



TESIS - TM 142501

PENGARUH JENIS BAHAN DAN PROSES Pengerasan TERHADAP KEKERASAN DAN KETAHANAN AUS PISAU Tempa Manual

BALKHAYA
NRP 2114201007

DOSEN PEMBIMBING
SUWARNO, ST. M.Sc., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN REKAYASA DAN SISTEM MANUFaktur
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



THESIS - TM 142501

**EFFECT OF MATERIALS AND HARDENING PROCESS
ON HARDNESS AND WEAR RESISTANCE OF
MANUALLY FORGED KNIFE**

BALKHAYA
NRP. 2114201007

SUPERVISOR
SUWARNO, ST. M.Sc., Ph.D.

MASTER PROGRAM
FIELD STUDY OF MANUFACTURING SYSTEM ENGINEERING
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

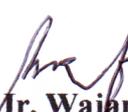
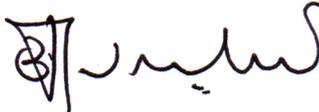
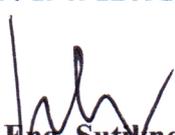
**LEMBAR PENGESAHAN
TESIS**

**Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:
Balkhaya
NRP. 2114201007**

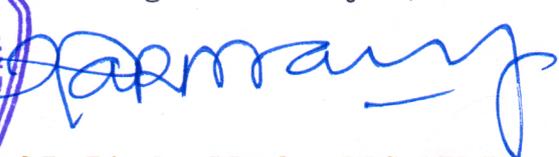
**Tanggal Ujian : Selasa, 22 Nopember 2016
Periode Wisuda : Maret 2017**

Disetujui Oleh:

- 
1. **Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D.** (Pembimbing)
NIP: 198005202005011003
- 
2. **Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA.** (Penguji)
NIP: 195012111985021001
- 
3. **Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.Eng., Ph.D.** (Penguji)
NIP: 196912031994031001
- 
4. **Dr. Eng. Sutirno, ST., MT.** (Penguji)
NIP: 197407032000031001



Direktur Program Pascasarjana,


Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.
NIP: 196012021987011001

PENGARUH JENIS BAHAN DAN PROSES Pengerasan TERHADAP KEKERASAN DAN KETAHANAN AUS PISAU TEMPA MANUAL

Nama Mahasiswa : Balkhaya
NRP : 2114201007
Pembimbing : Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Komponen pemotong banyak dijumpai pada mesin-mesin pertanian dan pengolahan makanan. Kemampuan komponen pemotong ditentukan oleh kualitas bahan dan metode pembuatan yang digunakan. Komunitas *knife making* mengenal dua metode pembuatan pisau yang berkualitas yaitu metode damaskus dan *pattern welding*. Kedua metode tersebut sama dengan metode yang digunakan pande besi tradisional namun berbeda dari segi bahan yang digunakan. Pande besi tradisional memproduksi pisau dengan pengetahuan metalurgi yang terbatas, sehingga pisau-pisau yang dihasilkan berkualitas rendah. Secara teori, kualitas pisau produksi pande besi tradisional dapat ditingkatkan dengan cara pemilihan bahan, proses pembuatan, perlakuan panas serta *finishing* yang tepat.

Penelitian dilakukan untuk mengamati pengaruh jenis bahan dan proses pengerasan terhadap kekerasan dan ketahanan aus pisau tempa manual. Jenis bahan yang ditempa adalah baja AISI 1050, AISI 4340, baja AISI L-6, dan baja JIS SUP 9. Pembuatan pisau dilakukan dengan cara pemanasan bahan mencapai temperatur berkisar antara 900-950°C kemudian ditempa berulang-ulang secara manual sampai penurunan temperatur berkisar antara 650-675°C. Pemanasan dan penampaan dilakukan beberapa siklus untuk membentuk sebuah pisau. Pengerasan dilakukan dengan cara memanaskan pisau mencapai temperatur austenisasi, kemudian dilakukan pendingin cepat (*quenching*) dengan menggunakan media pendingin air. Pengujian kekerasan dan pengamatan struktur mikro dilakukan pada permukaan dan penampang pisau sedangkan pengujian keausan dilakukan pada sisi tajam.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekerasan dan ketahanan aus dipengaruhi oleh jenis bahan dan proses perlakuan. Proses pengerasan dapat meningkatkan nilai kekerasan dan menurunkan laju keausan. Kekerasan tertinggi diperoleh pada pisau baja JIS SUP 9 dengan pengerasan menggunakan tungku elektrik adalah sebesar 62 HRC di permukaan dan 60,2 HRC di penampang dan laju keausan terendah sebesar $2,27 \times 10^{-5}$ mm³/Nm diperoleh pada pisau baja AISI L-6 dengan pengerasan menggunakan tungku elektrik. Pengamatan struktur mikro pada jenis bahan pisau setelah dikeraskan menunjukkan bahwa pada permukaan dan penampang didominasi oleh struktur martensit dan sedikit austenit sisa.

Kata kunci: pande besi, tempa, pisau, perlakuan panas, kekerasan, ketahanan aus.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

EFFECT OF MATERIALS AND HARDENING PROCESS ON HARDNESS AND WEAR RESISTANCE OF MANUALLY FORGED KNIFE

Student Name : Balkhaya
NRP : 2114201007
Supervisor : Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

There are many kinds of cutting devices in machinery and food processing equipment. The quality of the cutting component depends on the material characteristics and its production method. Traditionally, a blacksmith uses manual forging to make a knife. Commonly knives produced by traditional blacksmiths have poor quality, i.e. soft and blunt. There are two common methods to make the traditional blade, i.e. pattern welding and Damascus method. The pattern welding process consists of forge two dissimilar steels to have a combined properties of the knife. While the Damascus method forges a single bar of steel with engineered composition. Theoretically knife's quality which produced by blacksmith can be improved with right material choice, good manufacturing process, and perfect finishing process. In this work, we study the traditional forging method done by the local blacksmith to make a knife from a various composition of the steel. Our goal was to know the process parameter to control the hardness and wear resistance of the blades. Materials used in this work were steels with different chemical compositions, i.e. JIS SUP 9, AISI L6, AISI 1050 and AISI 4340. The forging process was in high-temperature ranges of hot work process using the hammer. The forging temperature was between 650 to 950°C. Hardening process on the sharp side was done with heat up the knife to 800°C then quenching to room temperature. Hardness measurement and metallographic examination were done on the surface side and cross-section of the knife, whereas the wear test conducted on the sharp side. The results showed that the hardness and wear resistance is influenced by the type of material and treatment process. Hardening process can increase the hardness and lower wear rate. The highest hardness obtained on steel blades JIS SUP 9 with hardening using an electric furnace is about to 62 HRC and 60,2 HRC on the surface in cross-section and low wear rate is about $2,27 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ obtained on AISI steel blade L-6 with hardening using electric furnaces. Observation of microstructure on knife material is after hardening process showed that on the surface and cross section is dominated by a martensite structure and a bit of retained austenite.

Keywords: blacksmith, forging, knife, heat treatment, hardness, wear resistance.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberi rahmat dan hidayah serta anugrah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan lancar. Selawat beriring salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Penulisan tesis dengan judul **“PENGARUH JENIS BAHAN DAN PROSES Pengerasan Terhadap Kekerasan dan Ketahanan Aus PISAU Tempa Manual”** telah selesai dilaksanakan. Tesis ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh untuk menyelesaikan pendidikan guna memperoleh gelar Magister Teknik (M.T) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tahun 2016.

Penulis menyadari selama penyusunan tesis ini telah melibatkan banyak pihak yang sangat membantu. Oleh karena itu, penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.Eng., Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan jajarannya.
2. Bapak Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D, selaku dosen pembimbing yang selalu memberi nasehat, bimbingan dan motivasi.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Wajan Berata, DEA, Bapak Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.Eng., Ph.D dan Bapak Dr. Eng. Sutikno, ST., MT. selaku dosen penguji yang telah memberi saran yang bermanfaat kepada penulis.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Prabowo, M.Eng. selaku Kaprodi Pascasarjana Jurusan Teknik Mesin, FTT-ITS, yang telah memberi arahan dan kemudahan kepada penulis dalam penyelesaian tesis.
5. Pihak Pascasarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan kesempatan penulis dalam mengenyam pendidikan Magister di Teknik Mesin lewat pemberian program beasiswa *Pra S2-S2 Saintek 3T* di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2013.
6. Bapak Dr. Muhammad Ilham Maulana, S.T., M.T. selaku Direktur, Bapak Nuzuli Fitriadi, S.T., M.T. dan Bapak Hardisal, S.T., M.T. selaku Wakil

Direktur Politeknik Aceh Selatan yang telah memberi kesempatan penulis menempuh studi Pascasarjana.

7. Orang tua penulis, Ayahanda Zulkifli dan Ibunda Ramlah yang telah memberikan curahan kasih sayang, dukungan, semangat, motivasi dan do'a kepada penulis.
8. Istri tercinta Linda Isfariani, S.Pd, belahan hatiku Tiara Nadhifa, ayah-ibu (Ismail-Ellida) kakak (Surya Darma, S.Pd, Sriwayuni, S.Pd) dan adik-adikku (Musliadi, S.Pd, Jasmanidar, Amd, Maidarlina, S.E, Ismunandar, S.Pd, Desmis Razli. S.Kom) yang selalu memberi dukungan, semangat dan do'a.
9. Teman-teman Teknik Mesin, khususnya Bidang Rekayasa dan Sistem Manufaktur, Moh. Muzaki, Sufiyanto, Ali Sai'in, Thenny, Benedictus, Firman, M. Anhar Pulungan, Husnul Abid, Jariyanti, Hiding dan Faisal Manta yang telah sama-sama berjuang dalam menuntut ilmu.
10. Teman-teman Teknik Mesin Bidang Rekayasa Konversi Energi, Alfi Tranggono, Agus Choirul Arifin, Indarto, Luthfi, Izhari, Romy Djafar, Sulaiman Ali dan Masrur atas kebersamaannya.
11. Teman-teman Teknik Material dan Metalurgi, Fahriadi Pakaya, Saddam Husen, Mustofa, Yulianti Malik dan Nia Sasria yang selalu memberikan semangat dan dukungan.
12. Seluruh karyawan Jurusan Teknik Mesin yang banyak membantu dalam penyelesaian pengerjaan tesis ini.
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah banyak memberi dorongan dan bantuan dalam menyelesaikan tesis ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan atas keterbatasan pengetahuan dan penelitian sehingga dimungkinkan ada kekeliruan dan kesalahan yang tidak sengaja. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan guna perbaikan dan pengembangan lebih lanjut. Semoga tesis dapat bermanfaat dan memenuhi apa yang diharapkan.

