 sebagai berikut :

Tabel 3.1 Bahan penelitian dan komposisi kimia.

Bahan	Unsur-unsur (%berat)									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V
Baja	0,54	1,78	1,99	0,02	0,01	0,07	1,05	0,01	0,05	0,01
0,5CCrMnSi	3	7	7	2	0	0	3	6	0	2
JIS SUP 9	0,62	0,24	0,85	0,01	0,00	0,03	0,89	0,01	0,02	0,00
	7	3	3	2	9	6	7	3	9	8

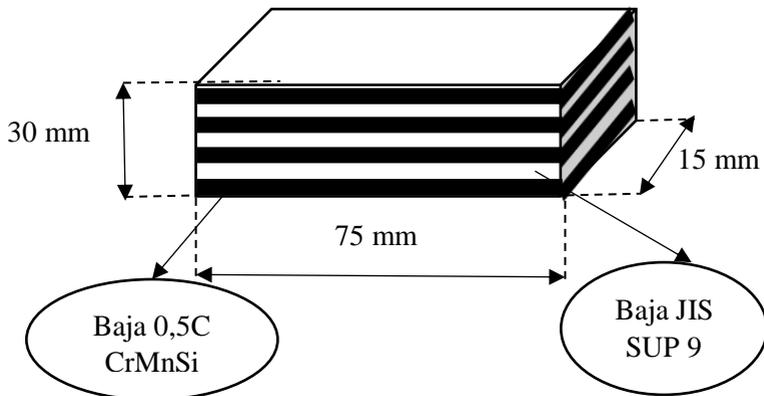
Sumber : Pengujian spektrometer

Masing masing jenis material dibentuk menjadi potongan lembaran plat dengan dimensi panjang yaitu 75 x 15 x 4,28 mm seperti ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema dimensi bahan lembaran plat dengan dimensi 75 x 15 x 4,28 mm

Setelah dibentuk menjadi lembaran plat, kombinasi bahan baja 0,5CCrMnSi dengan baja JIS SUP 9 disusun menjadi susunan lapisan yang membentuk benda kerja *billet* dengan dimensi total 75 x 15 x 30 mm seperti pada gambar 3.2 dibawah ini dengan jumlah variasi susunan *layer* seperti pada tabel 3.2.



Gambar 3.2 Contoh susunan *layer* yang membentuk benda kerja

Tabel 3.2 Rancangan susunan *layer* yang membentuk benda kerja

Material	Jumlah <i>layer</i>	Keterangan susunan <i>layer</i>	Jumlah
Benda Kerja Billet	7	4 Baja 0,5CCrMnSi 3 Baja JIS SUP 9	2

3.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penggaris dan Jangka sorong

Penggaris yang digunakan memiliki ketelitian 1mm, sedangkan jangka sorong yang digunakan memiliki ketelitian 0,01 mm. Penggaris dan jangka sorong digunakan dalam mengukur dimensi panjang dari material yang akan menjadi benda kerja. Serta mengukur dimensi panjang dari hal hal lainnya yang dianggap perlu.

2. Mesin potong *Jigsaw*

Mesin potong gergaji otomatis atau *hacksaw machine* dengan merk CPSG model G7016 digunakan untuk memotong benda kerja sesuai dengan dimensi yang diinginkan dan sudah diukur sebelumnya.

3. Mesin *Optical Emission Spectrometer*

Mesin *Optical Emission Spectrometer* ber merk Shimidzu PDA 7000 digunakan untuk mengetahui komposisi kimia dari setiap material benda kerja yang digunakan.

4. *Furnace* listrik

Persiapan penempaan diantaranya menggunakan *furnace* listrik merk Nobertherm yang mampu memanaskan ruang di dalam *furnace* hingga mencapai 3000°C.

5. Perangkat *grinding* dan *polishing*

Proses *grinding* spesimen benda kerja menggunakan mesin grinder Metkon GRIPO 300-1V dengan kertas amplas grit 80, 120, 240, 320, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200, 1500, 2000. Sedangkan proses *polishing* menggunakan mesin yang sama seperti pada gambar 3.5 dengan serbuk alumina dan kain beludru.

6. Perangkat *etching*

Proses *etching* menggunakan larutan nital terdiri dari 1-5 ml HNO₃ ditambah 100 ml ethanol(96%). Diperlukan juga gelas ukur, pipet, wadah kaca, hair dryer, dan aquades untuk menunjang proses etsa spesimen benda kerja.

7. Perangkat tempa

Proses penempaan benda kerja dalam membentuk pisau damaskus memerlukan seperangkat peralatan diantaranya tungku pemanas yang digunakan dalam memanaskan benda kerja menggunakan arang hingga mencapai temperatur tertentu sebelum dilakukan penempaan, lalu *anvil* atau landasan yang digunakan sebagai alas saat menempa benda kerja, kemudian benda kerja di tempa hingga menjadi pisau menggunakan palu besi.

8. Mikroskop optis

Dalam melakukan pengamatan struktur mikro dalam penelitian ini menggunakan mikroskop optis *digital* olympus BX60M untuk selanjutnya diamati dan dianalisa.

9. Termometer infra merah

Pengukuran temperatur pada penelitian ini menggunakan temperatur infra merah seperti ditunjukkan pada gambar 3.9.

Termometer ini memiliki kemampuan mengukur temperatur mulai dari -50 hingga 1370°C.

10. Alat uji kekerasan

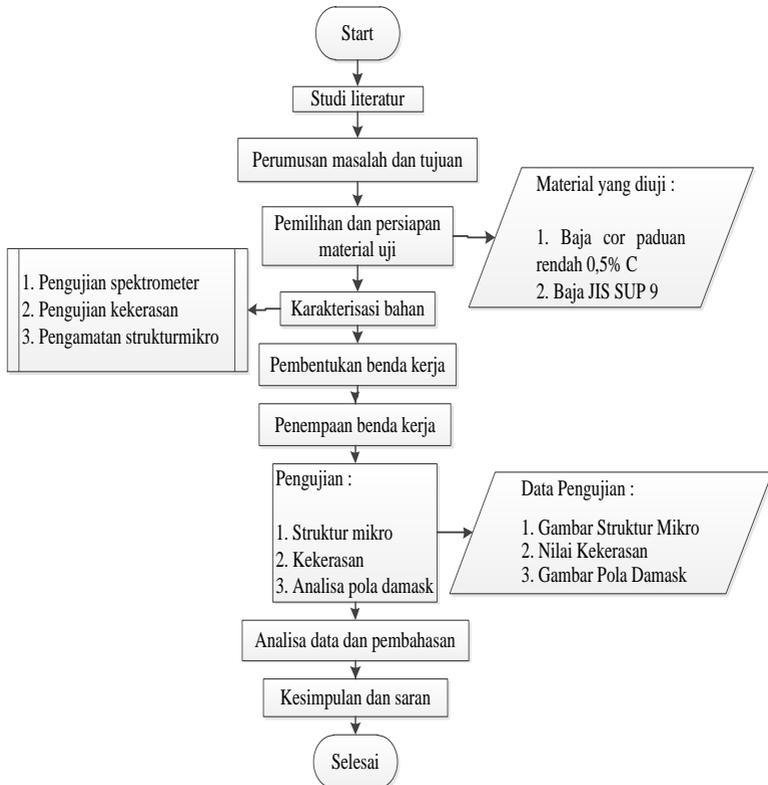
Dalam menguji nilai kekerasan pada penelitian ini menggunakan alat uji *micro hardness* merk shimadzu dengan kemampuan beban yang diberikan mulai dari 0,01 – 2 V dengan metode vickers.

11. Alat pendukung

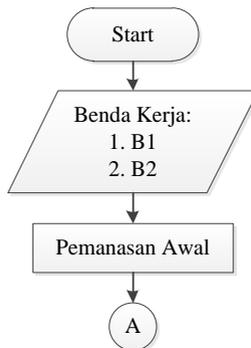
Alat alat pendukung lainnya dalam melakukan penelitian ini berhubungan dengan kesehatan dan keselamatan kerja, seperti sarung tangan, masker, pelindung yang digunakan saat melakukan proses yang memiliki resiko paparan zat kimia maupun panas.

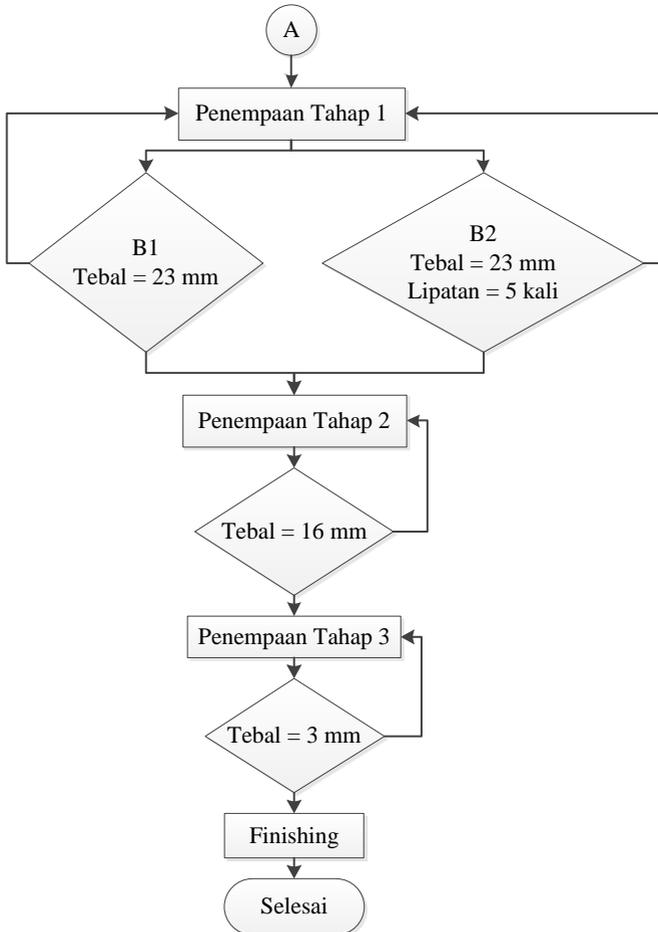
3.3 Diagram Alir Penelitian

Langkah – langkah yang dilakukan dalam penelitian ini guna mencapai tujuan yang diinginkan secara singkat digambarkan melalui diagram alir penelitian pada gambar 3.9 sebagai berikut :



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian





Gambar 3.4 Diagram alir penempaan benda kerja

3.4 Metode Pembuatan Pisau

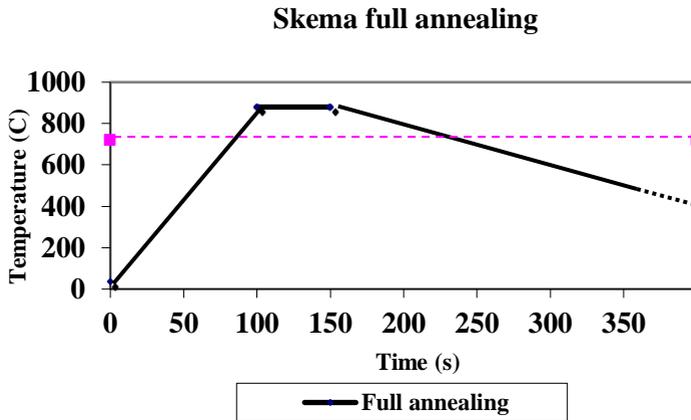
Dalam membuat pisau damaskus pada penelitian ini menggunakan metode penempaan manual. Proses penempaan benda kerja terbagi dalam beberapa tahap mulai dari persiapan benda kerja, pemanasan awal, proses penempaan, hingga finishing.

3.4.1 Persiapan Bahan

Sebelum benda kerja dibentuk seperti yang sudah dijelaskan diatas, bahan material awal diberikan perlakuan panas berupa *full annealing* yang bertujuan meningkatkan sifat *machinability* benda kerja agar lebih mudah untuk dibentuk saat proses penempaan. *Full annealing* dilakukan dengan cara dipanaskan hingga mencapai temperatur austenisasi yaitu 880°C dengan waktu pemanasan 100 menit kemudian ditahan pada temperatur tersebut selama 60 menit. Selanjutnya spesimen dibiarkan di dalam *furnace* hingga mencapai temperatur kamar (35°C). Seperti yang ditunjukkan oleh skema pemanasan pada gambar 3.5.

3.4.2 Pembentukan Benda Kerja

Setelah dilakukan *Full annealing*, bahan material dipotong menggunakan *jigsaw* dan gerinda untuk kemudian dibentuk menjadi lembaran plat seperti pada gambar 3.1. Lembaran plat dipotong dengan ukuran dan jumlah sesuai dengan tabel 3.1 diatas. Kemudian bahan berbentuk lembaran plat tersebut disusun menjadi benda kerja seperti pada gambar 3.2 dengan susunan dan jumlah *layer* seperti pada tabel 3.2. Permukaan lembaran plat yang halus dan rata menjadi penting agar saat dilakukan penyusunan antara *layer* dapat tersusun dengan baik dan terdeformasi secara merata pada proses penempaan. Untuk memperhalus dan mempermudah proses penempaan dapat dilakukan penghalusan dengan gerinda pada permukaan *layer* dan pengelasan dibagian ujung benda kerja agar susunan *layer* tidak bergerak seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.5 Skema proses *Full Annealing*



Gambar 3.6 Benda kerja yang telah disusun dan dilas

3.4.3 Pemanasan Awal

Benda kerja yang sudah dipersiapkan kemudian dipanaskan menggunakan tungku untuk pemanasan awal sebelum ditempa seperti pada gambar 3.7. Temperatur diukur dengan termometer infra merah dan pengamatan mata berdasarkan warna api dan logam seperti pada tabel 2.2. Pengamatan temperatur dilakukan saat spesimen dikeluarkan dari tungku dan saat selesai

proses penempaan di setiap siklus tempa. Dalam hal ini temperatur yang dimaksud adalah 1000°C.