Surabaya, Nopember 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBA	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah dan Asumsi	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
BAB 2. KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 Proses Tempa (<i>Forging</i>)	10
2.3 Pembuatan pisau Damaskus	12
2.3.1 Persiapan bahan pisau Damaskus	12
2.3.2 Penempaan <i>ingot</i> pisau Damsakus	12
2.3.3 Proses pembuatan pisau Damaskus	13
2.3.4 Temperatur Tempa Baja Damaskus	14
2.4 Bahan-Bahan Pisau	14
2.4.1 <i>Spring Steel</i>	18
2.4.2 Baja JIS SKT 4	18
2.4.3 Baja AISI 4340	19
2.4.4 Baja AISI 1050	20
2.5 Perlakuan Panas (<i>Heat treatment</i>)	21
2.5.1 <i>Hardening</i>	25
2.5.2 Pengerasan Permukaan (<i>surface hardening</i>)	27
2.6 Media Pendingin	28
BAB 3. BAHAN DAN METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Bahan	31
3.2 Peralatan	32
3.2.1 Tungku Pemanas	32

3.2.2	Landasan.....	33
3.2.3	Palu Besi.....	33
3.2.4	Pahat Besi.....	34
3.2.5	Termometer Laser.....	34
3.3	Tahapan Penelitian.....	35
3.4	Metoda Pembuatan Pisau Tradisional.....	36
3.4.1	Proses Pemanasan.....	36
3.4.2	Proses Tempa.....	36
3.4.3	Proses Gernda.....	37
3.5	Proses Pengerasan.....	38
3.5.1	Metode Pengerasan Tradisional.....	38
3.5.2	Metode Pengerasan <i>Furnace</i>	38
3.5.3	Metode Pengerasan <i>Flame Hardening</i> manual.....	40
3.6	Pengujian.....	40
3.6.1	Uji Kekerasan.....	40
3.6.2	Uji Keausan.....	42
3.7	Pengamatan Metalografi.....	44
3.8	Rancangan Percobaan.....	45
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Pengujian komposisi kimia.....	47
4.2	Pengujian Kekerasan.....	48
4.2.1	Kekerasan Bahan Pisau Setelah Perlakuan.....	50
4.2.2	Pembahasan kekerasan.....	54
4.3	Pengamatan Stuktur Mikro.....	56
4.3.1	Struktur Mikro Hasil Proses Tempa.....	57
4.3.2	Struktur Mikro Hasil Proses Pengerasan.....	58
4.3.3	Pembahasan Struktur Mikro.....	60
4.4	Pengujian Keausan.....	61
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan.....	67
5.2	Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA.....		69
LAMPIRAN.....		71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bagian-bagian pisau.....	7
Gambar 2.2	Pola permukaan pedang Damaskus.....	8
Gambar 2.3	Grafik tajam pisau pada kekerasan 61 HRC.....	9
Gambar 2.4	Grafik tajam pisau pada kekerasan 41 HRC.....	10
Gambar 2.5	Proses penempaan pisau.....	11
Gambar 2.6	Batas temperatur pengerjaan panas.....	11
Gambar 2.7	<i>Ingot</i> pisau Damaskus.....	13
Gambar 2.8	Pisau Damaskus.....	13
Gambar 2.9	Grafik temperatur tempa pisau Damaskus.....	14
Gambar 2.10	Diagram CCT JIS SUP 9.....	18
Gambar 2.11	Diagram CCT baja AISI.....	19
Gambar 2.12	Diagram CCT untuk baja AISI 4340.....	20
Gambar 2.13	Diagram CCT baja AISI 1050.....	21
Gambar 2.14	Diagram fase Fe-Fe ₃ C.....	22
Gambar 2.15	Ilustrasi proses perlakuan panas.....	24
Gambar 2.16	Grafik CCT diagram baja eutektik.....	25
Gambar 2.17	Grafik pemanasan, <i>quenching</i> dan <i>tempering</i>	26
Gambar 2.18	Skema proses <i>flame hardening</i>	28
Gambar 2.19	Grafik pendinginan cepat menggunakan oli, air, udara dan <i>fluidized bed</i>	29
Gambar 3.1	Skema benda kerja.....	31
Gambar 3.2	Skema dimensi tungku pemanas.....	32
Gambar 3.3	Skema tungku pemanas pande besi tradisional.....	32
Gambar 3.4	Palu tempa.....	33
Gambar 3.5	Pahat pande besi tradisional.....	34
Gambar 3.6	Termometer Infra Merah.....	34
Gambar 3.7	Diagram alir penelitian.....	35
Gambar 3.8	Skema siklus tempa.....	37
Gambar 3.9	Tungku pande besi tradisional.....	38
Gambar 3.10	Tungku elektrik.....	39

Gambar 3.11	Skema grafik pengerasan pisau menggunakan <i>furnace</i>	39
Gambar 3.12	Proses <i>flame hardening</i> manual.....	40
Gambar 3.13	Pisau dipotong melintang.....	41
Gambar 3.14	(a) Spesimen uji kekerasan. (b) Mesin gosok. (c) Mesin uji kekerasan <i>Rockwell</i>	41
Gambar 3.15	Spesimen uji keausan.....	42
Gambar 3.16	Timbangan digital Ohaus Adventurer Pro.....	42
Gambar 3.17	Proses pengujian keausan.....	43
Gambar 3.18	Mikroskop optik.....	44
Gambar 4.1	Pisau hasil Tempa manual.....	48
Gambar 4.2	Grafik nilai rata-rata kekerasan pisau baja AISI 1050 setelah perlakuan.....	51
Gambar 4.3	Grafik nilai rata-rata kekerasan pisau baja AISI 4340 setelah perlakuan.....	52
Gambar 4.4	Grafik nilai rata-rata kekerasan pisau baja AISI L-6 setelah perlakuan.....	53
Gambar 4.5	Grafik nilai rata-rata kekerasan pisau baja JIS SUP 9 setelah perlakuan.....	54
Gambar 4.6	Retak pada sisi tajam pisau. (a) baja AISI 4340. (b) baja AISI L-6...	55
Gambar 4.7	Struktur mikro bahan awal. (a) Baja AISI 1050. (b) Baja AISI 4340. (c) Baja AISI L-6. (d) Baja JIS SUP 9.....	58
Gambar 4.8	Struktur mikro spesimen pisau setelah ditempa. (a) Baja AISI 1050 (b) Baja AISI 4340.....	58
Gambar 4.9	Struktur mikro spesimen pisau setelah ditempa. (a) Baja AISI L-6 (b) Baja JIS SUP 9.....	59
Gambar 4.10	Struktur mikro spesimen pisau setelah HT. (a) baja AISI 1050 (b) baja AISI 4340. (c) baja AISI L-6 (d) baja JIS SUP 9.....	59
Gambar 4.11	Struktur mikro spesimen pisau setelah proses HF. (a) Baja AISI 1050. (b) Baja AISI 4340. (c) Baja AISI L-6. (d) Baja JIS SUP 9....	60
Gambar 4.12	Struktur mikro spesimen pisau setelah FH pebesaran 500 X. (a) Baja AISI 1050. (b) AISI 4340.	60
Gambar 4.13	Struktur mikro spesimen pisau setelah FH pebesaran 500 X. (a) Baja AISI L-6. (b) Baja JIS SUP 9.....	61

Gambar 4.14	Grafik laju keausan spesimen pisau baja AISI 1050 setelah perlakuan.....	63
Gambar 4.15	Grafik laju keausan spesimen pisau baja AISI 4340 setelah perlakuan.....	65
Gambar 4.16	Grafik laju keausan spesimen pisau baja AISI L-6 setelah perlakuan.....	64
Gambar 4.17	Grafik laju keausan spesimen pisau baja JIS SUP 9 setelah perlakuan.....	65

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Persentase karbon dan kegunaannya.....	15
Tabel 2.2	Bahan-bahan pisau.....	17
Tabel 2.3	Bahan-bahan pisau (lanjutan).....	18
Tabel 2.4	Karakteristik dan kemampuan media pendinginan rata-rata <i>quenching</i>	30
Tabel 3.1	Bahan penelitian dan komposisi kimia	31
Tabel 3.2	Temperatur dan waktu pemanasan.....	36
Tabel 3.3	Temperatur tempa dan jumlah penempaan.....	37
Tabel 3.4	Isian rancangan percobaan.....	46
Tabel 4.1	Hasil uji komposisi kimia bahan.....	47
Tabel 4.2	Nilai kekerasan bahan awal	49
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Kekerasan Pisau.....	49
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Kekerasan Pisau (lanjutan).....	50
Tabel 4.5	Data pengujian keausan pada bahan pisau setelah perlakuan....	62

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Alat-alat potong banyak dijumpai pada mesin-mesin pertanian dan pengolahan makanan. Saat ini perkembangan alat-alat potong semakin berkembang dalam pemilihan bahan seperti logam dan non logam. Kualitas alat-alat potong sangat ditentukan oleh bahan dan proses pembuatan yang digunakan. Secara umum alat potong memiliki sifat tajam pada satu sisi, keras dan tangguh pada bagian tengah (*core*). Pada prinsipnya alat-alat potong memiliki fungsi yang sama dengan pisau. Proses pembuatan pisau berbahan logam dilakukan dengan cara ditempa (*forging*).

Penempaan merupakan proses pembentukan logam untuk meningkatkan kekuatan material dan mengurangi proses pemesinan lanjut. Proses penempaan menjadi alternatif yang mengarah pada konsep teknologi ramah lingkungan. Secara umum proses penempaan dapat dilakukan dengan dua cara yaitu *upset forging* dan *open forging*. Proses *open forging* bisa dilakukan secara manual dalam kondisi panas (*hot working*). Proses *open forging* manual ini sering digunakan oleh pande besi tradisional dalam pembuatan pisau.

Pisau-pisau di Indonesia diproduksi oleh pande besi tradisional dengan pengetahuan metalurgi yang terbatas, sehingga pisau-pisau yang dihasilkan berkualitas rendah dan tidak dapat bersaing dengan pisau-pisau impor. Secara teori kualitas pisau-pisau produksi pande besi tradisional dapat ditingkatkan dengan cara pemilihan bahan, proses penempaan, perlakuan panas serta *finishing* yang tepat. Pande besi tradisional dalam proses pembuatan pisau masih menggunakan baja-baja bekas seperti pegas mobil (*spring steel*).

Spring steel termasuk salah satu baja JIS SUP 9 yang memiliki unsur-unsur carbon (C), mangan (Mn), fosfor (P), silisium (Si), chromium (Cr), tembaga (Cu), nikel (Ni), molibdemum (Mo), dan florin (F). Kekerasan baja *spring steel* berkisar antara 39-43 HRC. *Spring steel* sering digunakan sebagai bahan pisau, parang, arit dan alat-alat potong lainnya.

Baja AISI L-6 merupakan baja *tool steel* yang memiliki sifat kekutan dan ketangguhan yang baik, tahan aus, dan tahan korosi. Selain itu baja SKT4 juga memiliki sifat *hardenability* yang baik. Unsur-unsur paduan yang terkandung dalam baja SKT4 adalah C, Ni, Mn, Si, Mo dan V. Baja SKT4 memiliki kekerasan seragam berkisar antara 49-51 HRC. Baja SKT4 sering digunakan untuk *hammer hot forging die*, *hot press tool* dan *Band-saw blade*.

Baja AISI 4340 merupakan baja paduan rendah Ni, Cr, dan Mo dengan nilai kekerasan 38-41 HRC. Baja AISI 4340 memiliki sifat ketangguhan, tahan aus, dan tingkat kekuatan lelah yang sangat baik. Baja AISI 4340 sering digunakan untuk komponen mesin yang menggunakan proses tempa. Unsur-unsur paduan yang terkandung dalam baja AISI 4340 adalah C, Si, Mn, Cr, Mo, Ni.

Baja AISI 1050 merupakan baja *hypo-eutectoid* yang mudah didapat dipasaran dan harga murah. Baja AISI 1050 sering digunakan untuk *mould base*, kontruksi mesin seperti roda gigi. Baja AISI 1050 memiliki sifat tahan aus, mudah untuk dikeraskan dan ditempa. Unsur-unsur paduan baja AISI 1050 adalah C, Si, dan Mn dengan nilai berkisar antara 27-28 HRC.