Gambar 3.7 Pemanasan awal benda kerja

3.4.4 Proses Penempaan

Penempaan benda kerja dilakukan secara manual oleh operator yang sama. Penempaan dilakukan dengan temperatur tempa antara 50°C sampai 250°C diatas A_3 . Temperatur 140°C diatas A_{cm} dengan waktu tahan 0.5-1.5 menit adalah nilai yang cukup optimum. Proses penempaan terbagi kedalam 3 tahap, dengan siklus tempa seperti pada tabel 3.3. Setelah dilakukan pemanasan awal, benda kerja ditempa dengan siklus penempaan pada tahap 1. Penempaan terus dilakukan hingga tahap ketiga dan dimensi akhir pisau yang dihasilkan setelah proses penempaan memiliki lebar 43 mm dan tebal 3 mm. Pada benda kerja *billet* B2 dilakukan pelipatan pada tahap pertama hingga 5 kali. Seperti skema penempaan pada gambar 3.4 diatas. Proses penempaan dilakukan dengan faktor reduksi penempaan sebesar 9 pada ketebalan, serta faktor penempaan 3 pada lebar dan panjang.

Tabel 3.3 Rancangan benda kerja dan proses penempaan

Benda kerja	Jumlah lipatan	Jumlah total layer
B1	-	7
B2	5	224

Tabel 3.4 Rancangan siklus penempaan pisau

Forging stage	Benda kerja	Temp.range	Tebal awal	Tebal akhir	% Red. Area
1	B1	1000 =>	30 mm	23 mm	23,3%
	B2	750°C	30 mm	23 mm	
2	B1	800 =>	23 mm	16 mm	30%
	B2	700°C	23 mm	16 mm	
3	B1	700 =>	16 mm	3 mm	81,25%
	B2	500°C	16 mm	3 mm	



Gambar 3.8 Penempaan benda kerja

3.4.5 Proses Finishing

Setelah proses penempaan dilakukan, pisau yang terbentuk kemudian dihaluskan dengan menggunakan *grinder*. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan baja sisa penempaan dan permukaan baja yang terdekarburisasi serta memperhalus permukaan pisau. Kemudian untuk memperjelas pola yang terbentuk pada permukaan, permukaan pisau di etsa menggunakan larutan nital.

3.5 Pengujian

Dalam mencapai tujuan yang diinginkan, perlu dilakukan pengujian yang mampu menunjukkan hasil yang mewakili tujuan dari penelitian yang dilakukan. Pengujian yang dilakukan diantaranya adalah pengujian kekerasan dan metalografi. Untuk melakukan pengujian pisau hasil penempaan dipotong menggunakan *wirecut* dan dibentuk spesimen seperti pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Spesimen pengujian kekerasan dan metalografi

3.5.1 Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan untuk dapat menganalisa struktur mikro benda kerja baik sebelum dan sesudah penempaan. Pengujian ini menggunakan mikroskop optis milik Departemen Teknik Mesin ITS Surabaya. Dengan perbesaran 100x, 500x, dan 1000x. Desain pengujian metalografi sesuai dengan tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.5 Desain Uji Metalografi

No	Material	Keadaan	Gambar Strukturmikro		
			100x	500x	1000x
1	Baja 0,5CCrMnSi	Sebelum			
2	Baja JIS SUP 9	Sebelum			
3	Benda Kerja B1	Permukaan Sesudah Penampang Sesudah			
4	Benda Kerja B2	Permukaan Sesudah Penampang Sesudah			

Tahapan yang dilakukan dalam pengujian metalografi ini adalah sebagai berikut:

1. Spesimen dipotong dari benda kerja menggunakan gergaji mesin dan gerinda tangan
2. Grinding : permukaan spesimen dihaluskan menggunakan kertas gosok dengan grit 80, 100, 120, 240, 320, 400, 500, 600, 800, 1000, 1500 dan 2000 yang dipasang di alat grinding (Gambar 3.6)
3. Polishing : permukaan spesimen dihaluskan menggunakan kain beludru dan serbuk alumina yang dipasang di alat grinding
4. Etching : Spesimen dietsa menggunakan nital (2 ml HNO₃ + 98 ml Ethanol (96%))
5. Spesimen diamati menggunakan mikroskop optik (Gambar 3.4) dengan perbesaran 100x, 500x dan 1000x.

3.5.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mewakili sifat ketajaman yang dimiliki oleh pisau setelah ditempa. Pengujian kekerasan ini menggunakan alat uji kekerasan *Micro hardness* seperti pada Gambar 3.5. Kekerasan sebelum dan sesudah proses

penempatan diuji sesuai dengan desain pengujian spesimen seperti pada Tabel 3.5.

Tabel 3.6 Desain Uji Kekerasan

No	Material	Keadaan	Sisi	Nilai kekerasan (HV)						Rata2
				1	2	8	9	10	
1	Baja 0,5CCrMnSi	Sebelum	Permukaan							
2	Baja JIS SUP 9	Sebelum	Permukaan							
3	Benda Kerja B1	Sesudah	Penampang Permukaan							
4	Benda Kerja B2	Sesudah	Penampang Permukaan							

Tahapan pengujian kekerasan metode *Rockwell C* :

1. Spesimen digosok menggunakan kertas gosok *grit* 80-500 pada mesin *grinding* dan *polishing*.
2. Daerah permukaan benda uji dilakukan pemetaan 5 mm dari tepi dan tiap titik berjarak 5 mm, sehingga didapatkan 10 titik indentasi
3. Spesimen diletakkan pada alat uji kekerasan *Rockwell C* dan dilakukan pengujian.
4. Nilai kekerasan dari spesimen langsung dapat dilihat pada jarum skala penunjuk dan dicatat.
5. Langkah 1-4 diulangi untuk tiap benda uji.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 4
HASIL PENELITIAN DAN
PEMBAHASAN

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian mengenai pengaruh jumlah lipatan baja pada pisau tempa manual terhadap kekerasan, struktur mikro, dan *pattern* pada permukaan diperoleh data berupa angka (nilai), grafik, dan gambar. Pengujian yang dilakukan meliputi uji komposisi kimia, kekerasan, pengamatan struktur mikro, serta pengamatan makro pada permukaan pisau yang terbentuk.

4.1 Pengujian Komposisi Kimia

Sebelum melakukan penelitian, masing masing bahan pisau dilakukan pengujian spektrometer untuk mengetahui kandungan komposisi kimia yang dimiliki. Pengujian dilakukan menggunakan spektrometer di PT. Barata Indonesia, gresik. Hasil pengujian komposisi kimia ditunjukkan pada lampiran 2 dan tabel 4.1.

Berdasarkan pengujian komposisi kimia diketahui kandungan karbon pada baja JIS SUP 9 adalah sebesar 0,627%, sedangkan kandungan unsur paduan yaitu Mn sebesar 0,853%, Cr 0,897%, dan Si sebesar 0,243%. Sedangkan pada baja paduan 0,5 CCrMnSi diketahui kandungan carbonnya sebesar 0,543%, sedangkan kandungan unsur paduan yang terbesar adalah Mn 1,997%, kemudian Si sebesar 1,787%, dan Cr sebesar 1,0530%. Baja JIS SUP 9 maupun baja paduan 0,5 CCrMnSi memiliki kandungan carbon yang hampir sama dengan kandungan unsur paduan yang sama yaitu Mn, Si, dan Cr. Unsur2 paduan ini mempengaruhi sifat dan kemampuan tempa dari material JIS SUP 9 maupun baja paduan 0,5 CCrMnSi. Cr akan mempengaruhi kekerasan serta kekuatannya, namun jika terlalu banyak kandungan Cr pada baja, akan mengakibatkan baja mudah retak. Kandungan antara 0,5 – 1,5 % masih dalam rentang yang cukup untuk ditempa. Begitu pula Mn dan Si, penambahannya akan meningkatkan kekuatan dan ketangguhan baja, serta presipitasi

dari unsur Mn dan Si yang tersebar mampu membentuk pola pada permukaan pisau.

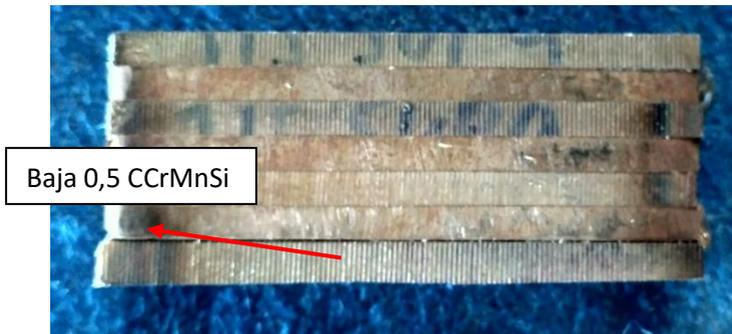
Tabel 4.1 Hasil uji komposisi kimia bahan

Unsur	Komposisi Kimia (% wt)	
	JIS SUP 9	0,5 CCrMnSi
C	0,627	0,543
Si	0,243	1,787
Mn	0,853	1,997
P	0,012	0,0226
S	0,009	0,0108
Ni	0,036	0,0703
Cr	0,897	1,0530
Mo	0,013	0,0162
Cu	0,0295	0,0506
Co	0,0008	0,00304
Al	0,0047	0,09941
Pb	-	0,00019
W	-	0,10
Ti	0,0034	0,0041
V	0,0082	0,0125
Sn	0,0018	0,0116
Nb	-	0,00119
B	0,00013	-
Ca	0,00066	0,00088
As	0,0043	0,0125
Sb	0,013	0,2244

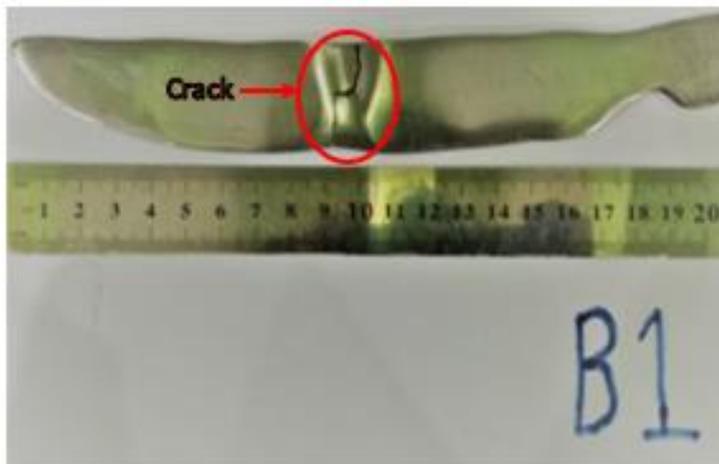
4.2 Pisau Tempa Manual

Bahan awal dipotong menggunakan *wirecut* dan disusun membentuk lapisan sebanyak 7 seperti pada gambar 4.1(a). Susunan lapisan pada bagian luar merupakan baja JIS SUP 9, dan pada bagian tengah baja 0,5 CCrMnSi. Dibentuk 2 jenis benda kerja yaitu B1 dan B2 seperti pada tabel 3.3. Kemudian benda kerja ditempa secara manual berdasarkan siklus penempaan pada tabel

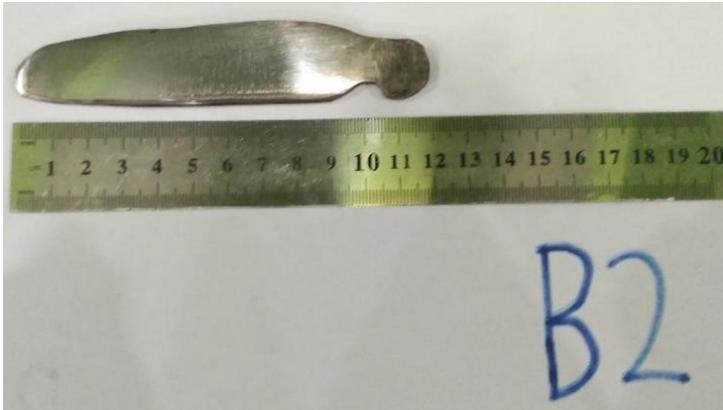
3.4. Terbentuk 2 jenis pisau yaitu B1 dan B2 dimana pisau B1 merupakan susunan dari 7 *layer* kombinasi bahan, dan pisau B2 merupakan susunan dari 7 *layer* kombinasi bahan yang mengalami proses difusi antar *layer* lebih lama dan temperatur lebih tinggi. Gambar 4.1(b) dan (c) dibawah merupakan pisau hasil penempaan manual.



(a)



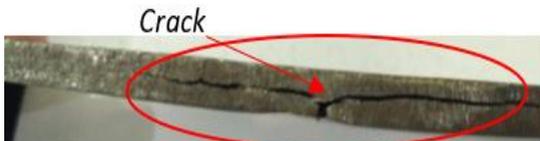
(b)



(c)

Gambar 4.1 (a) Susunan benda kerja (b) Pisau tempa manual benda kerja B1 (c) Pisau tempa manual benda kerja B2

Setelah proses penempaan dilakukan, terbentuk pisau B1 dan B2 seperti gambar diatas. Pisau B1 terbentuk dari benda kerja B1. Pisau ini memiliki panjang 18 cm dari ujung hingga pangkal pisau. Pada pisau hasil penempaan B1 dapat terlihat *crack* sepanjang garis melintang pada bagian tengah permukaan pisau. *Crack* terbentuk pada saat proses penempaan di tahap kedua, dimana pada awalnya benda kerja B1 sudah berdifusi dengan baik antara lapisannya. Namun pada saat proses penempaan memasuki tahap kedua, yaitu pada proses penempaan diantara temperatur 800 – 700°C timbul *crack* pada bagian tengah permukaan yang terus melebar hingga bagian tengah penampang antara lapisannya. Sehingga terlihat bahwa lapisan terluar tidak berdifusi dengan baik dengan lapisan bagian tengahnya seperti ditunjukkan pada gambar 4.2(b).



(a)



(b)

Gambar 4.2 *Crack* pada pisau B1 (a) Antara lapisan
(b) Permukaan

Pada pisau B2 yang terbentuk dari benda kerja B2, awalnya direncanakan untuk dapat dilakukan pelipatan sebanyak 5 kali. Namun, pada prosesnya terjadi pengurangan volume material yang cukup banyak, hal ini terjadi saat proses penyambungan antara lapisannya. Sehingga tidak dapat dilakukan pelipatan akibat material yang terlalu kecil. Oleh karena itu, terbentuk pisau dengan panjang 10 cm, dan jumlah lapisan yang sama yaitu 7 lapisan. Hal ini terjadi diluar rencana awal yang disusun.

4.2.1 Pembahasan Pisau B1

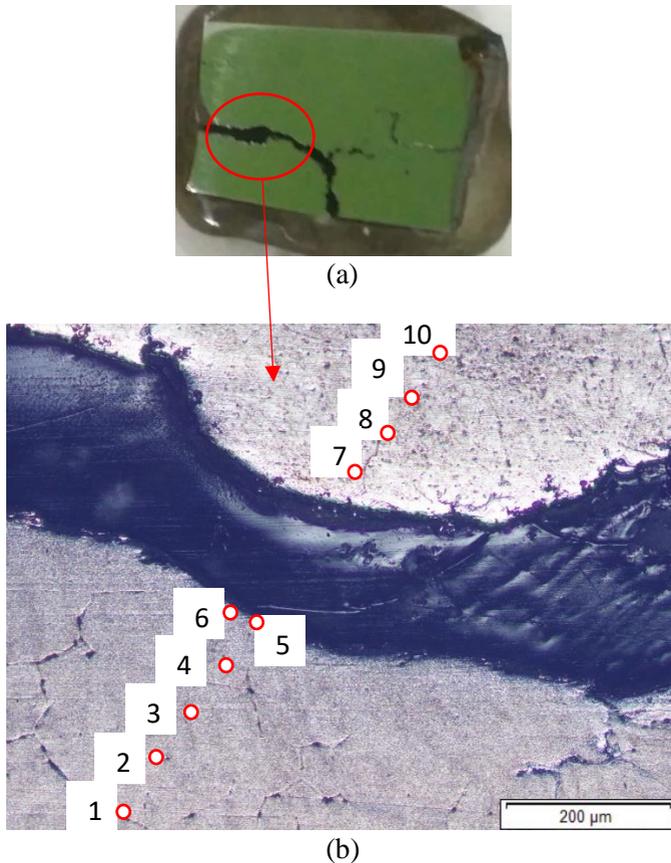
Proses pembentukan bahan awal hingga menjadi pisau mengalami beberapa tahap yang harus dilakukan. Pada awalnya, sebelum masuk kedalam proses penempaan seperti pada tabel 3.4, susunan lapisan antara baja JIS SUP 9 dan 0,5 CCrMnSi dipastikan terlebih dahulu berdifusi dengan baik. Hal ini dilakukan dengan memanaskan benda kerja hingga temperatur diatas 1000°C, dalam hal ini ditinjau dengan mengontrol warna pada benda kerja hingga mengeluarkan bunga api. Setelah itu benda kerja ditempa untuk memastikan difusi antara lapisannya sudah baik. Kemudian benda kerja ditempa sesuai dengan tahap penempaan pada tabel 3.4.

Keretakan pada permukaan pisau B1 berada pada sisi pisau yang bersinggungan dengan palu tempa. Keretakan terjadi pada saat memasuki tahap ke 2 proses penempaan. Dimana temperatur yang digunakan pada tahap ini adalah sebesar 800 – 700°C. Penempaan yang dilakukan pada temperatur lebih rendah memerlukan energi yang lebih besar untuk membentuk pisau. Hal ini disebabkan oleh tegangan alir yang meningkat seiring dengan menurunnya temperatur pemanasan. Sehingga pada proses penempaan mulai dari tahap 1 hingga tahap 2, dimana terdapat penurunan temperatur pemanasan dan temperatur tempa, terjadi peningkatan tegangan alir yang membutuhkan energi lebih besar untuk membentuk pisau. Akibatnya material benda kerja tidak mampu menahan tegangan yang diberikan sehingga terjadi keretakan pada tahap 2 proses penempaan. Keretakan semakin melebar menuju daerah tengah penampang searah dengan permukaan. Namun pada titik tertentu keretakan tidak lagi terjadi hingga akhir pembentukan pisau.

Ketidakkampuan permukaan pisau untuk menahan gaya tempa dan menyebabkan retak dipengaruhi oleh nilai kekerasan dari permukaan pisau. Kekerasan yang tinggi akan menyebabkan material menjadi getas. Pada bagian2 tertentu didapatkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian yang lainnya. Persebaran nilai kekerasan yang tidak merata ini menyebabkan terjadinya keretakan ketika material yang getas menerima gaya tempa. Berdasarkan pengujian kekerasan pada daerah permukaan yang retak didapatkan bahwa nilai kekerasan pada patahan lebih tinggi dibandingkan daerah yang tidak mengalami retakan. Hasil pengujian ini dilampirkan dalam tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengujian nilai kekerasan pada retakan

Arah pengujian	Titik ke - n										Rata2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Melintang retak	370	298	323	329	678	564	612	354	247	470	424,5

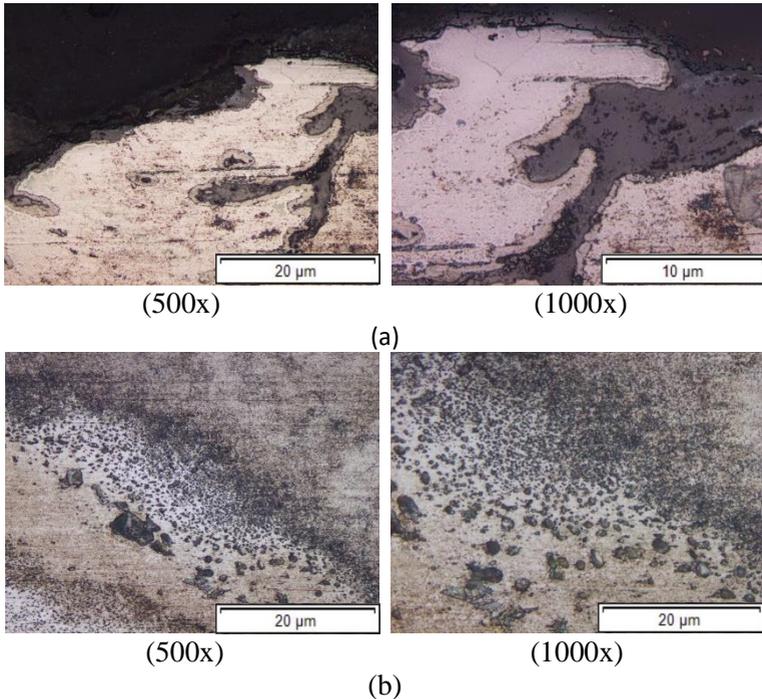


Gambar 4.3 (a) spesimen pengujian retak (b) Titik pengujian nilai kekerasan pada retakan

Pengujian dilakukan secara melintang mulai dari material yang tidak retak, hingga pada bagian retaknya seperti pada gambar 4.3. Pada titik ke 5, 6, dan 7 merupakan bagian yang mengalami keretakan. Berdasarkan hasil pengujian ditunjukkan bahwa nilai kekerasan pada bagian retak mencapai 678 HV sedangkan bagian lainnya tidak. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi persebaran kekerasan yang tidak merata. Sehingga pada bagian retak dengan

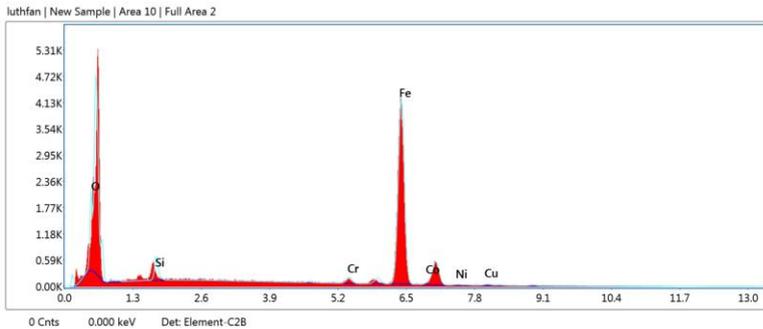
nilai kekerasan yang lebih tinggi menjadi lebih getas dan tidak mampu menahan gaya tempa yang diberikan.

Nilai kekerasan yang tinggi ini disebabkan oleh adanya penumpukan unsur penyusun butir. Komposisi kimia bahan baik JIS SUP 9 maupun 0,5 CCrMnSi memiliki kandungan Mn, Si, dan Cr yang cukup tinggi. Pada saat proses difusi antara lapisan dari susunan kedua material ini, terjadi perpindahan unsur2 penyusun karbida. Unsur2 penyusun ini akan bergerak kearah pinggir batas butir dan material, sehingga pada batas antara materialnya akan terjadi penumpukan unsur2 tersebut. Berdasarkan pengamatan struktur mikro pada bagian retak terdapat penumpukan unsur seperti pada gambar 4.4 dibawah ini.

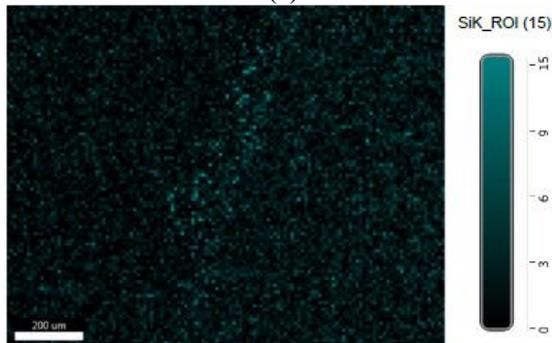


Gambar 4.4 Struktur mikro (a) pada bagian retak pisau B1 (b) pada batas antara material

Unsur tersebut kemudian bereaksi terhadap udara. Terutama sifat dari unsur silikon yang mudah bereaksi dengan oksigen, unsur silikon yang terdapat pada bagian tengah tersebut bereaksi ketika bersentuhan dengan udara pada temperatur yang cukup tinggi membentuk oksida silikon atau disebut silika. Oksida silikon ini juga memiliki titik lebur yang tinggi dan waktu pendinginan yang lebih singkat, sehingga meskipun dipanaskan pada temperatur yang tinggi sulit untuk berdifusi. Bagian yang mengalami penumpukan unsur Si dan Cr ini memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dan sifat yang lebih getas dibanding dengan bagian yang lain.



(a)



(b)

Gambar 4.5 Hasil Pengujian SEM (a) Pengujian EDX (b) Mapping EDX

Tabel 4.3 Hasil pengujian SEM

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %
O K	13.32	34.05	124.84	38.12
SiK	3.51	5.11	43.62	9.69
CrK	1.61	1.26	17.39	7.72
FeK	78.85	57.74	594.88	1.87
CoK	1.40	0.97	9.02	18.42
NiK	0.42	0.29	2.22	58.16
CuK	0.90	0.58	3.94	41.03

Proses dinginya material setelah dipanaskan terjadi searah dengan proses penempaan. Pada bagian material yang menyentuh *anvil* akan mengalami pendinginan lebih dulu daripada yang bersentuhan dengan udara. Urutan pemberian gaya tempa selama proses tempa mulai dari ujung2 benda kerja menuju ke tengah. Sehingga proses pendinginan material searah dengan urutan penempaannya. Pada bagian tengah permukaan mengalami penurunan temperatur yang paling akhir. Sehingga pada batas antara material yang berada pada bagian tengah, tidak mampu menahan tegangan yang timbul ketika menerima gaya tempa. Karena material sekitarnya sudah mengalami penurunan temperatur dan menjadi fase yang lebih stabil, butir2 yang pecah dan bergerak ke segala arah tidak memiliki ruang gerak yang cukup. Sehingga tegangan yang timbul pada bagian batas antara material yang terkena gaya tempa akan lebih besar. Dengan nilai kekerasan yang tinggi, hal ini lah yang menyebabkan terjadinya keretakan pada batas antara material di bagian tengah permukaan.