Pande besi kawisanyar di Gresik Jawa Timur, proses pembuatan pisau masih dilakukan secara manual, bahan yang digunakan adalah baja-baja bekas seperti pegas mobil, *Band-saw blade* bekas. Bahan pisau dipanaskan mencapai suhu rekristalisasi kemudian ditempa berulang-ulang. Perlakuan termomekanik dilakukan beberapa kali untuk membentuk sebuah pisau. Pisau Pande besi kawisanyar dilakukan pengujian kekerasan dan pengamatan metalografi di Laboratorium Metalurgi Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh November (ITS). Hasil pengujian menggunakan alat uji *Rockwell* skala C menunjukkan 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*). Pengamatan metalografi menggunakan mikroskop optik menunjukkan butiran-butiran pearlit dan bainit di sepanjang permukaan pisau. Fenomena yang terjadi pada pisau produksi pande besi kawisanyar sangat berbeda dengan fenomena yang terjadi pada permukaan pisau yang dibuat oleh pande besi di Timur Tengah pada abad 17 (tujuh belas). Karakteristik permukaan pisau pande besi Timur Tengah menunjukkan *lamellar*

ferit dan cementit berbentuk pola yang bergelombang atau sering disebut pola damask. Hal ini dipengaruhi oleh proses tempa dan unsur-unsur pengotor seperti V, Mn, S, Si, P dalam bahan pisau (Verhoeven, 2001).

Peneliti terdahulu telah melakukan penelitian tentang beberapa bahan pedang/pisau damaskus. Unsur-unsur baja damaskus menunjukkan bahwa terdapat 1,60% C; 0,56% Mn, 0,17%P, 0,02% S, 0,048% Si, 0,012%Ni, 0,048% Cu, 0,01% V dan 0,002% Ti (Fatollahi, 2011). Baja damaskus termasuk dalam baja karbon tinggi (*ultra-high carbon* (UHC)). Komposisi kimia termasuk *hyper-eutectoid* terdiri dari pearlit (*lamellar cementite* dan *ferrite*). Pada permukaan pisau lembaran-lembaran cementit tidak tersusun secara paralel melainkan bergelombang, hal ini dipengaruhi oleh proses penempaan yang tidak terdeformasi secara seragam melainkan berbentuk pola damask. Selain itu unsur-unsur seperti V dan Cr juga berpengaruh dalam pembentukan pola damask.

Penelitian tentang pengaruh unsur-unsur pengotor pada *ingot* dengan respon pembentukan pola damask dilakukan dengan bervariasi kadar V, Mo, Cr, Mn dan Niobium (Nb) (Verhoeven, 2001). Penelitian ini menggunakan metode penempaan manual oleh pande besi profesional. Bahan yang digunakan pada percobaan ini adalah logam sorel berbentuk *ingot* yang memiliki unsur paduan berkisar antara 3,9-4,7% C dan 0,003-0,014% V. Pengujian menggunakan *Electron probe microanalysis* (EPMA). Penambahan 0,003% unsur V dan unsur Mo, Mn, Nb dalam persentase sedikit mengakibatkan terjadi *band* karbida pada *ingot*. Penambahan unsur-unsur V, Mo, Mn, dan Nb kurang dari 0.02%, menunjukkan terjadi *microsegregated* pada *interdendit* yang lebih terkonsentrasi.

Penelitian mengenai tingkat tajam pisau pada baja AISI 1086, baja AISI 52100, baja Damaskus dan baja AEB-L telah dilakukan dengan memvariasikan kekerasan pada mata pisau (Verhoeven dkk., 2008). Penelitian ini menggunakan mesin potong kertas otomatis untuk mengukur ketajaman pada masing-masing pisau, dalam penelitian ini divariasikan kekerasan pisau dengan perlakuan meliputi *forging*, *quenching* dan *tempering*. Hasil percobaan menunjukkan baja AISI 52100 dengan kekerasan 61 HRC memiliki ketajaman lebih baik dari baja AISI 1086, secara umum baja AISI 52100 dan baja AISI 1086 lebih baik dari baja

Damaskus. Namun pada nilai kekerasan 41 HRC dengan matrik perlit halus atau hasil *quenching* dan *tempering* baja damaskus memiliki sisi tajam sedikit lebih baik dari baja AISI 52100, baja AISI 1086 dan baja AEB-L.

Berdasarkan hal-hal yang telah dijelaskan, penelitian tentang bahan pisau perlu dilakukan untuk mengamati fenomena yang meliputi kekerasan, keausan dan struktur mikro. Bahan yang digunakan pada penelitian adalah baja AISI 1050, AISI 4340, AISI L-6 dan JIS SUP 9. Pembuatan pisau dilakukan dengan proses tempa secara manual dan dilanjutkan dengan proses pengerasan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh baja AISI 1050, baja AISI 4340, baja AISI L-6, baja JIS SUP 9 dan proses pengerasan terhadap kekerasan pisau tempa manual.
2. Bagaimana pengaruh baja AISI 1050, baja AISI 4340, baja AISI L-6, baja JIS SUP 9 dan proses pengerasan terhadap ketahanan aus pisau tempa manual.
3. Bagaimana struktur mikro pisau baja AISI 1050, baja AISI 4340, baja AISI L-6, dan baja JIS SUP 9 setelah proses pengerasan.

1.3 Batasan Masalah dan Asumsi

Batasan masalah yang diberlakukan agar penelitian dapat berjalan secara fokus dan terarah, serta dapat mencapai tujuan yang diinginkan adalah sebagai berikut:

1. Penempaan dilakukan pada baja AISI 1040, baja AISI 4340, baja AISI L-6, baja JIS SUP 9 dengan dimensi 70 x 30 x 10 mm dan baja AISI 4340 diameter 20 mm dengan panjang 67 mm.
2. Temperatur awal penempaan dibuat konstan berkisar antara 950-1000°C.
3. Temperatur akhir penempaan dibuat konstan berkisar antara 650-670°C.
4. Temperatur pengerasan dibuat konstan yaitu temperatur austenisasi (850°C)
5. Penempaan dilakukan secara manual pada pende besi tradisional.
6. Semua perlakuan penempaan dilakukan oleh operator yang sama.
7. 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

Tujuan dari penelitian ini berdasarkan pada rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh, baja AISI 1050, baja AISI 4340, baja AISI L-6, baja JIS SUP 9 dan proses pengerasan terhadap kekerasan pisau tempa manual.
2. Mengetahui pengaruh baja AISI 1050, baja AISI 4340, baja AISI L-6, baja JIS SUP 9 dan proses pengerasan terhadap ketahanan aus pisau tempa manual.
3. Mengetahui stuktur mikro pisau baja AISI 1050, baja AISI 4340, baja AISI L-6 dan baja JIS SUP 9 setelah proses pengerasan.

1.5 Manfaat penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai bahan referensi bagi penelitian sejenisnya.
2. Meningkatkan pengetahuan tentang penempaan dan perlakuan panas dalam proses pembuatan pisau menggunakan baja AISI 1040, baja AISI 4340, baja AISI L-6, baja JIS SUP 9

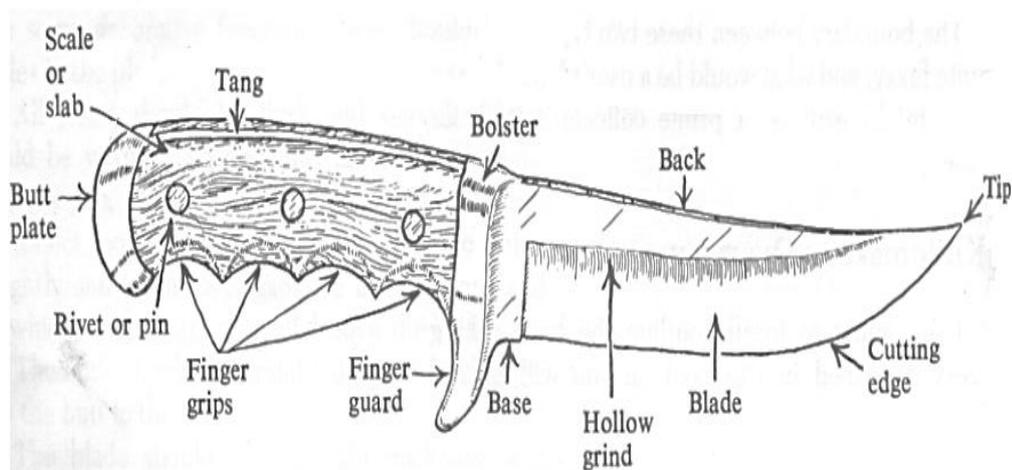
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu.

Pisau merupakan salah satu alat yang digunakan untuk memotong sejumlah benda-benda dalam kehidupan sehari-hari. Pada umumnya pisau terdiri dari dua bagian utama, yaitu bagian bilah dan gagang pisau. Bilah pisau terbuat dari logam dan bagian pinggirnya berbentuk pipih dan tajam (*cutting edge*) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Bilah pisau memiliki sifat kekerasan, tahan aus, tahan korosi, tahan terhadap benturan dan tajam. Sifat-sifat pisau ini dipengaruhi oleh unsur-unsur yang terkandung dalam bahan dan proses pembuatan yang digunakan.



Gambar 2.1 Bagian-bagian pisau (Boyo,1977).

Komunitas *knife making* mengenal dua metode pembuatan pisau/pedang yang berkualitas yaitu metode Jepang dan Damsakus. Kedua metode ini berbeda secara teknis, dimana metode Jepang menggunakan lapisan-lapisan logam dalam penempaan yang disebut *pattern welding* (Yoso dkk., 2013; Özkan dkk.,2014). Sedangkan metode Damaskus mengandalkan komposisi kimia dari bahan.

Peneliti terdahulu telah melakukan penelitian tentang beberapa bahan pisau Damaskus. Unsur-unsur baja Damaskus menunjukkan bahwa terdapat 1,60% C; 0,56% Mn, 0,17%P, 0,02% S, 0,048% Si, 0,012%Ni, 0,048% Cu, 0,01% V dan

0,002% Ti (Fatollahi, 2011). Baja Damaskus termasuk dalam baja karbon tinggi (*ultra high carbon* (UHC)). Komposisi kimia termasuk *hyper-eutectoid* terdiri dari pearlit (*lamellar cementite* dan *ferrite*) dan butiran-butiran cementit yang bervariasi berkisar antara 2-20 μm dengan ketebalan berkisar antara 12-30 μm (Peterson, dkk., 1990). Gambar 2.2 berikut menunjukkan pola pada permukaan pedang Damaskus asli.



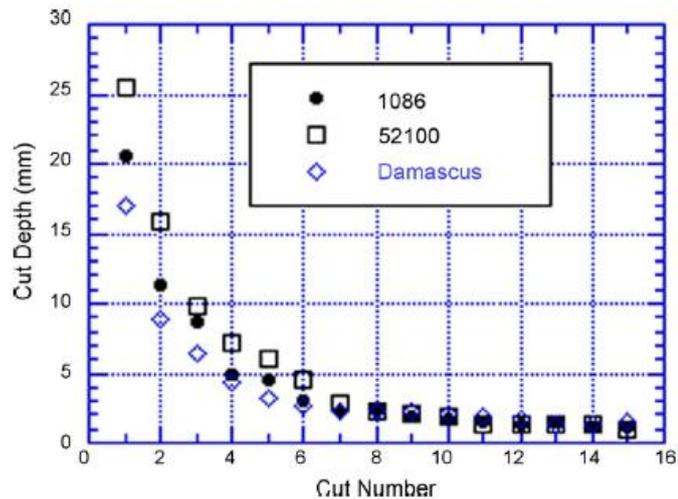
Gambar 2.2 Pola permukaan pedang Damaskus (Peterson, dkk.,1990).

Lembaran-lembaran cementit pada permukaan pedang tidak tersusun secara paralel melainkan bergelombang, hal ini dipengaruhi oleh proses penempaan yang tidak terdeformasi secara seragam, partikel-partikel cementit bertindak sebagai hambatan dislokasi dan meningkatkan kekuatan. Temperatur tempa pada baja UHC sangat terbatas berkisar 700-1000°C, hal ini untuk menjaga partikel cementit pada permukaan logam membentuk pola damask, selain itu unsur-unsur seperti V dan Cr juga berpengaruh dalam pembentukan pola damask.