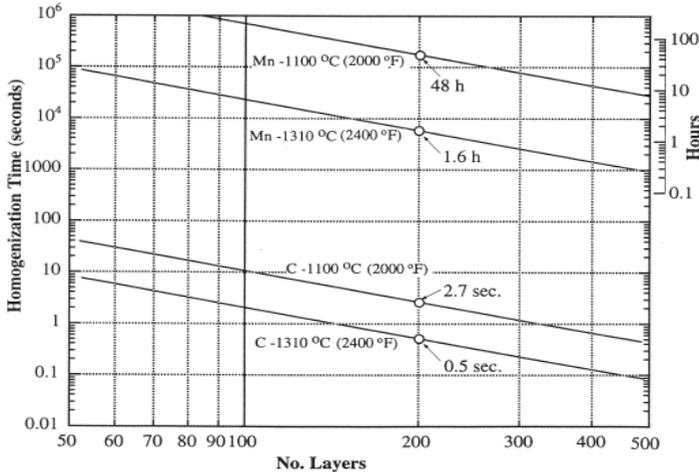
4.2.2 Pembahasan Pisau B2

Pada proses penempaan pisau B2 dilakukan pemanasan awal hingga mencapai temperatur lebih dari 1000°C hingga benda kerja mengeluarkan bunga api, dan dilakukan penahanan pada tungku yang lebih lama serta peningkatan temperatur lebih tinggi

dibandingkan dengan proses penempaan pisau B1. Hal ini dilakukan dengan tujuan agar difusi antara lapisannya tersebar lebih merata dan berdifusi dengan lebih baik. Agar tidak terjadi retak pada saat proses penempaan. Namun pada prosesnya penahanan temperatur yang lebih lama dan peningkatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pisau B1 menyebabkan volume dari benda kerja awal tereduksi lebih banyak. Sehingga pada saat proses penempaan tidak dapat dilakukan pelipatan untuk menambah jumlah lapisannya. Hingga terbentuk pisau B2 yang lebih kecil dibandingkan dengan pisau B1 namun tidak terdapat keretakan pada permukaannya.

Proses difusi antara karbon dari 2 bahan material berbeda yang disusun secara berselangan merupakan hal yang penting untuk menyatukan 2 bahan material tersebut. Seperti halnya pada proses pengelasan, proses ini menyatukan secara mikro 2 bahan yang berbeda dengan cara memanaskan material hingga temperatur tertentu mendekati temperatur *solid solutionnya*, kemudian ditempa agar deformasi dan persebaran karbon akibat gaya yang diberikan menyatukan secara mikro 2 bahan yang berbeda tersebut. Hasil difusi yang baik akan menciptakan satu material yang terdiri dari kombinasi kedua bahan yang berbeda tanpa ada rongga ataupun separasi antara bahan yang berbeda tersebut.

Temperatur pemanasan dan jumlah layer sangat mempengaruhi proses difusi antara karbonnya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan verhoeven mengenai waktu yang dibutuhkan untuk karbon menjadi homogen diantara bahan yang berbeda semakin tinggi temperatur pemanasannya maka difusi yang terjadi akan semakin cepat. Dibutuhkan waktu kurang lebih 2,7 detik untuk menciptakan kandungan karbon yang homogen dari 200 layer material pada temperatur 1100°C. Namun membutuhkan waktu 48 jam untuk menciptakan kandungan unsur paduan lain, dalam hal ini Mn menjadi homogen dari 200 layer material pada temperatur yang sama. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6 dibawah ini. Hal ini sejalan dengan yang dilakukan pada proses difusi pisau B2.



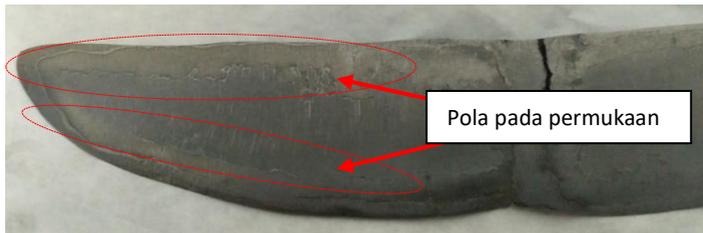
Gambar 4.6 Pengaruh jumlah *layer* dan temperature terhadap waktu difusi antara karbon (Verhoeven, 1998)

Komposisi kimia yang dimiliki oleh bahan material 0,5 CCrMnSi maupun JIS SUP 9, yaitu memiliki kandungan Cr, Mn, dan Si yang cukup tinggi sehingga diperlukan waktu dan temperatur difusi yang lebih lama agar kandungan unsur paduan tersebut ikut berdifusi antara lapisannya dan tersebar merata sehingga tidak terjadi retak. Namun dengan penahanan yang lebih lama pada tungku akan meningkatkan temperatur material bagian luar yang lebih dulu terkena api. Sehingga temperatur bagian luar akan menerima panas dan meningkatkan temperaturnya lebih dari yang berada pada bagian dalam. Hal ini mengakibatkan logam pada bagian luar akan lebih tidak stabil dan mendekati titik leburnya. Ketika dilakukan penempaan menggunakan palu, logam pada bagian luar tidak kuat menahan tekanan yang diberikan, sehingga volume logam yang lebur ketika ditempa menjadi besar. Sedangkan dimensi awal tiap lapisan dari benda kerja B2 memiliki ketebalan sebesar 4,28 mm. Sehingga volume sisa yang tidak tereduksi dari kondisi awal tidak memiliki ketebalan yang cukup

untuk dilakukan proses pelipatan. Namun difusi antara karbon pada material yang tidak terduksi sudah baik, sehingga proses penempaan dapat dilanjutkan dan terbentuk pisau B2 dengan panjang 10 cm.

4.3 Pengamatan Pola Permukaan Pisau

Proses penempaan pada susunan lapisan dari 2 material yang berbeda akan membentuk pola pada permukaannya. Pola ini dapat dilihat secara lebih jelas setelah dilakukan proses *finishing* dan dietsa menggunakan nital. Gambar 4.7 menunjukkan pola yang terbentuk di permukaan pisau B1 maupun B2. Dapat dilihat pola yang terbentuk pada pisau B1 mengikuti arah dan bentuk dari pisau tersebut. Sedangkan pada pisau B2 pola yang terbentuk seperti aliran persebaran air.



(a)



(b)

Gambar 4.7 (a) Pola pada permukaan pisau B1 (b) Pola pada permukaan pisau B2

4.3.1 Pembahasan Pola Permukaan Pisau

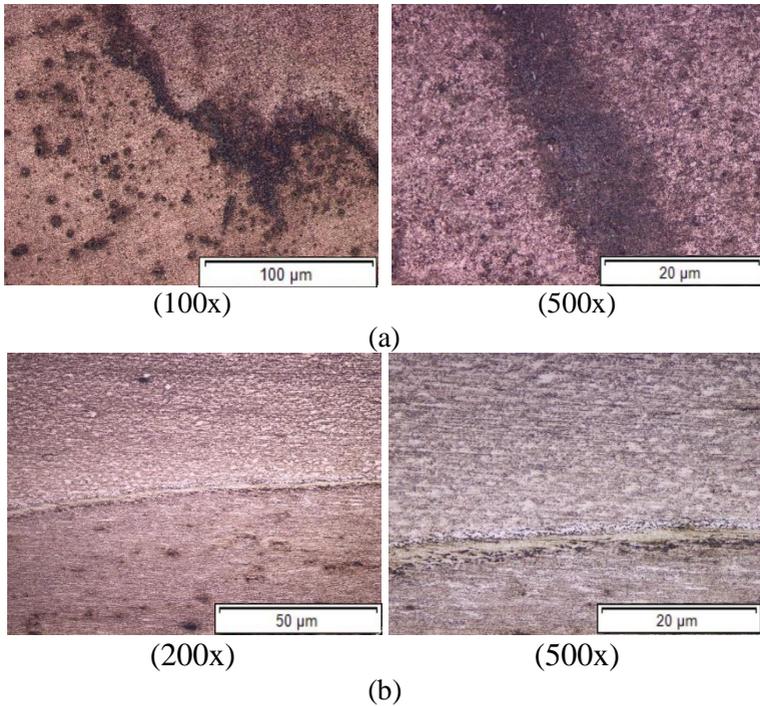
Pola yang terbentuk pada pisau B1 dan B2 seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.7 diatas terbentuk pada salah satu sisi permukaan pisau, yaitu pada permukaan yang bersinggungan dengan palu tempa. Hal ini dapat terjadi akibat perbedaan material yang ditempa dan berdifusi menjadi satu. Meskipun antara material yang berbeda berdifusi namun masing2 tetap mempertahankan strukturnya. Batas2 antara material tersebut yang saling berdifusi dan tersebar membentuk pola seperti pada gambar 4.7.

Pada pisau B1 terbentuk pola mengikuti bentuk pisau dimana pada sisi tajam dan ujung pisau cenderung lebih tipis dan membentuk seperti bentuk pisau. Proses dan arah penempaan juga mempengaruhi terbentuknya pola pada permukaan. Proses penempaan lebih banyak terjadi pada sisi tajam dan ujung pisau, sehingga persebaran pola lebih banyak terjadi disekitar sisi tajam dan ujung pisau. Sedangkan pada pisau B2 pola terjadi menyebar pada bagian tengah permukaan.

Secara mikro pola tersebut tidak berbeda halnya dengan bagian yang lain. Butir2 yang terbentuk hampir sama dengan bagian lainnya. Hanya saja batas lapisan antara material JIS SUP 9 dan 0,5 CCrMnSi tetap terlihat dan mempertahankan bentuknya. Hal ini yang menyebabkan terbentuknya pola yang dapat dilihat secara makro. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.8 dibawah ini.

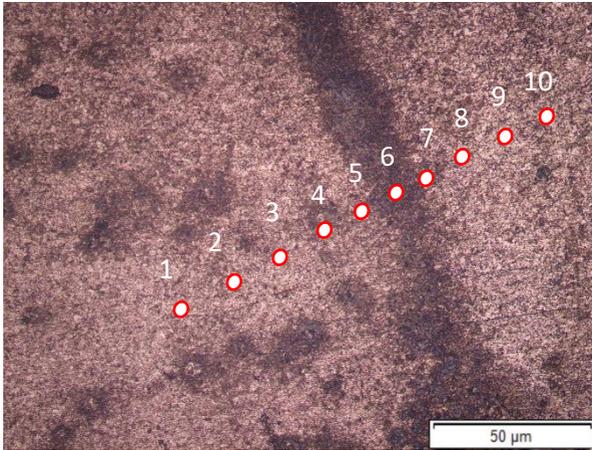


(Makro)



Gambar 4.8 Struktur mikro pola (a) Permukaan pisau (b) Penampang pisau

Pola yang terbentuk ini tidak mempengaruhi kekerasan secara khusus, hanya saja pada batas antara material tersebut memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi. Hal ini karena adanya penumpukan unsur2 yang berdifusi. Sehingga pada batas antara material tersebut mengalami peningkatan nilai kekerasan. Seperti pada tabel 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.9 Titik pengujian nilai kekerasan pada pola

Tabel 4.4 Hasil pengujian nilai kekerasan pada pola

Arah pengujian	Titik ke - n										Rata2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Melintang	277	291	354	490	520	657	587	470	371	351	436,8

Jika dibandingkan dengan pola yang terbentuk pada pisau damaskus, baik struktur maupun kekerasannya masih jauh berbeda. Pada pisau damaskus, pola pada permukaannya terbentuk oleh kumpulan *cementite* yang berbentuk bulat dan tersusun secara lembaran. Hal ini dapat terjadi akibat dari komposisi kimia yang dimiliki oleh bahan awal, dan juga metode yang digunakan jauh berbeda dengan yang dimiliki oleh pisau damaskus.

4.4 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada bahan awal sebelum ditempa, dan pisau tempa manual B1 dan B2. Pada bahan awal sebelum ditempa, dilakukan pengujian kekerasan pada permukaan material baja JIS SUP 9 dan 0,5 CCrMnSi. Setelah dilakukan proses penempaan dan dihasilkan pisau B1 dan B2 dilakukan pengujian pada permukaan dan penampang dari setiap pisau.

Pengujian kekerasan dilakukan pada 10 titik yang berbeda yang tersebar secara merata sepanjang permukaan maupun penampangnya seperti pada gambar 4.9 dan gambar 4.11. Pada pengujian ini digunakan mesin *microhardness*. Tabel 4.5 menunjukkan hasil pengujian kekerasan bahan awal pada permukaan baja JIS SUP 9 dan 0,5 CCrMnSi. Sedangkan tabel 4.6 menunjukkan hasil pengujian pada permukaan dan penampang pisau B1 dan B2.

Tabel 4.5 Hasil uji kekerasan bahan awal

Spesimen	Nilai Kekerasan (HV)			Rata-rata
	1	2	3	
0,5 CCrMnSi	296	305	281	294
JIS SUP 9	242	231	238	237

Tabel 4.6 Hasil uji kekerasan pisau B1 dan B2

Material	Titik	Nilai Kekerasan (HV)	
		Permukaan	Penampang
Pisau B1	1	383	510
	2	264	519
	3	372	353
	4	337	346
	5	366	321
	6	295	290
	7	317	294
	8	382	236
	9	331	274
	10	346	367
Pisau B2	1	396	499
	2	416	412
	3	361	484
	4	377	467
	5	358	424
	6	356	483
	7	336	349
	8	403	433
	9	364	400
	10	471	398

4.4.1 Kekerasan Pada Bahan Pisau

Pengujian kekerasan pada pisau tempa manual B1 dan B2 dilakukan sepanjang permukaan dan penampang pisau. Hal ini dilakukan untuk mengetahui persebaran kekerasan yang terbentuk setelah proses penempaan dilakukan. Juga menunjukkan pengaruh perbedaan jenis material yang disusun secara berselang-seling terhadap

kekerasan pisau tempa manual. Berdasarkan data hasil pengujian yang ditunjukkan pada tabel 4.6 diatas, didapatkan nilai rata2 kekerasan yang tersebar disepanjang permukaan maupun penampangnya. Nilai yang didapatkan di tuangkan pada grafik persebaran kekerasan pisau pada gambar 4.11 dan gambar 4.13.