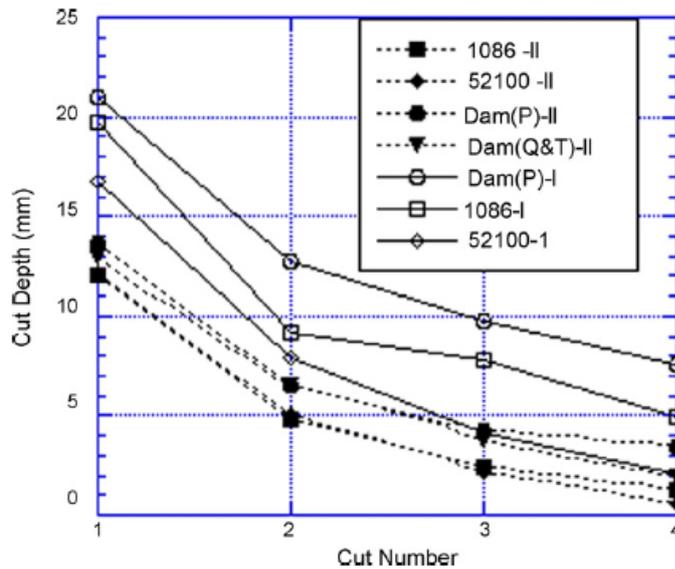
Penelitian tentang pengaruh unsur-unsur pengotor pada *ingot* dalam pembentukan pola damask telah dilakukan oleh (Verhoeven, 2001). Penelitian ini menggunakan *forging* manual oleh pande besi profesional. Bahan yang digunakan pada percobaan ini adalah logam Sorel sebagai *ingot* dengan kandungan karbon 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%.

Penelitian mengenai ketajaman pada baja AISI 1086, baja AISI 52100 (ISO 638-17), baja Damaskus dan baja AEB-L telah dilakukan dengan memvariasikan kekerasan pada mata pisau (Verhoeven dkk., 2008). Baja AISI 52100 memiliki komposisi 1,04% C, 0,30% Mn, 0,02% P, 0,021% S, 0,24% Si, 0,05% Ni, 1,35% Cr, 0,02% Mo, 0,16% Cu, 0,017% Al, 0,004% V, 0,004% Ti dan Nb kurang dari 0,001% dengan temperatur austenisasi 790°C. Penelitian ini menggunakan mesin potong kertas otomatis untuk mengukur tajam pisau pada masing-masing pisau, dalam penelitian ini divariasikan kekerasan pisau dengan perlakuan *forging*, *quenching* dan *tempering*. Gambar 2.3 dan 2.4 menunjukkan grafik hasil penelitian tingkat tajam pisau pada kekerasan 61 dan 41 HRC.



Gambar 2.3 Grafik tajam pisau pada kekerasan 61 HRC (Verhoeven, dkk., 2008).



Gambar 2.4 Grafik tajam pisau pada kekerasan 41 HRC (Verhoeven dkk., 2008).

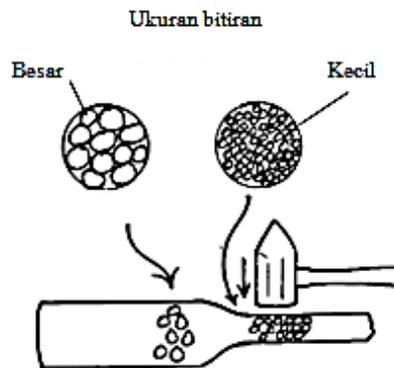
Hasil percobaan menunjukkan pisau baja AISI 52100 dengan kekerasan 61 HRC memiliki tajam pisau lebih baik dari pisau baja AISI 1086 seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3, secara umum pisau baja AISI 52100 dan pisau baja AISI 1086 lebih tajam dari pisau baja Damaskus. Gambar 2.4 menunjukkan tajam pisau pada kekerasan 41 HRC, pisau Damaskus dengan matrik pearlit halus atau hasil *quenching* memiliki sedikit lebih tajam dari pisau baja AISI 52100, pisau baja AISI 1086 dan pisau baja AEB-L.

2.2 Proses Tempa (*Forging*).

Forging merupakan proses pembentukan logam yang dilakukan dengan mendeformasi plastis suatu bahan. Pada umumnya penempaan dilakukan dengan memberikan beban yang berulang-ulang. Penempaan bisa dilakukan secara manual atau menggunakan mesin otomatis untuk mendapatkan bentuk yang diharapkan. Bahan yang telah ditempa mengalami perubahan bentuk dari batang (*billet*) menjadi lempengan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5. Selain itu proses penempaan dapat menghaluskan struktur butir dan mengurangi proses pemesinan.

Ukuran butir dalam proses penempaan dipengaruhi oleh temperatur, komposisi dan proses mekanik (Schroen, 1984). Ukuran butir membesar seiring dengan meningkatnya temperatur penempaan. Bahan hasil proses tempa memiliki

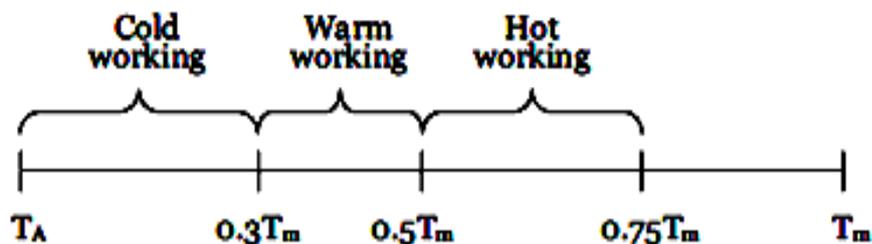
bentuk butir halus searah dengan penempaa. Butir halus searah dengan penempaan dapat meningkatkan kekuatan dan kualitas ketajaman pisau.



Gambar 2.5 Proses penempaan pisau (Schroen, 1984).

Pengerjaan panas meliputi proses deformasi yang dilakukan pada temperatur diatas $0,6 T_m$ dengan laju regangan tertentu. Perubahan struktur selama pengerjaan panas meningkatkan keuletan dan ketangguhan. Namun terdapat beberapa kekurangan karena pengerjaan panas dengan temperatur tinggi mengakibatkan terjadi reaksi permukaan logam dengan udara sekitar (Schey, 2000).

Pengerjaan panas pada logam 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 mengotrol temperatur pengerjaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Batas temperatur pengerjaan panas (Schey, 2000).

Proses pengerjaan panas dilakukan secara bertahap. Umumnya temperatur pengerjaan tahap pertama berada di atas batas bawah temeptratur pengerjaan panas. Hal ini dilakukan untuk memanfaatkan tengangan alir yang lebih rendah

dan ada kemungkinan terjadi pertumbuhan butir setelah proses rekristalisasi sehingga menghasilkan produk berbutir halus pada saat terakhir temperatur kerja diturunkan dan pertumbuhan butir pada saat pendinginan dapat dihindari. Temperatur akhir pengerjaan sedikit diatas temperatur derajat deformasi (Dieter, 1981).

2.3 Pembuatan Pisau Damaskus.

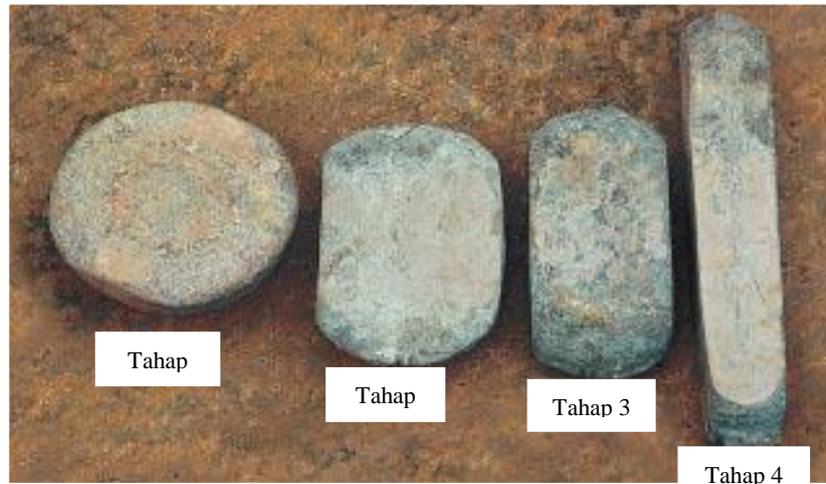
Pembuatan pisau Damaskus hampir sama dengan pembuatan pisau pada umumnya. Namun bahan pisau yang digunakan berbeda (Verhoeven, 2001). Ada beberapa tahap dalam proses pembuatan pisau damaskus adalah sebagai berikut:

2.3.1 Persiapan Bahan Pisau Damaskus.

Bahan pisau dileburkan dalam tungku dengan 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 membentuk pola damaks.

2.3.2 Penempaan *Ingot* Pisau Damsakus.

Ingot dipanaskan 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 2.7 menunjukkan bentuk *ingot* bahan pisau damaskus.



Gambar 2.7 *Ingot* pisau Damaskus (Verhoeven, 2001).

2.3.3 Proses Pembuatan Pisau Damaskus.

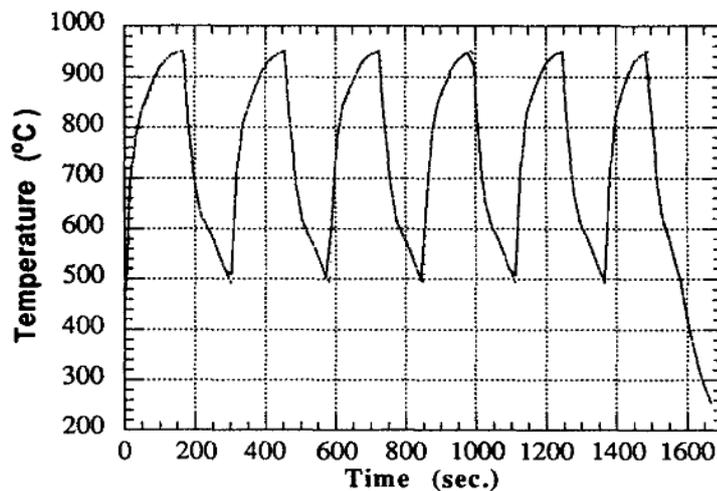
Pisau damaskus dibuat dengan proses tempa secara manual oleh pande besi profesional. *Ingot* pisau dipanaskan dengan tungku propana bahan bakar gas mencapai temperatur membentuk campuran partikel cementit dan austenite. kemudian dilakukan proses penempaan dengan menggunakan palu dan anvil sebagai landasan. Penempaan dilakukan samapai penurunan suhu 50°C dibawah suhu rekristalisasi, kemudian *Ingot* pisau dipanaskan dan ditempa lagi dengan temperatur yang sama. Untuk pembuat pisau, siklus tempa tergantung dari dimensi bahan. Setelah proses penempaan dilanjutkan dengan proses *grinding* menggunakan mesin gerinda sabuk untuk meratakan permukaan dan pembentukan sisi tajam kemudian dilanjutkan dengan etsa permukaan pisau untuk mendapatkan pola damaks (Verhoeven dkk.,1992). Permukaan pisau Damaskus seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Pisau Damaskus (Verhoeven, 2001).