(a)

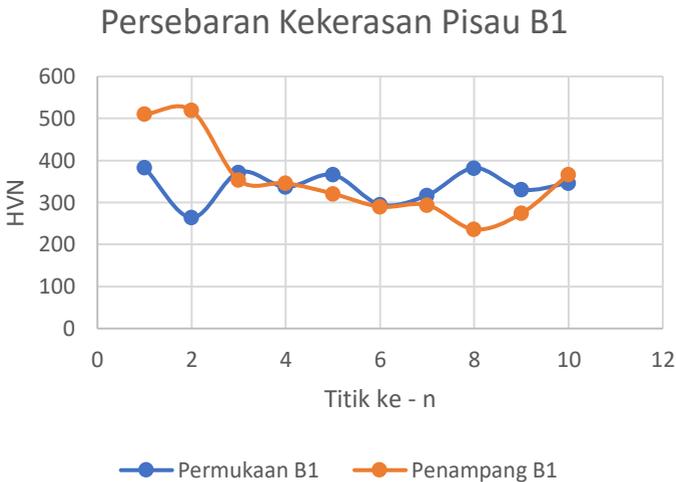


(b)



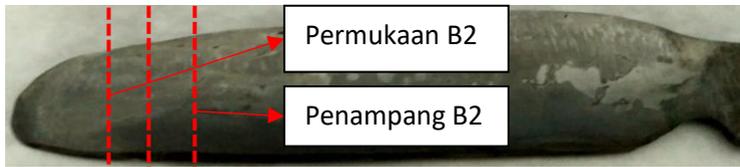
(c)

Gambar 4.10 (a) Pengambilan spesimen pada pisau B1 (b) Titik pengambilan nilai kekerasan spesimen permukaan B1 (c) Titik pengambilan nilai kekerasan spesimen penampang B1



Gambar 4.11 Grafik persebaran kekerasan pisau B1

Pada gambar 4.11 didapatkan persebaran kekerasan pada permukaan dan penampang pisau B1. Nilai kekerasan tertinggi pada penampang berada pada pengujian titik 1, dengan nilai kekerasan sebesar 510 HV. Sedangkan nilai terendah kekerasan penampang berada pada titik 8 dengan nilai sebesar 236 HV. Pada permukaan nilai kekerasan tertinggi berada pada titik ke 1 pengujian dengan nilai kekerasan sebesar 383 HV. Sedangkan nilai kekerasan terendah berada pada titik ke 2 dengan nilai kekerasan sebesar 264 HV. Grafik persebaran kekerasan penampang cenderung menurun secara linier dari titik 1 hingga titik ke 10. Hal ini menunjukkan persebaran kekerasan pada penampang kurang merata, namun mengalami penurunan mulai dari sisi tumpul hingga sisi tajam pisau. Sedangkan grafik persebaran kekerasan pada permukaan cenderung datar. Hal ini menunjukkan persebaran kekerasan pada permukaan terjadi secara merata.



(a)

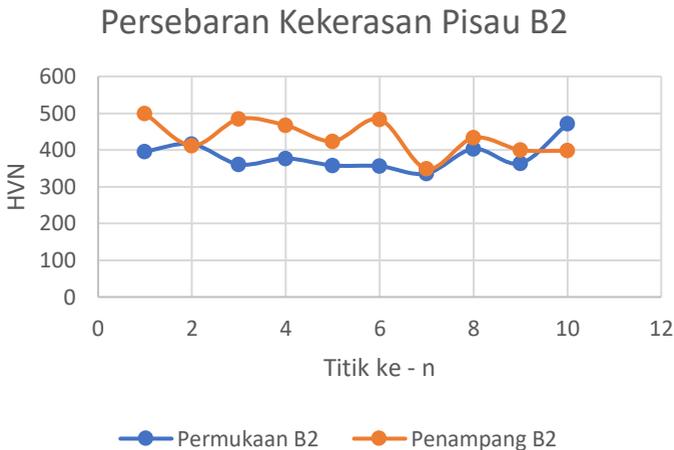


(b)



(c)

Gambar 4.12 (a) Pengambilan spesimen pada pisau B2 (b) Titik pengambilan nilai kekerasan spesimen permukaan B2 (c) Titik pengambilan nilai kekerasan spesimen penampang B2



Gambar 4.13 Grafik persebaran kekerasan pisau B2

Pada gambar 4.13 didapatkan persebaran kekerasan pada permukaan dan penampang pisau B2. Nilai kekerasan tertinggi pada penampang berada pada pengujian titik 1, dengan nilai kekerasan sebesar 499 HV. Sedangkan nilai terendah kekerasan penampang berada pada titik 7 dengan nilai sebesar 349 HV. Pada permukaan nilai kekerasan tertinggi berada pada titik ke 10 pengujian 471 HV. Sedangkan nilai kekerasan terendah berada pada titik ke 6 dengan nilai kekerasan sebesar 356 HV. Grafik persebaran kekerasan penampang cenderung menurun secara linier dari titik 1 hingga titik ke 10. Hal ini menunjukkan persebaran kekerasan pada penampang kurang merata, namun mengalami penurunan mulai dari sisi tajam hingga sisi tumpul pisau. Sedangkan grafik persebaran kekerasan pada permukaan cenderung datar. Hal ini menunjukkan persebaran kekerasan pada permukaan terjadi secara merata.

4.4.2 Pembahasan Kekerasan

Proses penempaan pisau memanfaatkan deformasi plastis pada material bahan awal untuk membentuk pisau yang diinginkan.

Deformasi plastis ini menyebabkan terjadinya perubahan pada struktur mikro dan juga sifat mekanik material tersebut. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa proses penempaan dan penyusunan 2 material yang berbeda mengakibatkan terjadinya peningkatan nilai kekerasan. Baik pada penampang maupun permukaan pisau. Hal ini disebabkan oleh pemipihan butir² pada material akibat gaya tempa yang menyebabkan dislokasi butiran. Dislokasi akibat gaya tempa ini terjadi secara terus menerus dan berulang selama proses tempa. Proses ini menyebabkan terjadinya *strain hardening* yang akan meningkatkan nilai kekerasan. Selain itu gaya tempa yang diberikan akan memecah butir hingga menjadi kecil dan halus. Pengecilan ukuran butir ini tersebar secara merata di permukaan dan penampang pisau. Ukuran butir yang kecil akan menghambat pergerakan dislokasi dan meningkatkan nilai kekerasan. Kandungan komposisi kimia juga akan mempengaruhi kekerasan pada material. Kadar C, Mn, Si, dan Cr yang tinggi menyebabkan tingginya nilai kekerasan material.

Nilai kekerasan pada penampang baik pisau B1 maupun pisau B2 cenderung lebih tinggi dibanding permukaannya. Hal ini disebabkan oleh penyusunan lapisan dilakukan secara horizontal dengan arah penempaan. Diagram alir yang dibutuhkan dalam menyatukan 2 bahan material yang berbeda hingga mengalami deformasi plastis, lebih besar dibandingkan hanya 1 jenis material saja. Sehingga pemipihan dan deformasi yang terjadi antara lapisannya lebih besar dibandingkan permukaannya. Oleh sebab itu, nilai kekerasan pada penampang cenderung lebih besar dibandingkan dengan permukaannya.

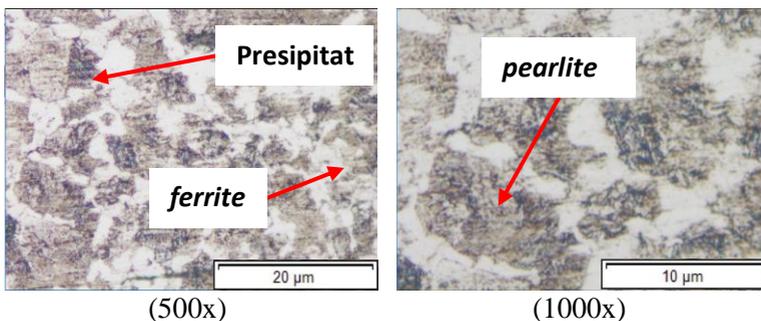
Berdasarkan grafik persebaran nilai kekerasan diatas, dapat dilihat kekerasan pada penampang mengalami penurunan mulai dari sisi tajam hingga sisi tumpulnya. Hal ini menunjukkan bahwa sisi tajam pisau lebih keras dibandingkan dengan sisi tumpul ataupun bagian tengah. Pembentukan sisi tajam memerlukan gaya dan proses penempaan yang lebih banyak. Sehingga bagian sisi tajam pisau lebih banyak terkena gaya tempa dibandingkan sisi lainnya. Gaya tempa yang lebih ini

menyebabkan dislokasi dan pemipihan butir pada sisi tajam lebih banyak daripada sisi lainnya dan menyebabkan persebaran nilai kekerasan pada sisi tajam lebih besar dibandingkan sisi tengah dan tumpul.

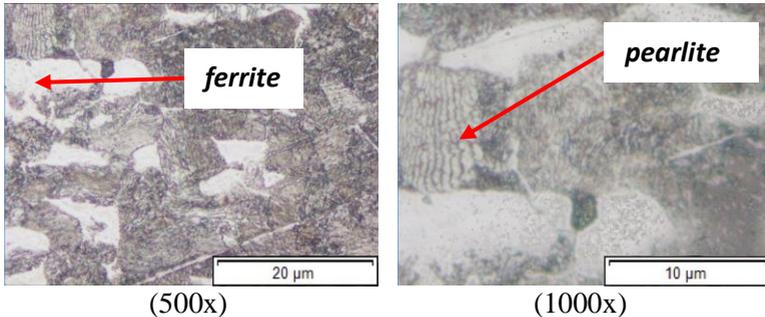
Sedangkan pada permukaan pisau persebaran kekerasan cenderung merata mulai dari sisi tajam hingga sisi tumpul. Hal ini dapat terjadi akibat gaya tempa yang diberikan merata disetiap sisinya. Sehingga dislokasi yang terjadi pada permukaan pisau cenderung merata. Permukaan yang terkena gaya tempa secara langsung juga mempengaruhi persebaran butir yang terjadi. Butir yang terkena gaya tempa secara langsung akan pecah dan tersebar ke segala arah. Sehingga dislokasi yang terjadi pada permukaan lebih rata dibandingkan pada penampang.

4.5 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro pada penelitian ini dilakukan pada bahan awal dan pisau hasil penempaan. Pengamatan ini menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 500x dan 1000x. Struktur yang diamati adalah pada permukaan bahan awal baja JIS SUP 9 dan 0,5 CCrMnSi. Sedangkan pada pisau hasil penempaan dilakukan pengamatan pada struktur permukaan dan penampang pisau. Gambar 4.14 dan gambar 4.15 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pada bahan awal dengan perbesaran 500x dan 1000x.



Gambar 4.14 Struktur mikro 0,5 CCrMnSi sebelum ditempa

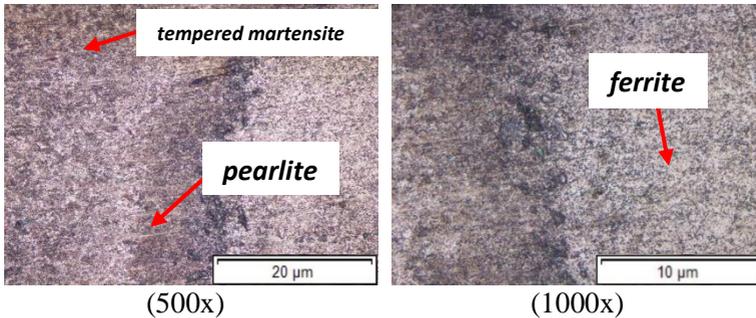


Gambar 4.15 Struktur mikro JIS SUP 9 sebelum ditempa

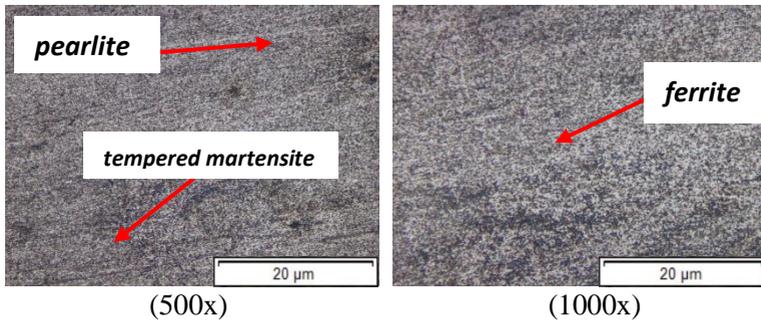
Pada bahan awal baja 0,5 CCrMnSi maupun JIS SUP 9 dapat terlihat struktur mikro pada permukaannya memiliki ukuran bulir yang besar setelah diberi perlakuan panas berupa *annealing*. Struktur mikro pada baja JIS SUP 9 terdiri dari *lamellar pearlite* dan *ferrite*. Dengan kandungan karbon yang mencapai 0,6% C, struktur yang terbentuk didominasi oleh *pearlite*. Sedangkan pada baja 0,5 CCrMnSi terlihat struktur mikro pada permukaannya terdiri dari *ferrite*, *pearlite*, dan presipitat unsur paduan lainnya. Pengaruh kandungan 1,787% Si, 1,997% Mn, 1,053% Cr membentuk presipitat yang menyebar diantara *pearlite* dan *ferrite*.

4.5.1 Pengamatan Struktur Mikro Pisau B1

Pada pisau hasil penempaan manual B1 dilakukan pengamatan sepanjang permukaan dan juga penampang. Gambar 4.16 dan gambar 4.17 dibawah menunjukkan struktur mikro pada permukaan dan juga penampang pisau B1.