Pola damask dapat dihasilkan dengan dua cara adalah sebagai berikut:

1. Wootz dipanaskan pada temperatur tinggi membentuk butiran austenit yang besar dan dilakukan proses pendinginan lambat untuk menghasilkan presipitasi cementit sepanjang batas butir austenit yang terbentuk selama proses pemanasan (Peterson dkk., 1990).
2. Wootz ditempa pada temperatur berkisar antara 500°C sampai 950°C, sehingga menyebabkan batas butir sementit *spheroidize* terpisah sebagai lapisan partikel sementit kasar yang menghasilkan pola damask. Gambar 2.9 menunjukkan grafik temperatur tempa dalam poses pembuatan pisau Damaskus. Bahan pisau ditempa selama 3-10 menit setiap siklus.



Gambar 2.9 Grafik temperatur tempa pisau Damaskus (Verhoeven, dkk., 1996).

2.4 Bahan-Bahan Pisau.

Faktor yang sangat penting dalam proses pembuatan pisau adalah menentukan bahan yang tepat. *Bladesmiths* kesulitan dalam menentukan baja yang berkualitas untuk dijadikan sebagai bahan pisau. Sebagian besar para pande besi sering menggunakan baja-baja bekas. Pada saat ini dengan adanya teknologi canggih, banyak baja-baja yang tersedia dipasaran mulai baja yang sederhana sampai baja yang berteknologi tinggi. Namun bagaimana para pande besi memilih baja yang sesuai untuk bahan pisau. baja yang ideal untuk pisau yang memiliki karakteristik seperti tangguh, tahan haus, mudah dipertajam, tahan korosi

dan tahan benturan. Sifat-sifat pisau sangat dipengaruhi oleh unsur-unsur yang terkandung dalam material. Unsur-unsur yang terkandung dalam logam pada umumnya adalah sebagai berikut (Hrisoulas, 1991):

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)

Tabel 2.1 berikut menunjukkan persentase karbon dalam baja beserta dengan aplikasinya adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Persentase karbon dan kegunaannya.

Karbon (%)	Kegunaan
0,05 - 0,10	Paku, kawat, baja lunak
0,1 - 0,20	Baja umum, baja lunak.
0,20 - 0,30	Sekrup, beberapa bagian mesin, baja lunak
0,30 - 0,40	<i>Parts</i> mesin.
0,40 - 0,50	Gears, poros roda, direkomendasi untuk <i>part-part</i> dikeraskan dan tidak tepat untuk bahan pisau.
0,50 - 0,60	Linggis, palu, memiliki kekerasan yang sangat baik setelah perlakuan panas dan direkomendasikan untuk bahan pisau yang tangguh dan fleksibel.
0,60 - 0,70	Pedang, kapak, parang, pisau
0,60 - 0,70	Pedang, kapak, parang, pisau

Sumber: Hrisoulas, 1991.

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.

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 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 meingkatkan 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 impek. Tabel 2.2 berikut menunjukkan bahan-bahan yang sering digunakan untuk pisau (Wadsworth, dkk., 2000).

Tabel 2.2 Bahan-bahan pisau.

Bahan-Bahan Pisau		
1050	52100	AEB-L
1060		Elmax
1080	ATS -34	Sandvik 12C27
1084	CV-134	Sandvik 12C26
1085	154-CM	Sandvik 15N20
1086	CPM	Shokeedo
1090		Sivanite, F8
1095	BG-42	Sping steel
	416	Stainless steel
4140	420	PM tool
4150	440A	Stellite 6K
4340	440B	Vascowear
5160	440C	Wootz
	440V	Fi les

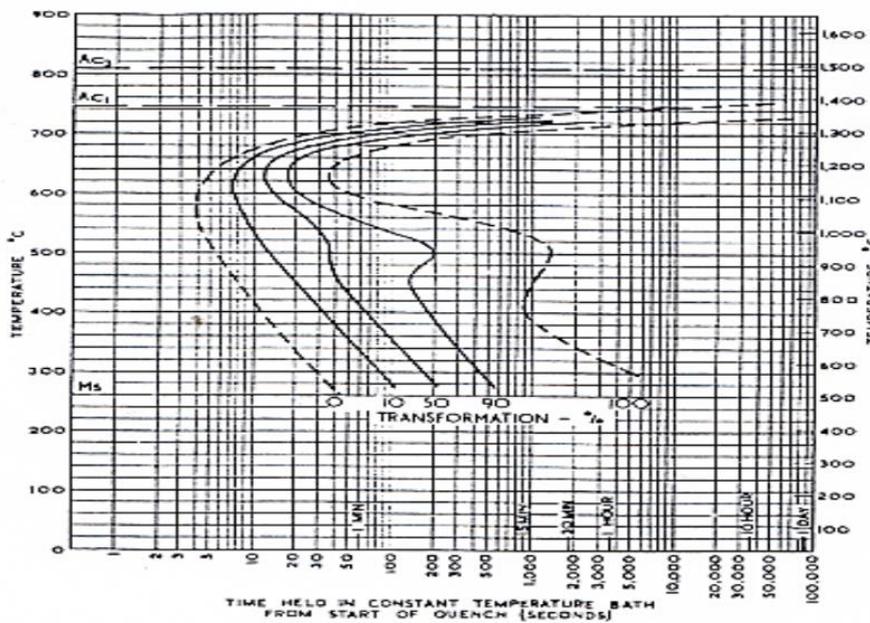
Tabel 2.3 Bahan-bahan pisau (lanjutan)

Bahan-Bahan Pisau		
A1, A2, A6 D2, D7 L6 M2, M4	CPM-T-440V	Rasps
O1, O2, O6, O7 S5, S7 W1, W2		Metaorite iron Damascus steel

Sumber: Wadsworth, dkk., 2000.

2.4.1 Baja JIS SUP 9.

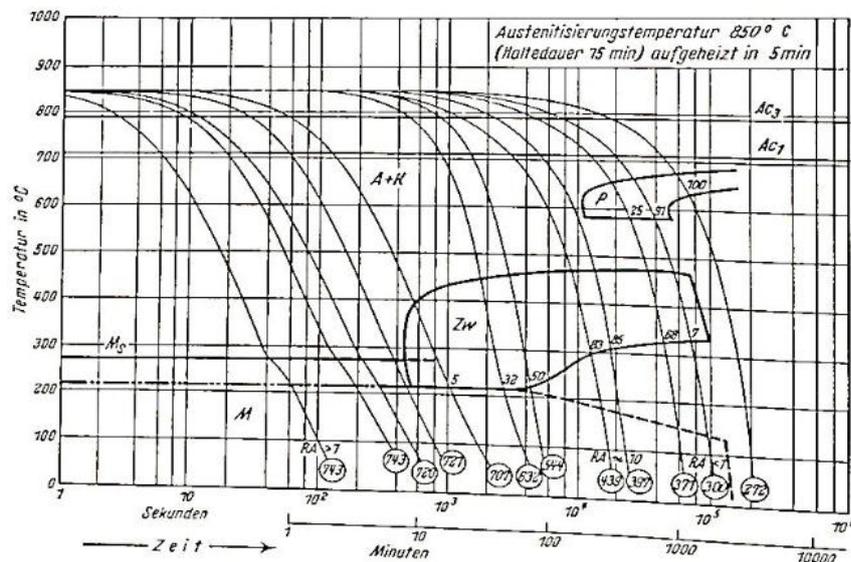
Spring steel sering digunakan pande besi tradisional untuk membuat pisau. *Spring steel* termasuk salah satu baja SUP 9 yang memiliki komposisi kimia 0,62% C, 0,84% Mn, 0,01% P, 0,27% Si, 0,80% Cr, 0,05% Cu, nikel (Ni) 0,03%, 0,01% Mo, 0,85% F. Kekerasan baja JIS SUP 9 berkisar antara 39-43 HRC, temperatur tempa pada baja JIS SUP 9 berkisar antara 400-800°C dengan temperatur pengerasan permukaan 850°C. Media pendingin pada baja JIS SUP 9 adalah air dan oli. Diagram *Continuous cooling trasformasi* (CCT) ditunjukkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Diagram CCT JIS SUP 9 (Voort, 1991).

2.4.2 Baja AISI L-6.

Baja AISI L-6 merupakan baja *tool steel* yang memiliki kekuatan, tahan korosi dan ketangguhan yang baik dengan kekerasan seragam. Komposisi kimia baja SKT 4 adalah 0,55% C, 1,70% Ni, 0,75% Mn, 0,25% Si, 0,50% Mo dan 0,10% V dengan nilai berkisar antara 49-51 HRC. Temperatur tempa baja SKT 4 berkisar antara 650°C sampai 1050°C. temperatur pengerasan pada Baja SKT4 berkisar antara 840°C sampai 890°C dengan menggunakan media pendingin air dan oli. Gambar 2.11 menunjukkan garfik pendinginan (diagram *Continuous cooling trasformasi* (CCT)) pada baja AISI L-6. Baja AISI L-6 memiliki struktur matensit, bainit dan pearlit setelah melakukan perlakuan panas.

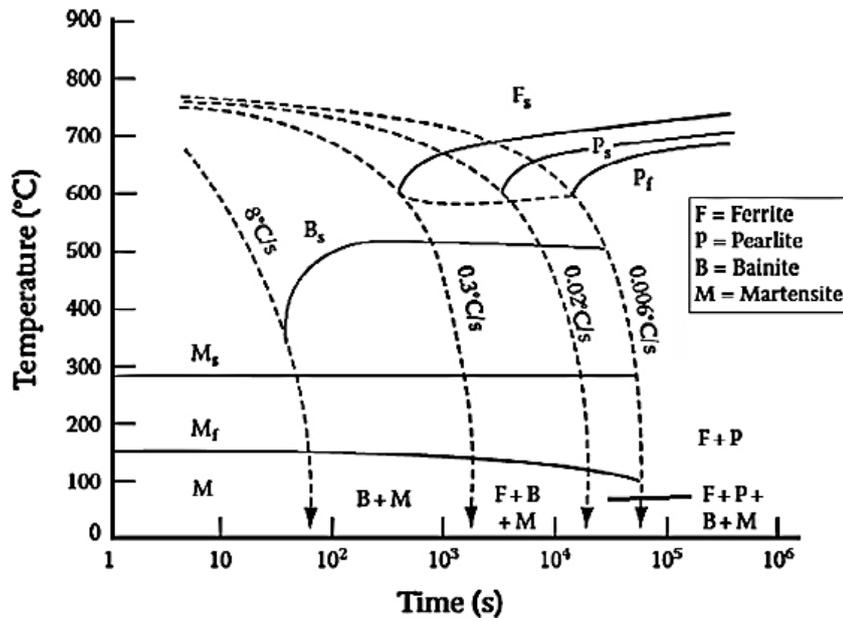


Gambar 2.11 Diagram CCT baja AISI L-6 (Voort, 1991).

2.4.3 Baja AISI 4340.

Baja AISI 4340 merupakan baja paduan rendah Nikel, Kromium, dan Molibdenum dengan nilai kekerasan berkisar antara 38-41 HRC. Baja AISI 4340 memiliki sifat ketangguhan, tahan aus, dan tingkat kekuatan luluh yang sangat baik. Baja AISI 4340 sering digunakan untuk komponen mesin yang menggunakan proses tempa. Unsur-unsur yang terkandung dalam baja AISI 4340 adalah 0,38% C, 0,30% Si, 0,65% Mn, 1,50% Cr, 0,25% Mo dan 1,60% Ni. Temperatur tempa baja AISI 4340 hampir sama dengan temperatur tempa baja

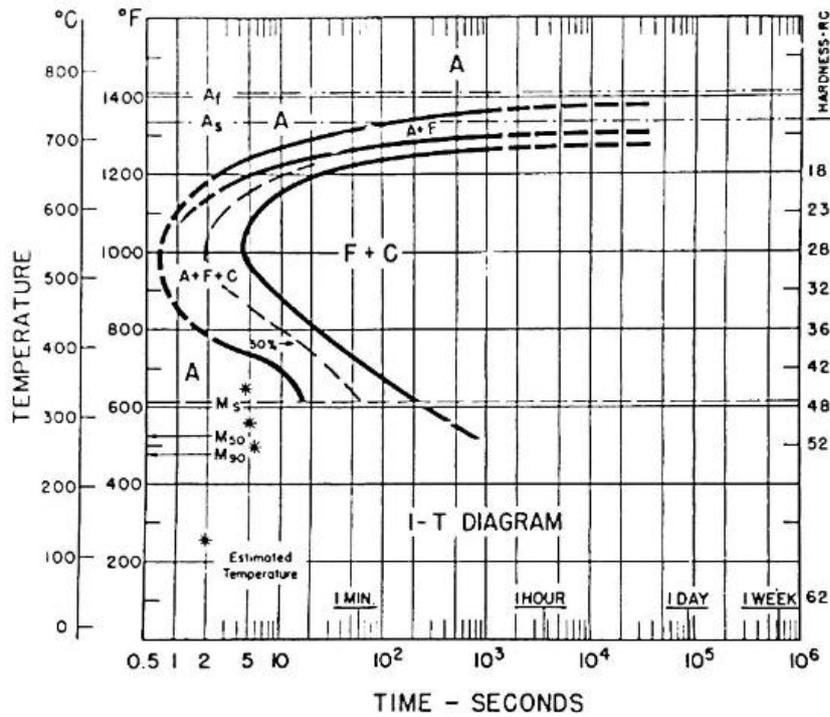
AISI L6 berkisar antara 1050-850°C dan temperatur pengerasan berkisar antara 820-860°C. Setelah melakukan perlakuan panas, baja AISI 4340 memiliki struktur martensit, bainit, ferit dan pearlit. Gambar 2.12 menunjukkan diagram CCT pada baja AISI 4340 adalah sebagai berikut:



Gambar 2.12 Diagram CCT untuk baja AISI 4340 (Penha, dkk., 2015).

2.4.4 Baja AISI 1050.

Baja AISI 1050 merupakan baja *hypo-eutectoid* yang mudah didapat dipasaran dan harga murah. Baja AISI 1050 sering digunakan untuk kontruksi mesin seperti roda gigi. Komposisi kimia baja AISI 1050 adalah 0,50 % C, 0,30% Si, 0,70% Mn, 0,04 % S, dan 0,035 % P. Kekerasan baja AISI 1050 berkisar antara 27-28 HRC. Baja AISI 1045 memiliki sifat tahan aus, mudah untuk dikeraskan dan ditempa. Pengerasan permukaan dapat dilakukan dengan pemanasan cepat mencapai suhu 820°C kemudian didinginkan dengan media pendingin air atau oli. Kekerasan permukaan baja AISI 1050 mencapai 61 HRC setelah perlakuan panas. Gambar 2.13 berikut menunjukkan grafik CCT untuk baja ASISI 1050.

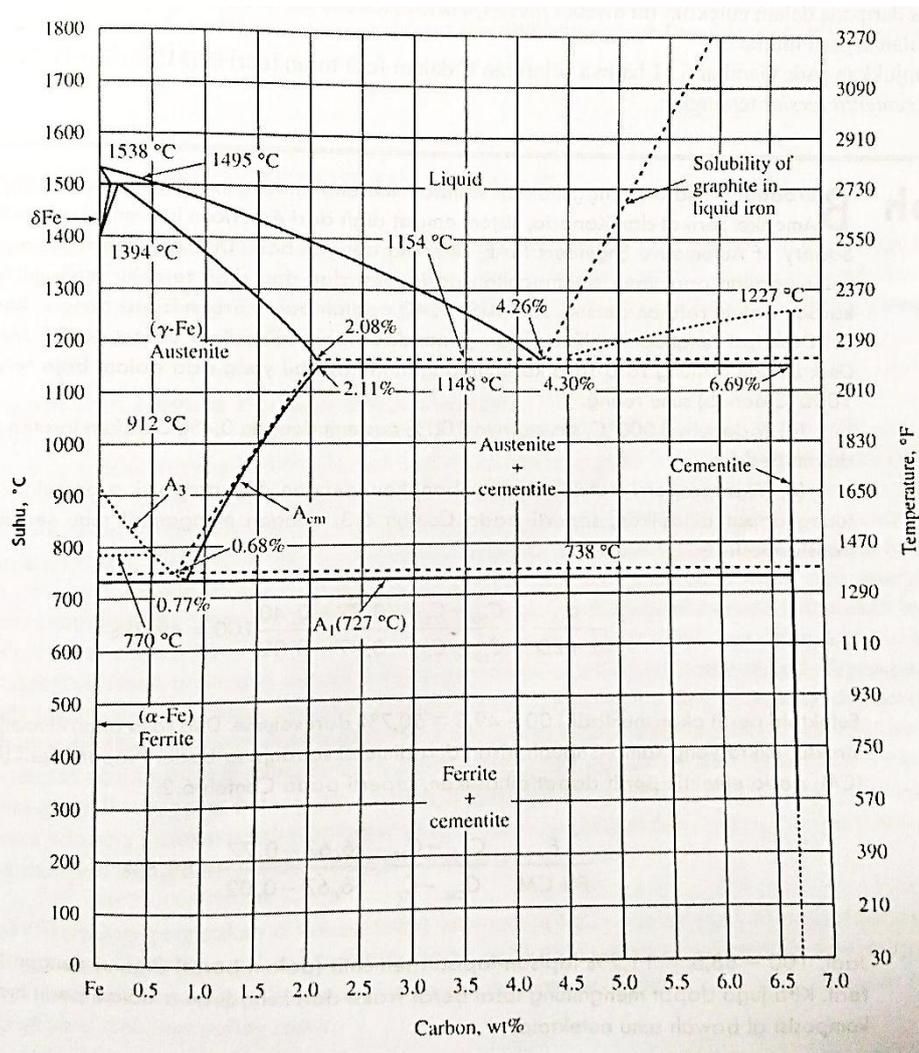


Gambar 2.13 Diagram CCT baja AISI 1050 (ASM, Vol. 9).

2.5 Perlakuan Panas (*Heat treatment*).

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

Faktor-faktor yang mempengaruhi perlakuan panas adalah temperatur pemanasan, waktu yang diperlukan, laju pendinginan. Diagram fase besi-karbon seperti pada Gambar 2.14 menunjukkan hubungan antara temperatur dan fase yang terbentuk dan batas antara daerah fase adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 14 Diagram fase Fe-Fe₃C (Schey, 2000).

Gambar 2.14 diagram fase Fe-Fe₃C menunjukkan hubungan temperatur dan paduan dalam selama perubahan fase. 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 adalah karbida besi (Fe₃C), merupakan senyawa interstisial mengandung 6,67% C, memiliki sifat sangat keras, getas, kekuatan tarik rendah. Cementit memiliki struktur kirstal orthorhombik.
2. Austenit merupakan larutan padat karbon dalam besi (γ), memiliki sifat ketangguhan tinggi biasanya tidak stabil pada temperatur kamar

3. Ledeburit merupakan campuran eutektik dari austenit dan cementit mengandung 4.3% C yang terbentuk pada temperatur 1130°C.
4. 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 kekutan rendah, namun keuletan tinggi.
5. 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*) A_1 , temperatur eutektoid. Tampak pada diagram Fe-Fe₃C berupa garis mendatar pada temperatur 723°C. Pada temperatur ini terjadi reaksi eutektoid.



7. Temperatur kritis atas (*upper critical temperature*) A_3 , temperatur awal terjadi perubahan allotropi dari γ ke α pada pendinginan atau akhir perubahan α ke γ pada pemanasan.
8. Garis A_{cm} 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.

Perlakuan panas yang baik membutuhkan kontrol yang tepat terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi pemanasan dan pendinginan dari logam. Parameter kontrol yang perlu diperhatikan seperti dimensi dan jenis tungku yang tepat dan dapat dikendalikan, sehingga temperatur terkontrol selama operasi. Selain dimensi tungku, atmosfer tungku juga mempengaruhi dalam proses pemanasan logam, seperti bahan bakar yang digunakan. Tahap-tahap proses perlakuan panas adalah sebagai berikut:

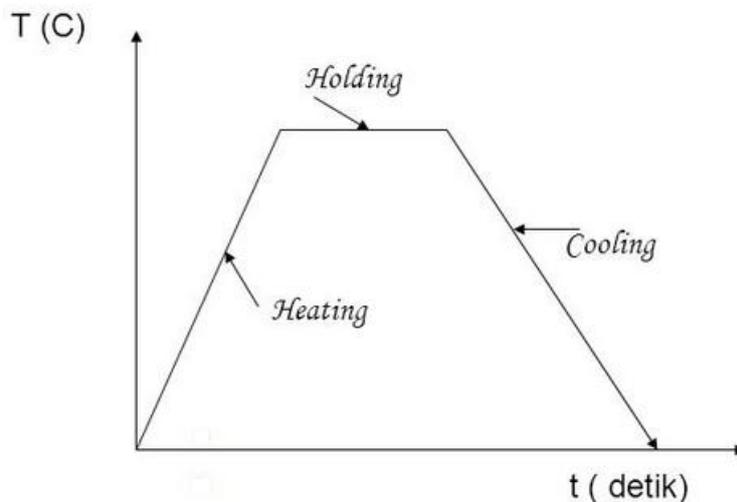
a. Tahap 1 Pemanasan (*Heating*).

Tujuan utama pemanasan untuk mempertahankan temperatur seragam logam. Apa bila pemanasan tidak merata pada suatu logam mengakibatkan distorsi atau retak. Temperatur seragam tercapai dengan pemanasan lambat.

Salah satu faktor penting dalam pemanasan adalah konduktivitas panas dari logam. Logam dengan konduktivitas panas tinggi membutuhkan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan logam konduktivitas rendah. Selain itu dimensi logam juga mempengaruhi waktu pemanasan.

b. Tahap 2 Waktu Tahan (*holding time*).

Setelah logam dipanaskan dengan temperatur yang tepat kemudian ditahan sampai perubahan struktur internal yang diinginkan. Waktu penahanan tergantung dari komposisi kimia logam dan massa logam. Gambar 2.15 berikut menunjukan ilustrasi waktu tahan dalam proses perlakuan panas.

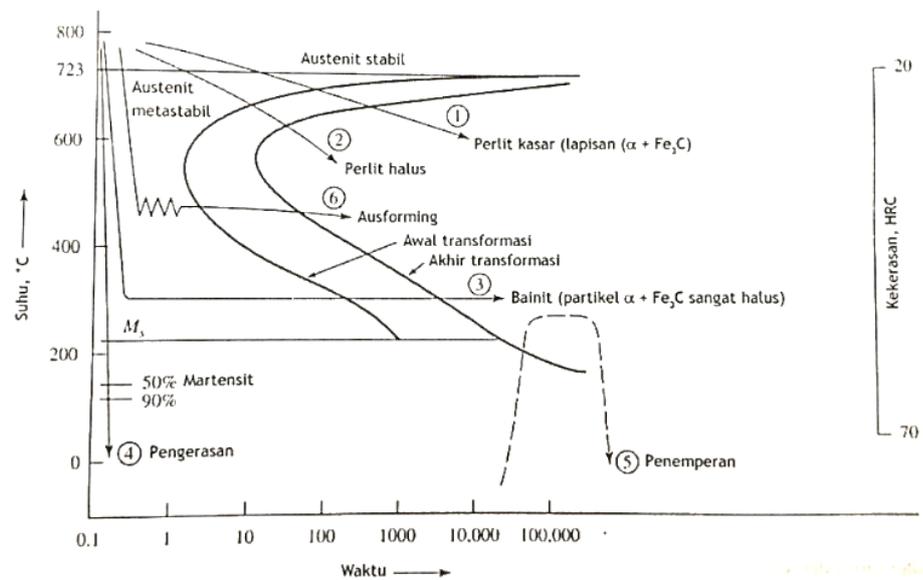


Gambar 2.15 Ilustrasi proses perlakuan panas.

c. Tahap 3 Pendinginan (*Cooling*).