Gambar 4.16 Struktur mikro permukaan pisau B1

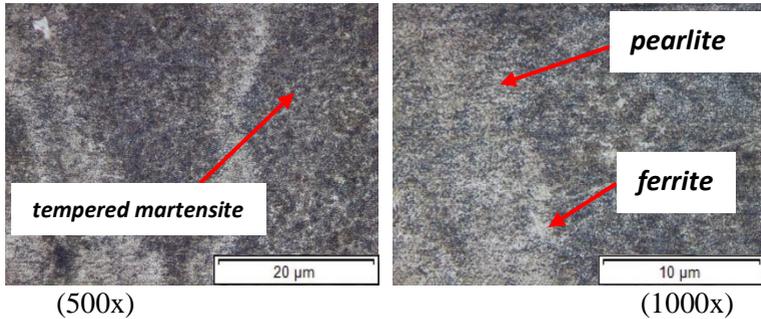


Gambar 4.17 Struktur mikro penampang pisau B1

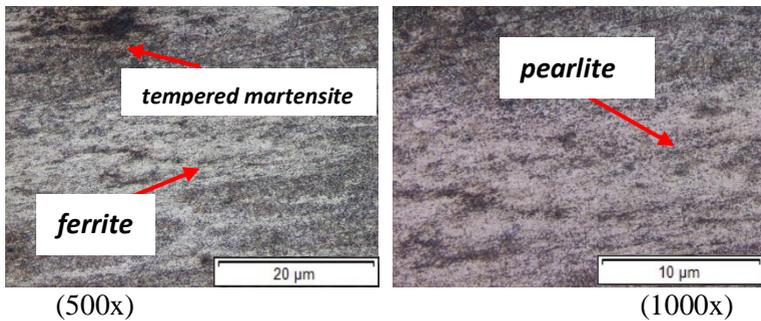
Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat struktur mikro yang terbentuk pada permukaan dan penampang pisau B1. Ukuran butir yang dihasilkan menjadi kecil dan menyebar. Pada permukaan pisau persebaran butir terlihat lebih acak dibandingkan dengan struktur pada penampang. Fase yang terbentuk pada permukaan dan penampang terlihat sama yaitu *tempered martensite*

4.5.2 Pengamatan Struktur Mikro Pisau B2

Pada pisau hasil penempaan manual B2 dilakukan pengamatan sepanjang permukaan dan juga penampang. Gambar 4.18 dan gambar 4.19 dibawah menunjukkan struktur mikro pada permukaan dan juga penampang pisau B2.



Gambar 4.18 Struktur mikro permukaan pisau B2



Gambar 4.19 Struktur mikro penampang pisau B2

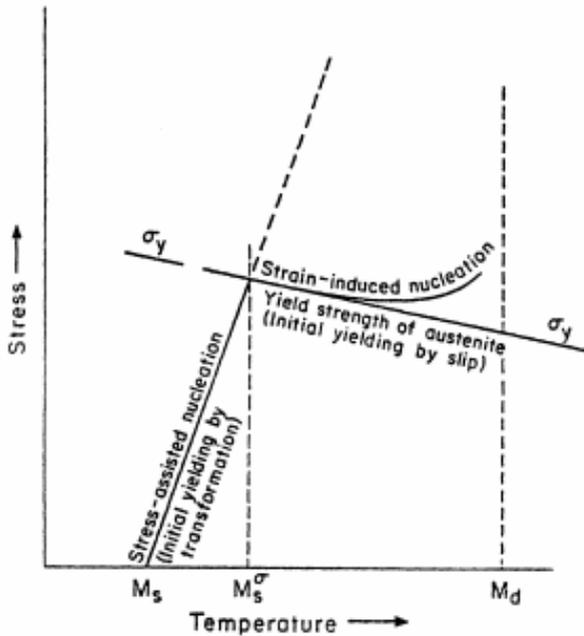
Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat struktur mikro yang terbentuk pada permukaan dan penampang pisau B2. Ukuran butir yang dihasilkan menjadi kecil dan menyebar. Terlihat batas2 antara material dan struktur yang berbeda namun tetap menjadi satu kesatuan. Fase yang terbentuk pada permukaan dan penampang terlihat sama yaitu *ferrite* dan *pearlite*, namun terbentuk pula *tempered martensite* pada permukaan pisau B2.

4.5.3 Pembahasan Struktur Mikro

Proses penempaan hingga membentuk pisau mengubah struktur mikro pada bahan. Berdasarkan hasil pengamatan struktur mikro bahan awal pisau memiliki fase *pearlite* dan *ferrite* dengan

ukuran butir yang besar. Sedangkan setelah dilakukan proses penempaan dan terbentuk pisau B1 maupun B2, terlihat fase yang terbentuk adalah *pearlite* (berwarna gelap), *ferrite* (berwarna terang), dan *tempered martensite* (berwarna hitam dan menyebar). Gaya tempa yang diterima oleh bahan selama proses penempaan, akan memecah butir2 pada bahan hingga menjadi kecil dan halus. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, hal ini akan meningkatkan nilai kekerasannya.

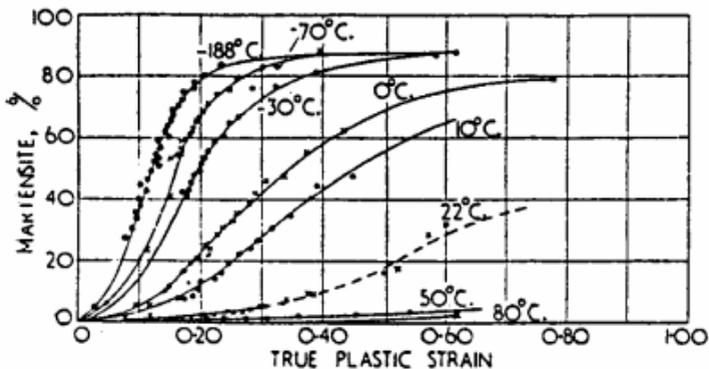
Pembentukan *tempered martensite* pada material terjadi akibat proses pemanasan dan pendinginan yang dilakukan secara berulang pada siklus tempa. Martensite yang pada awalnya terbentuk pada saat tahap penempaan 1, dimana *austenite* yang terbentuk akibat proses pemanasan awal diberikan gaya tempa sehingga menghambat difusi karbida dalam membentuk kembali *pearlite*. Unsur2 pada *austenite* akan terpecah dan menyebar sehingga membentuk *martensite*. Proses ini dikenal dengan *strain induced martensite*. Dalam membentuk martensite pada proses ini, *austenite* akan berdeformasi plastis seiring dengan gaya tempa yang diberikan. Seperti pada gambar 4.20 yang menunjukkan tegangan yang diberikan serta temperatur untuk terjadinya proses pembentukan *martensite*. Proses transformasi fase *austenite* menjadi martensite ini akan dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya adalah komposisi kimia, temperatur, laju regangan, keadaan regangan, dan besar butir *austenite*.



Gambar 4.20 Tegangan kritis dalam pembentukan martensite pada proses *strain induced martensite*. (Olsen and Cohen, 1972)

Dari gambar diatas terlihat batas atas temperatur yang dibutuhkan untuk terbentuknya martensite dan batas tegangan yang dibutuhkan untuk mendeformasi plastis fase *austenite*. Semakin tinggi temperatur M_d semakin rendah *yield strength austenite*, dan akan semakin rendah tegangan yang harus diberikan untuk membentuk *martensite*. Mendekati terbentuknya *martensite* pada temperatur M_s , *yield strength* fase *austenite* akan semakin tinggi. Ketika tegangan yang diberikan lebih besar dari *yield strength austenite* hingga menyebabkannya berdeformasi plastis, *martensite* akan terbentuk seiring dengan peregangan yang terjadi. Penurunan temperatur juga mempengaruhi terbentuknya *martensite*, seiring dengan regangan yang terjadi pada fase

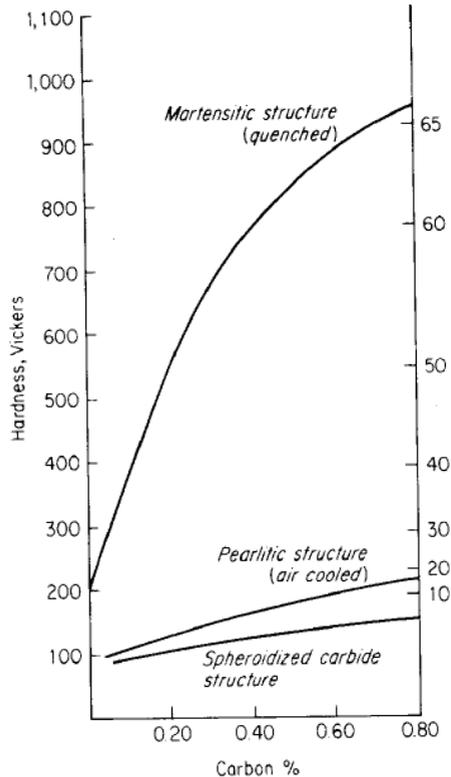
austenite. Hal ini dituangkan pada gambar 4.21, yang menunjukkan persentase terbentuknya martensit, seiring dengan regangan yang terjadi pada fase *austenitenya* yang dipengaruhi oleh penurunan temperatur. Pada proses penempaan, deformasi plastis terjadi pada tahap 1, dengan temperatur tempa 1000°C hingga 750°C pada fase *austenite*. Sehingga dengan berdeformasinya secara plastis pada fase *austenite*, akan mendorong terbentuknya martensit pada metode *strain induced martensite*.



Gambar 4.21 Efek temperatur deformasi terhadap regangan yang terjadi pada proses pembentukan martensit (Angel, 1954)

Pada siklus tempa kedua dan ketiga, pemanasan yang dilakukan tidak melebihi garis A1 dari diagram fasenya. Sehingga fase pada material tidak berubah kembali menjadi *austenite*, namun kandungan karbon didalamnya tidak stabil akibat dipanaskan. Sehingga ketika dalam kondisi panas dan atom karbon yang tidak stabil diberikan gaya tempa, akan memecah butir2 *austenite* menjadi kecil dan halus. Kandungan unsur yang terkandung didalamnya akan keluar dari fasenya dan bergerak searah dengan arah penempaan membentuk *tempered martensite*. Hal ini dapat ditinjau pula dari nilai kekerasan yang terbentuk dimana pada fase *martensite* nilai kekerasannya mampu mencapai 900 HVN, sedangkan pada fase *pearlite* nilai kekerasan hanya mampu

mencapai sekitar 200 HVN. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.22 dibawah ini.



Gambar 4.22 Kekerasan yang terbentuk pada fase yang berbeda seiring dengan meningkatnya kandungan karbon pada bahan (After E. Bain and H.W Paxton, "Alloying Elements in Steel", 2nd ed., p.37, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1961. Copyright, American Society for Metals, 1961.)

Pada pengamatan struktur mikro diatas terlihat batas2 yang memisahkan antara material JIS SUP 9 dan material 0,5 CCrMnSi. Meskipun saling berdifusi dan terpecah namun material tersebut tetap mempertahankan struktur awal masing2. Hal ini karena

proses difusi antara material tidak mencapai temperatur leburnya. Atom yang terkandung pada tiap material yang berbeda fasenya tidak mampu berdifusi secara menyeluruh. Sehingga penyatuan kedua material tidak terjadi secara menyeluruh. Melainkan hanya pada permukaan yang saling bersinggungan. Hal ini menyebabkan masih terlihat struktur material asal dan batas antar materialnya, meskipun sudah terjadi penyatuan dua material menjadi satu kesatuan. Batas dan struktur awal material ini lah yang membentuk pola pada permukaan.

BAB 5
KESIMPULAN DAN SARAN

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal pada penelitian ini. Diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Setelah proses penempaan pada penampang pisau B1 nilai kekerasan tertinggi yang didapatkan adalah sebesar 519 HV pada titik ke 2, dan nilai kekerasan terendah sebesar 236 HV pada titik ke 8. Pada permukaan pisau B1 didapatkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 383 HV pada titik ke 1 dan nilai kekerasan terendah sebesar 264 HV pada titik ke 2. Sedangkan pada penampang pisau B2 didapatkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 499 HV pada titik ke 1, dan nilai kekerasan terendah sebesar 349 HV pada titik ke 7. Sedangkan pada permukaan pisau B2 didapatkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 471 HV pada titik ke 10, dan nilai kekerasan terendah sebesar 356 HV pada titik ke 6. Pisau B2 memiliki nilai kekerasan rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan dengan pisau B1.
2. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan ukuran butir yang terbentuk setelah proses penempaan lebih kecil dan halus. Batas antara material yang berbeda tetap terlihat dan tidak berdifusi antara satu dengan yang lainnya. Fase yang terbentuk adalah *pearlite*, *ferrite*, dan *martensite tempered*.
3. Pola yang terbentuk pada permukaan merupakan perbedaan material yang menjadi satu kesatuan pada saat berdifusi antara lapisannya. Batas antara material tersebut tetap terlihat secara makro, sehingga membentuk pola pada permukaannya.
4. Retakan yang terjadi pada permukaan pisau B1 yang dihasilkan berada pada batas material antara baja JIS SUP 9 dan 0,5 CCrMnSi yang disusun membentuk lapisan. Retakan terjadi akibat penumpukan unsur pada batas antar material

yang bereaksi dengan udara, sehingga menjadi getas dan tidak mampu menahan gaya tempa yang diberikan.