Setelah melakukan pemanasan, logam didinginkan mencapai temperatur kamar. Proses pendinginan dapat menggunakan media pendingin seperti, air, oli, tanah liat. Waktu pendinginan tergantung dari jenis logam, media pendingin dan sifat yang diinginkan.

Logam didinginkan dengan cepat selama proses pengerasan, pendinginan berpengaruh terhadap kekerasan. Namun pendinginan tidak selalu menghasilkan peningkatan kekerasan. Gambar 2.16 menunjukkan grafik pendinginan pada baja adalah sebagai berikut:



Gambar 2.16 Grafik CCT diagram baja eutektik (Schey, 2000).

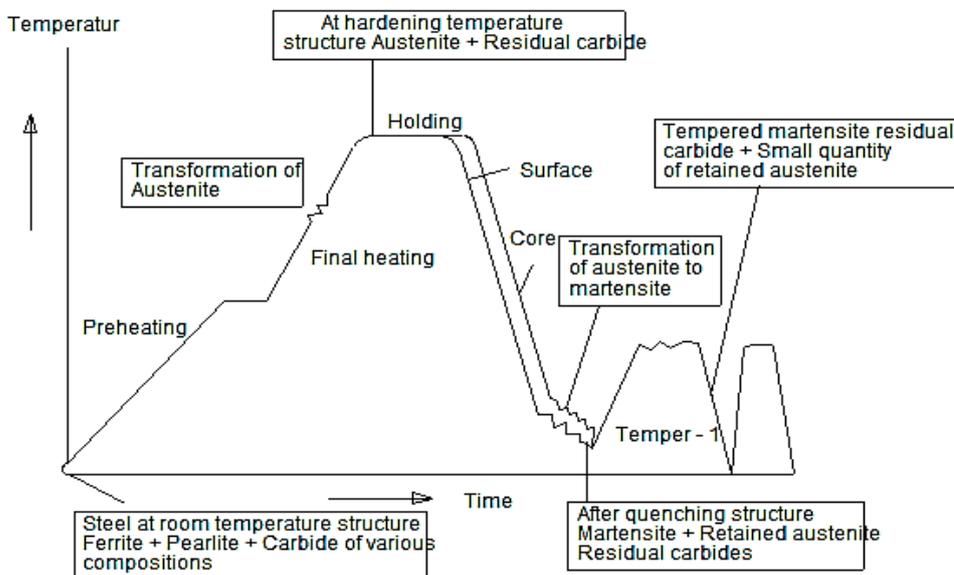
Berdasarkan gambar 2.16 menunjukkan beberapa fase yang terjadi setelah proses pendinginan secara terkontrol. Baja eutektik dipanaskan mencapai temperature diatas 723°C atau pada kondisi austenit stabil. Dalam proses pendinginan dibawah temperatur 723°C, austenik mulai terurai menjadi ferit, peralit, bainit, dan martensit. Waktu pendinginan sangat berpengaruh terhadap fase-fase yang diinginkan.

Secara umum ada empat jenis perlakuan panas yang sering digunakan adalah *annealing*, *normalizing*, *hardening*, *tempering*. Dalam proses perlakuan panas pada pisau hanya beberapa teknik perlakuan yang digunakan adalah sebagai berikut:

2.5.1 Hardening.

Hardening merupakan proses perlakuan panas pada logam untuk menghasilkan produk yang lebih keras. Perlakuan ini terdiri dari memanaskan baja sampai temperatur austenisasi dan ditahan pada temperatur tersebut dengan waktu tertentu dan kemudian didinginkan dengan laju pendinginan yang cepat (*quenching*). Memanaskan dan ditahan pada temperatur austenisasi dengan alasan untuk mengurai sementit menjadi austenit stabil.

Quenching merupakan pendinginan logam dengan cepat dari temperatur austenit mencapai temperatur kamar dalam media pendingin. Tujuannya untuk mencegah terjadinya transformasi fasa austenit menjadi fasa pearlit untuk mendapatkan struktur yang diinginkan, yaitu fasa martensit. *Quenching* merupakan proses pencelupan baja yang telah berada pada temperatur pengerasan (temperatur *austenisasi*), dengan laju pendinginan yang sangat tinggi. Gambar 2.17 berikut menunjukkan grafik pemanasan, *quenching* dan *tempering*.



Gambar 2.17 Grafik pemanasan, *quenching* dan *tempering* ([http://2.bp. Blogspot. com/_24 April 2016](http://2.bp.blogspot.com/_24 April 2016)).

Berdasarkan Gambar 2.16 karbon yang terperangkap akan menyebabkan tergesernya atom-atom sehingga terbentuk struktur *body center tetragonal* (BCT). Atom-atom yang tergeser dan karbon yang terperangkap menimbulkan struktur sel satuan yang tidak stabil (memiliki tegangan tertentu). Struktur yang bertegangan ini disebut martensit dan bersifat sangat keras dan getas. Biasanya baja yang dikeraskan diikuti dengan proses penemperan untuk menurunkan tegangan yang ditimbulkan akibat *quenching* karena adanya pembentukan martensit.

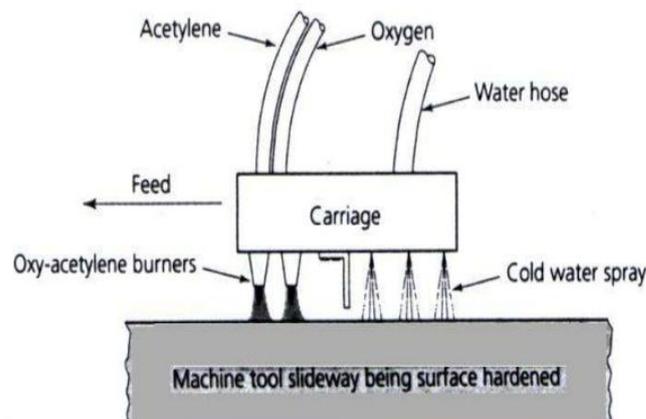
2.5.2 Pengerasan Permukaan (*Surface Hardening*).

Bahan yang membutuhkan permukaan yang sangat keras, tahan aus dan tahan terhap benturan, maka diperlukan inti yang kuat, ulet. Sifat ini dapat dicapai dengan proses pengerasan permukaan. Pengerasan bisa dilakukan dengan 2 (dua) cara adalah sebagai berikut (Nurkhozin, 2006):

- a. Pengerasan permukaan pada logam mengandung unsur karbon maksimal 0.2%. Pada logam ini tidak dapat dilakukan pengersan secara langsung. Namun dapat dilakukan dengan menambahkan unsur pembentuk kekerasan pada permukaan logam. Kekerasan yang dihasilkan pada logam hanya di permukaan sedangkan inti logam memiliki keuletan karena strukturnya tidak berubah. Pengerasan permukaan ini sering disebut pengerasan pengerasan permukaan (pemasukan zat arang).
- b. Pengerasan permukaan pada logam yang mengandung unsur karbon minimal 0,35%. Pengerasan permukaan pada logam ini bisa dilakukan secara langsung. Logam dipanaskan dengan cepat mencapai temperatur pengerasan kemudian di-*quench*. Pemanasan cepat mengakibatkan struktur dipermukaan berubah, namun pada inti logam tidak berpengaruh. Proses pengerasan ini sering disebut pengerasan nyala api (*Flame hardening*).

Flame hardening merupakan metode pengerasan permukaan yang ekonomis. Proses *flame hardening* meliputi pemanasan di daerah permukaan logam yang dikeraskan mencapai temperatur kritis. Permukaan kemudian didinginkan dengan media pendingin yang sesuai. Pemanasan *flame hardening* menggunakan gas yang dibakar dengan oksigen sehingga menghasilkan

temperatur *flame* yang tinggi. Gas digunakan untuk *flame hardening* adalah gas oksasi-asetilen, gas alam, gas propana-butana. Pengerasan permukaan *flame hardening* akan menghasilkan permukaan logam yang keras dengan inti yang ulet. Semakin lama *flame* bekerja maka tebal pengerasan akan semakin besar. Waktu yang dibutuhkan dalam proses *flame hardening* diatur menurut kebutuhan diantara pemanasan dan pendinginan. Gambar 2.18 menunjukan skema proses *flame hardening* adalah sebagai berikut:



Gambar 2.18 Skema proses *flame hardening* (http://image.slidesharecdn.com/heatatreatment_24april2016)

2.6 Media Pendingin.

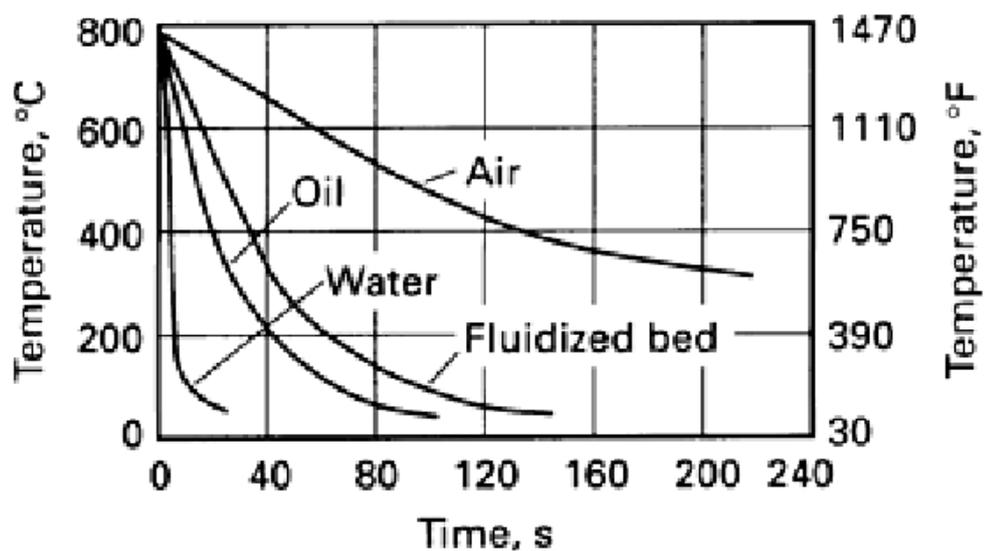
Berbagai bahan pendingin yang digunakan dalam proses perlakuan panas antara lain (Murtiono, 2012):

1. Air.

Pendinginan dengan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat. Air memiliki karakteristik yang khas yang tidak dimiliki oleh senyawa kimia lain. Temperatur antara 0°C sampai 100°C, air berwujud cair. Temperatur 0°C merupakan titik beku (*freezing point*) dan temperatur 100°C merupakan titik didih (*boiling point*) air. Perubahan temperatur air berlangsung lambat sehingga air memiliki sifat penyimpan panas yang baik. Sifat ini memungkinkan air tidak menjadi panas atau dingin dalam seketika. Air memerlukan energi panas yang tinggi dalam proses penguapan.

2. Oli.

Oli digunakan sebagai media pendingin untuk mengeraskan logam. Semua baja dapat menggunakan oli sebagai media pendinginan cepat. Selain oli, minyak juga dapat digunakan sebagai media pendingin. Minyak dikelompokkan sebagai media pendinginan menengah. Hal ini memiliki tingkat pendinginan lebih lambat dari air atau air garam dan lebih cepat dibandingkan udara. Gambar 2.19 menunjukkan grafik pendinginan cepat oli.