5. Volume bahan awal material pada proses difusi antara lapisannya mengalami reduksi yang cukup besar, sehingga tidak dapat dilakukan proses pelipatan pada pembentukan pisau B2.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menggunakan material yang berbeda dalam membentuk pisau dengan metode *pattern welding*.
2. Melakukan penelitian mengenai temperatur difusi antara lapisan material yang berbeda pada pembentukan pisau.
3. Menggunakan tungku pemanasan yang lebih dapat di kontrol temperaturnya.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Fatollahi, Farzin, Fard., 2011. *“Damascus Steel”*. MSE 121.
- Hrisoulas, Jim. 1987. **The Complete Bladesmith**. Paladin Press, Boulder Colorado.
- Hrisoulas, Jim. 1994. **The Pattern Welded**. Paladin Press, Boulder Colorado.
- Lacey, Beth., Brooks, Charlie, R., 1991. *“Microstructural Analysis of A ‘welded damascus’ Knife Blade Billet”*. Materials Science and Engineering Departement and the Center for Materials Processing, The University of Tennessee Knoxville, TN 37996.
- Mintách, Rastislav., Nový, František., Bokůvka, Otakar., Chalupová, Mária., Juli 2011. *“Impact Strength and Failure Analysis of Welded Damascus Steel”*. Department of Materials Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, University of Žilina, Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slovak Republic.
- Peterson, D, T., Baker, H, H., dan Verhoeven, J, D., 1990. *“Damascus Steel, Characterization of One Damascus Steel Sword”*. Department of Materials Science and Engineering and Ames Laboratory-USDOE, Ames, Iowa 50011.
- Verhoeven, J, D., Jones, L, L., Ames, Iowa 1987. *“Damascus Steel, Part II: Origin of the Damask Pattern”*. Department of Materials Science and Engineering and Ames Laboratory-USDOE, Ames, Iowa 50011.
- Verhoeven, J, D., Baker, H, H., Peterson, D, T., Yater, W, M., 1990. *“Damascus Steel, Part III : The Wadsworth – Sherby Mechanism”*. Department of Materials Science and Engineering and Ames Laboratory-USDOE, Ames, Iowa 50011.
- Verhoeven, J, D., Pendray, A, H., 1993. *“Studies of Damascus Steel Blades : Part I – Experiments on Reconstructed Blades”*. Department of Materials Science and Engineering and Ames Laboratory-USDOE, Ames, Iowa 50011.
- Verhoeven, J, D., Pendray, A, H., 1992. *“Experiments To Reproduce the Pattern of Damascus”*. Department of Materials

Science and Engineering and Ames Laboratory-USDOE, Ames, Iowa 50011.

Verhoeven, J, D., Februari 2007. “*Pattern Formation in Wootz Damascus Steel Sword*”. Department of Materials Science and Engineering and Ames Laboratory-USDOE, Ames, Iowa 50011.

Verhoeven, J, D., Januari 2001. “The Mistery of Damascus Blades”. Scientific American.

Verhoeven, J, D., Clark, Howard, F., 1998. “*Carbon Diffusion Between the Layers in Modern Pattern-Welded Damascus Blades*”. Department Materials Science and Engineering, Iowa State University, Ames, IA 50011; and Morgan Valley Forge, RR 1, Box 74, Runnells, IA 50237.

Wadsworth, Jeffrey., Sherby, D, Oleg., June 1980. “*On The Bulat – Damascus Steels Revisited*”. Department of Materials Science and Engineering, Stanford University, Stanford, California 94305, U.S.A.

Wadsworth, Jeffrey., Sherby, D, Oleg., September 2000. “*Ancient Blacksmiths, the Iron Age, Damascus Steels, and Modern Metallurgy*”. Thermec 2000, International Conference on Processing and Manufacturing of Advanced Materials, Las Vegas, NV

Wadsworth, Jeffrey., Sherby, D, Oleg., 1992. “*Comments on Damascus Steel_ Part III The Wadsworth-Sherby Mechanism by Verhoeven*”. Department of Materials Science and Engineering, Stanford University, Stanford, California 94305, U.S.A.

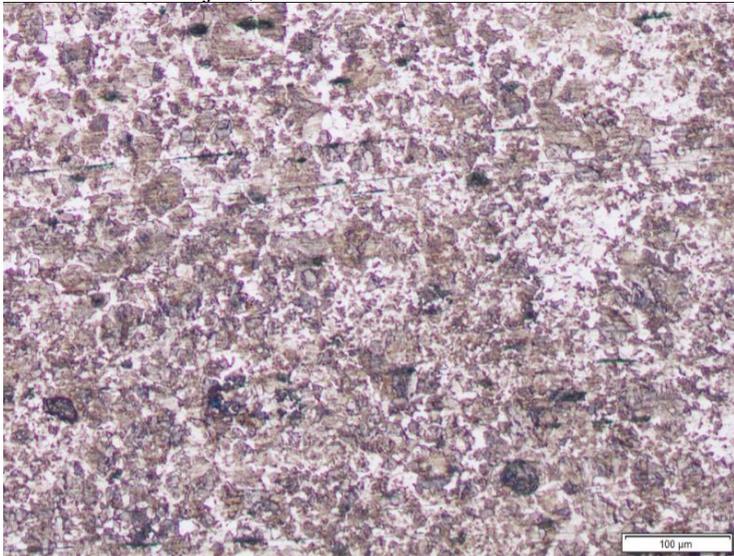
Wadsworth, Jeffrey., Sherby, D, Oleg., April 1997. “*Ultrahigh Carbon Steels, Damascus Steels, and Superplasticity*”. 9th International Metallurgical and Materials Congress Istanbul, Turkey.

LAMPIRAN

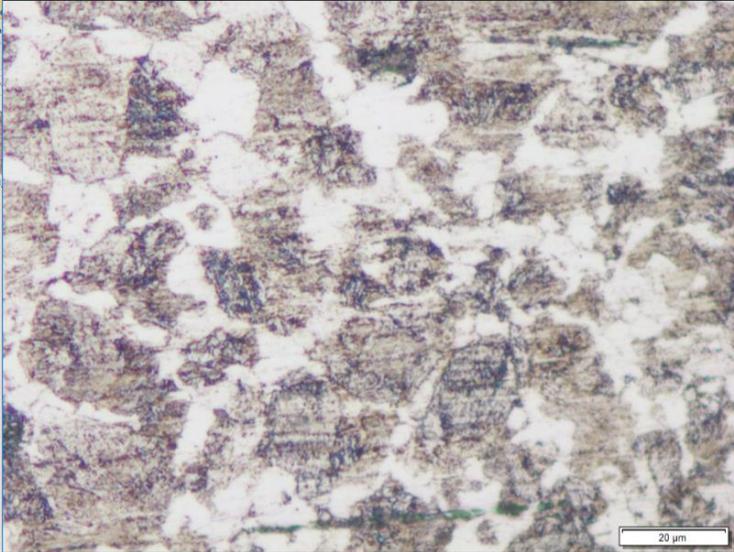
LAMPIRAN

Metalography

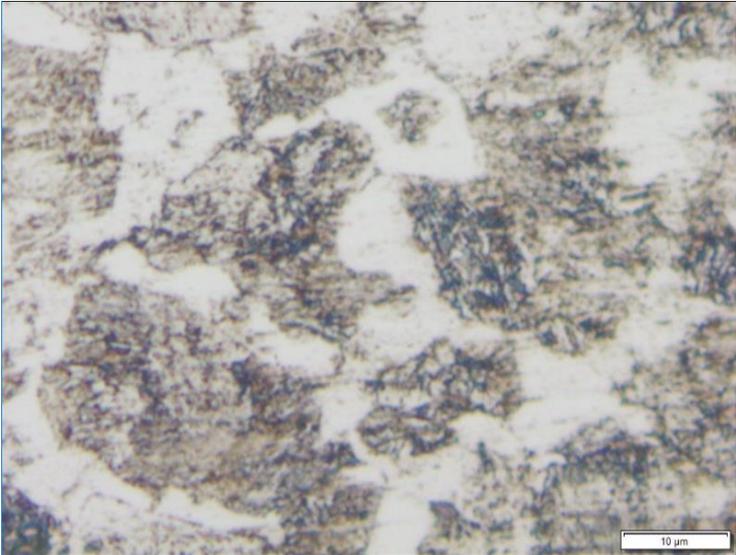
1. Struktur mikro bahan awal
 - a. Baja 0,5 CCrMnSi



100x



500x

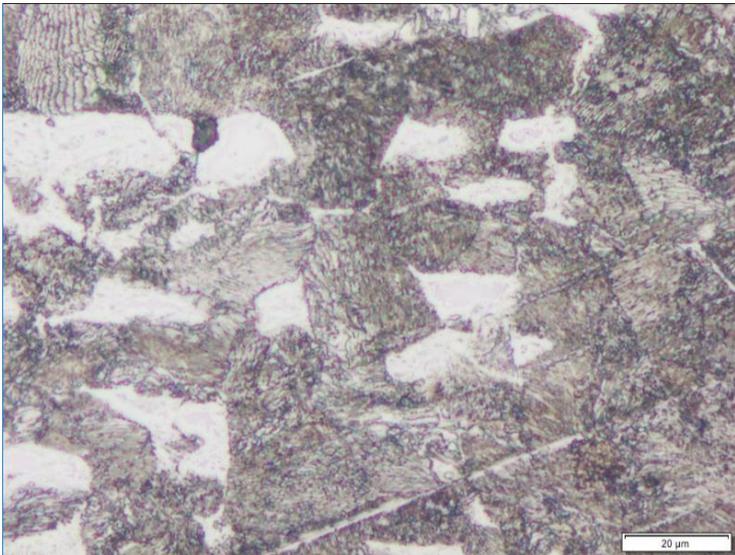


1000x

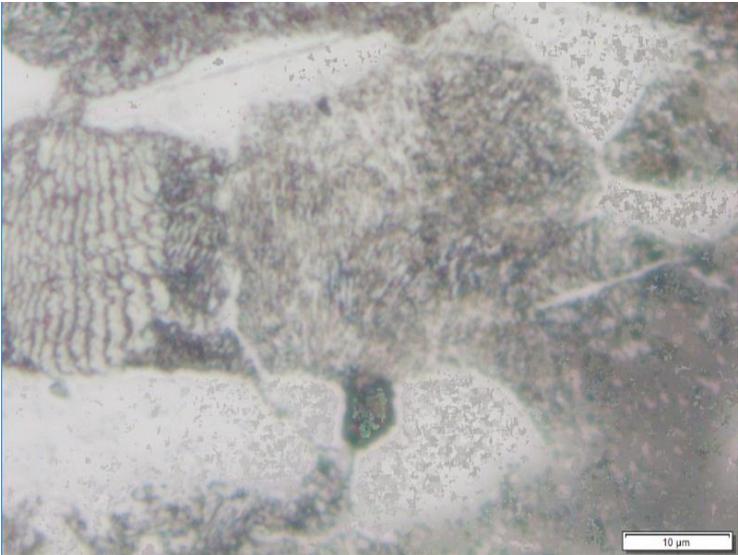
b. Baja JIS SUP 9



100x



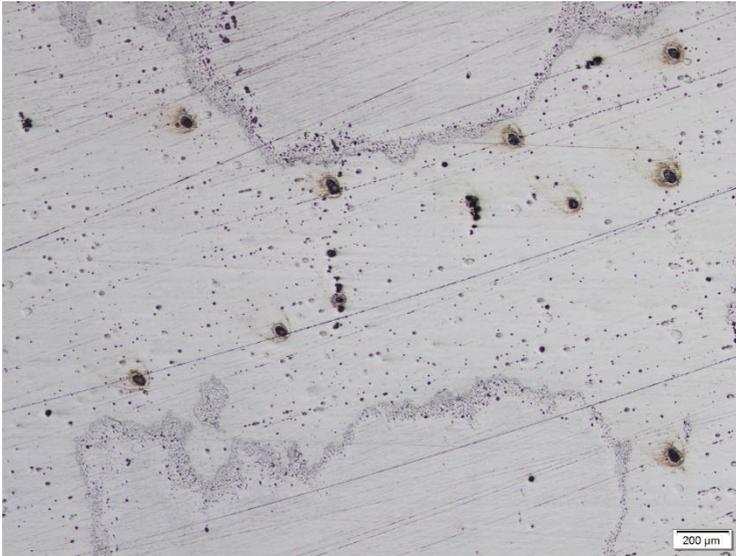
500x



1000x

2. Struktur mikro permukaan pisau B1

a. As - Polished

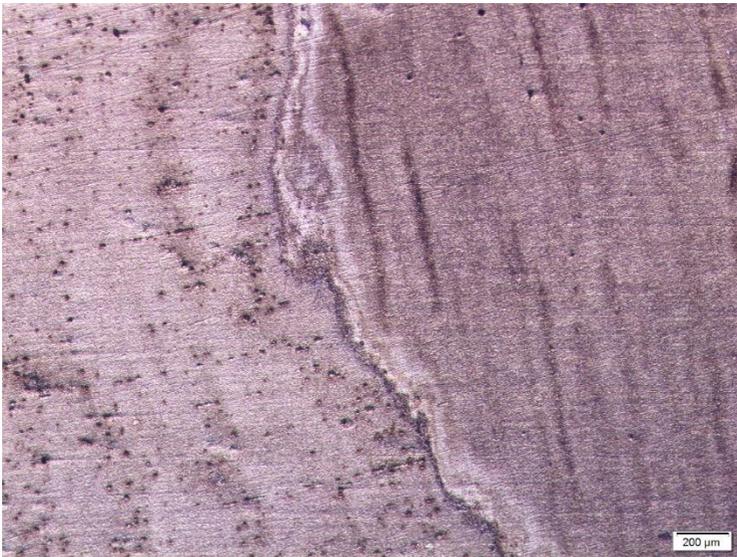


50x

b. As - Etched



50x a



50x b



200x

3. Struktur mikro penampang pisau B1

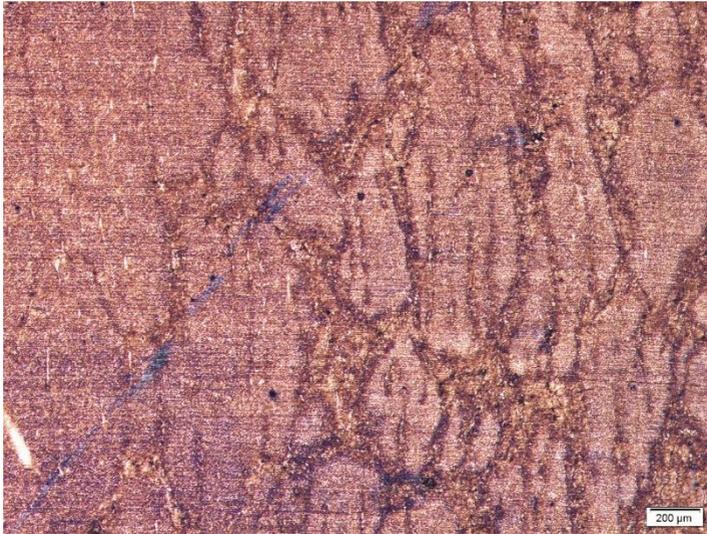
a. As - Etched



100x

4. Struktur mikro permukaan pisau B2

a. As – Etched



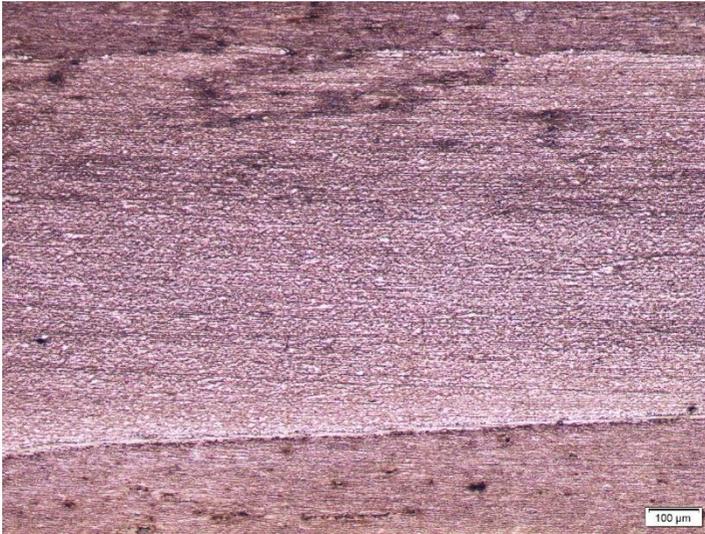
50x



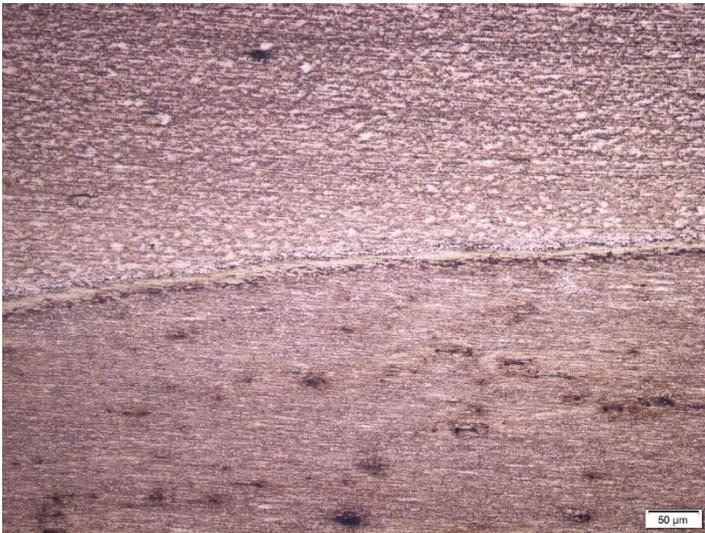
200x

5. Struktur mikro penampang pisau B2

a. As - Etched



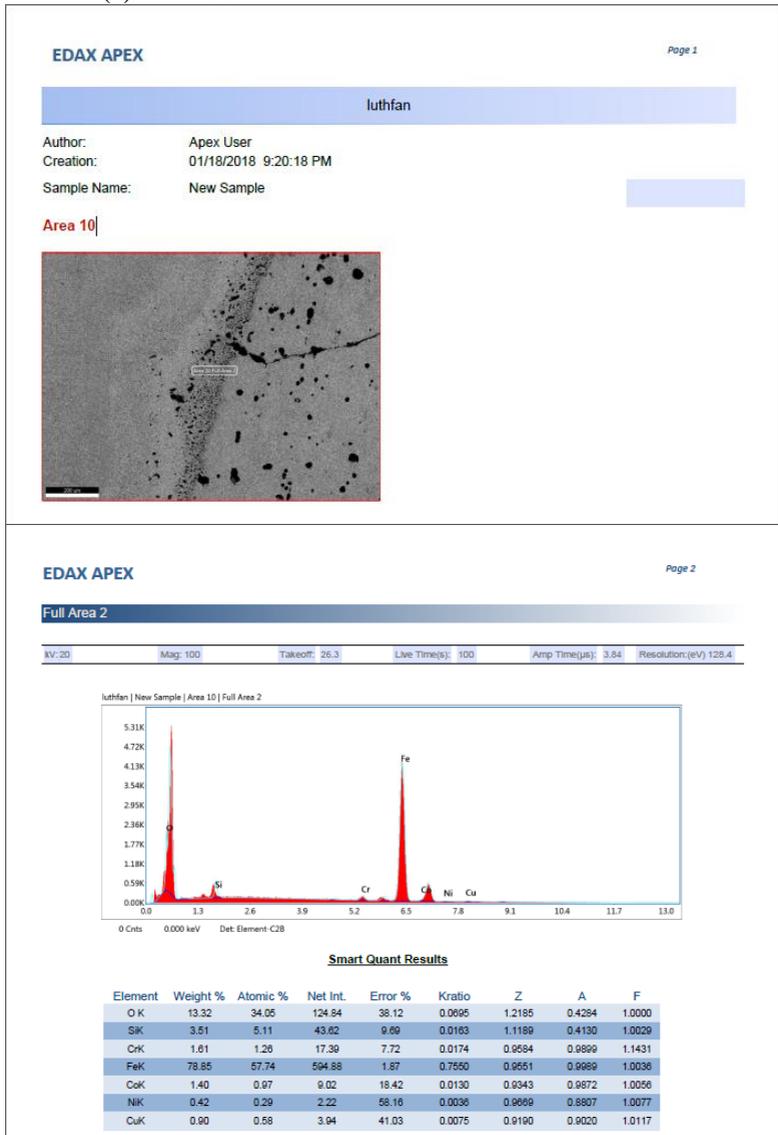
100x



200x

6. Hasil pengujian SEM (Scanning Electron Microscope)

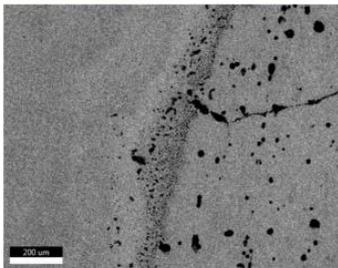
(a) Hasil EDX



(b) Hasil pengujian mapping EDX

Author: Apex User
Creation: 01/18/2018 10:02:54 PM
Sample Name: New Sample

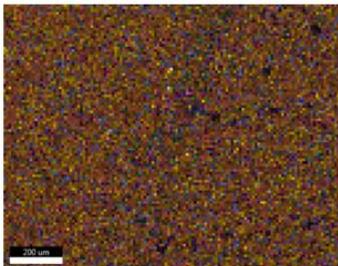
Area 10



Image

PhaseROI 2

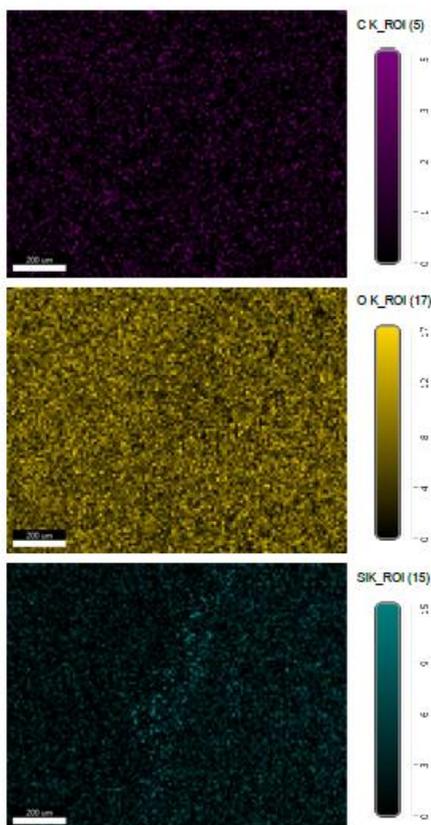
ElementOverlay

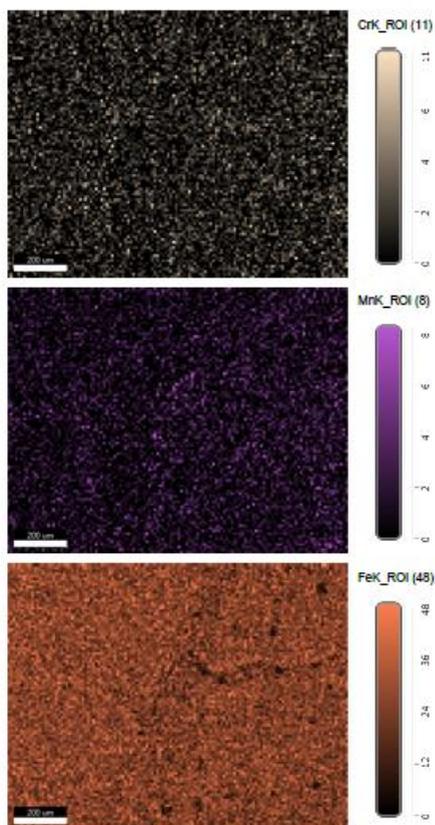


1%	C K
17%	O K
5%	Si K
3%	Cr K
3%	Mn K
66%	Fe K
5%	Co K

EDAX APEX

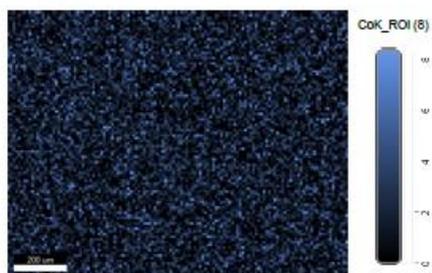
Page 2





EDAX APEX

Page 4

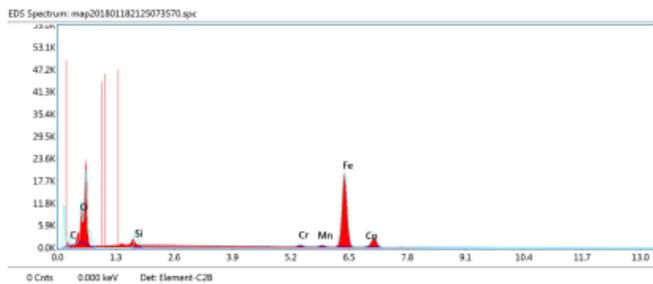


EDAX APEX

Page 5

kV: 20 Mag: 100 Takeoff: 28.3 Live Time(s): 1541 Amp Time(µs): 5.84 Resolution (µV): 128.4

Sum Spectrum



Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	A	F
C K	10.53	27.55	8.31	9.82	0.0276	1.2205	0.2148	1.0000
O K	13.94	27.38	33.55	99.99	0.0540	1.1735	0.3304	1.0000
SiK	4.53	5.07	20.55	8.99	0.0221	1.0785	0.4527	1.0029
CrK	1.14	0.69	4.14	10.21	0.0120	0.9205	0.9982	1.1480
MnK	1.18	0.68	3.69	10.99	0.0120	0.9018	1.0025	1.1207
FeK	67.60	38.05	170.13	1.61	0.6243	0.9189	1.0039	1.0032
CoK	1.08	0.57	2.31	14.12	0.0096	0.8965	0.9914	1.0056

BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di kota Jakarta, pada tanggal 24 Nopember 1995. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis berdomisili di Jl. Madrasah Komp Depag No.17 Cilandak, Gandaria Selatan, Jakarta Selatan. Pendidikan formal yang telah ditempuh penulis adalah pada tahun 2001 – 2007 bersekolah di SD Islam Dwi Matra Jakarta, kemudian pada tahun 2007 – 2010 melanjutkan ke SMPN 85 Jakarta, dan pada tahun 2010 – 2013 melanjutkan ke SMAN 6 Jakarta. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan studinya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, program studi S1 Teknik Mesin FTI-ITS dan mengambil bidang studi Metalurgi. Penulis menyelesaikan studinya selama 5 tahun hingga tahun 2018. Selama menjalankan studi, penulis aktif di organisasi dan menjabat sebagai staff HMM departemen ORG periode 2014/2015. Kemudian menjadi ketua HMM periode 2015/2016. Banyak hal yang telah penulis dapatkan selama masa studi, keluarga serta karakter yang terbangun di Keluarga Mahasiswa Mesin merupakan bekal penulis dalam melanjutkan kontribusinya di masyarakat. Penulis bercita cita untuk dapat menghilangkan kemiskinan di Indonesia, membawa Indonesia menjadi negara adidaya dan *role model* bagi dunia. Menjadi berguna bagi agama, bangsa, dan negara merupakan kewajiban yang harus penulis penuhi selama hidup. Selama hidup penulis berpegang kepada prinsip “Bebas, Bertanggung Jawab”. Karena hakikatnya manusia diberikan kebebasan di dunia ini, namun harus mempertanggung jawabkan semua yang dilakukan dihadapan yang maha kuasa Allah SWT. Kepada pembaca, penulis berharap buku Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dipertanggung jawabkan.