Gambar 2.19 Grafik pendinginan cepat menggunakan oli, air, udara dan *fluidized bed* (ASM, Vol. 4)

Pendinginan menggunakan media oli temperatur harus dikontrol berkisar antara 25°C sampai 65°C. Tabel 2.4 berikut menunjukkan perbandingan pendinginan rata-rata menggunakan media pendinginan.

Tabel 2.4 Karakteristik dan kemampuan media pendinginan rata-rata *quenching*

<i>Quenching Medium</i>	<i>Cooling Rate Compared to Water</i>	<i>Flash Point (°F)</i>	<i>Fire Point (°F)</i>
<i>Sodium Hydroxida</i>	2,06		
<i>Air garam (Brine)10% at 65%</i>	1,96		
<i>Caustic Soda (10%)</i>	1,38		
<i>Air temperatur 65 °F</i>	1,00		
<i>Prepared oil</i>	0,44	365	405
<i>Fuel oil</i>	0,36	205	219
<i>Cottonseed oil</i>	0,36	610	680
<i>Neatfoot oil</i>	0,33	500	621
<i>Sperm oil</i>	0,33	500	581
<i>Fish oil</i>	0,31	401	446
<i>Castrol oil</i>	0,29	565	640
<i>Machine oil</i>	0,22	405	464
<i>Circulated air</i>	0,032		
<i>Still air</i>	0,0152		

Sumber: http://www.tpub.com/steelworker1_24 april 2016.

Tabel 2.4 menunjukkan air garam memiliki pendinginan lebih cepat dibandingkan oli atau minyak. Campuran air garam mengurangi penyerapan gas atmosfer gas dan mengurangi jumlah gelembung pada pendinginan. Selain itu air garam juga dapat mendinginkan secara seragam pada permukaan logam. Komposisi garam dalam air berkisar antara 7-10% garam berat untuk satu galon air dengan temperatur awal berkisar antara 18-38°C.

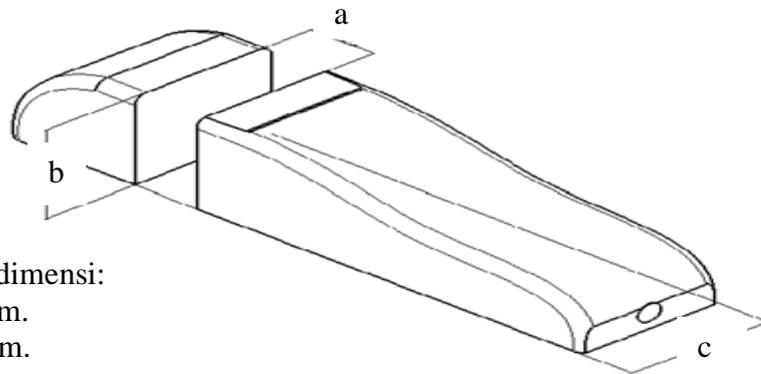
Selain itu air garam juga dapat digunakan sebagai media pendingin pada baja paduan rendah dan baja karbon, Namun pendinginan cepat dengan air garam pada baja karbon tinggi menyebabkan pendinginan tidak seragam pada penampang, retak dan stres.

3.2 Peralatan.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

3.2.1 Tungku Pemanas.

Pande besi tradisional menggunakan tungku arang untuk memanaskan bahan sebelum dilakukan penempaan. Tungku arang ini terbuat dari batu bata merah yang tahan api dengan dimensi seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2. Bahan bakar yang digunakan adalah arang kayu jati yang menghasilkan temperatur mencapai 1200°C. Tungku arang ini juga dilengkapi dengan peniup berupa blower. Gambar 3.3 menunjukkan skema tungku yang digunakan pandai besi tradisional.



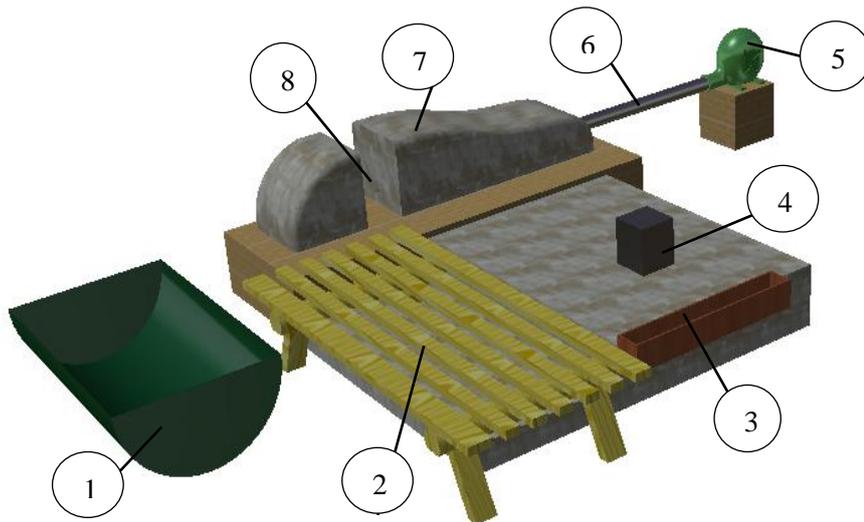
Keterangan dimensi:

a = 160 cm.

b = 300 cm.

c = 350 cm.

Gambar 3.2 Skema dimensi tungku pemanas.



Gambar 3.3 Skema tungku pemanas pande besi tradisional.

Keterangan gambar:

1. Bak air.
2. Tempat duduk.
3. Bak air pendingin.
4. Landasan.
5. Blower/peniup.
6. Pipa besi.
7. Tungku.
8. Saluran udara Ø 15 mm.

3.2.2 Landasan (*Anvil*).

Landasan yang digunakan dalam proses pembuatan pisau adalah baja karbon tinggi yang ditanam dengan dimensi permukaan 100 x 150 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3 Skema tungku pemanas pandai besi komponen nomor 4.

3.2.3 Palu Besi.

Palu besi digunakan untuk mempaan bahan dalam kondisi panas. Palu tempa ini terbuat dari baja cor yang sudah dikeraskan. Gambar 3.4 menunjukkan bentuk palu yang digunakan dalam penelitian ini yang memiliki berat 4,5 kg dan panjang gagang 600 mm. Gagang palu tempa terbuat dari kayu keras yang dilapisi dengan bahan elastis agar operator tempa lebih mudah digunakan dalam kondisi panas.



Gambar 3.4 Palu tempa.

Pahat Besi.

Pahat digunakan sebagai alat potong dalam proses pembuatan pisau. Pahat besi ini terbuat dari baja karbon yang sudah dikeraskan dan dilengkapi dengan gagang yang terbuat dari banbu. Pahat potong pande besi sebagai mana yang di tampilkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Pahat pande besi tradisional.

3.2.4 Termometer Infra Merah.

Pengukuran temperatur pada penelitian ini menggunakan termometer Infra Merah seperti ditunjukkan pada Gambar 3.6. Alat ini memiliki kemampuan mengukur temperatur dari $-50-1370^{\circ}\text{C}$.

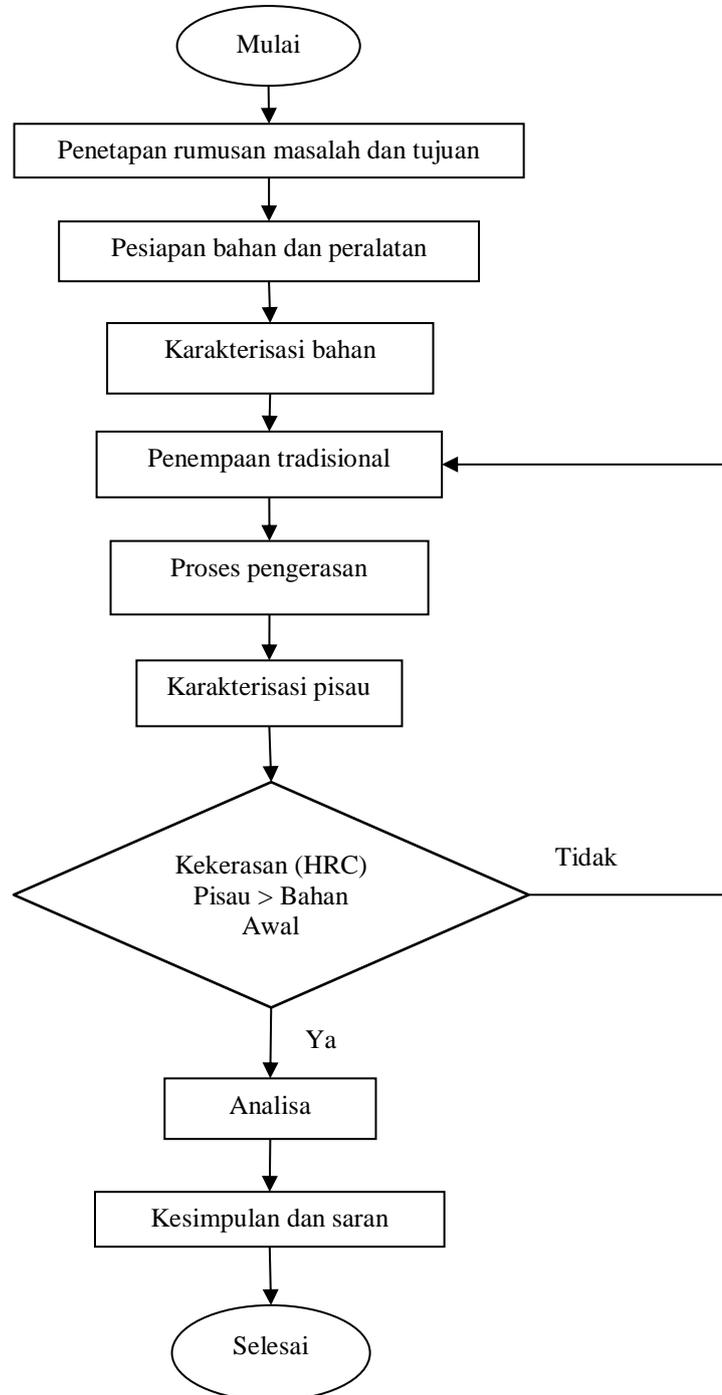


Gambar 3.6 Termometer Infra Merah.

Selain peralatan khusus yang digunakan dalam penelitian ini, juga digunakan peralatan-peralatan pendukung seperti: penjepit, penggaris, mistar baja, kikir, mesin gerinda tangan, dan batu asah.

3.3 Tahapan Penelitian.

Tahapan penelitian yang dilakukan pada pelaksanaan tesis ini mengikuti diagram alir yang ditunjukkan oleh Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Diagram alir penelitian.

3.4 Metode Pembuatan Pisau Tradisional.

Beberapa tahapan proses pembuatan pisau tradisional adalah sebagai berikut:

3.4.1 Proses pemanasan.

Benda kerja yang sudah dipotong kemudian dipanaskan menggunakan tungku dengan bahan bakar arang. Waktu pemasana untuk mencapai temperatur tempa tergantung dari bahan dan dimensi yang digunakan. Batas maksimum temperatur pada proses tempa 50°C dibawah garis liquidus digram fase (Schey, 2000). Tabel 3.2 berikut menunjukkan temperatur dan waktu pemanasan pada masing-masing bahan-bahan pisau.

Tabel 3.2 Temperatur dan waktu pemanasan.

Bahan	Pemanasan awal		Pemanasan dalam proses tempa	
	Temperatur (°C)	Waktu (detik)	Temperatur (°C)	Waktu (detik)
JIS SUP 9	34-850	195	390-850	56
AISI 1050	34-850	210	400-859	58
AISI L-6	34-957	265	625-957	79
AISI 4340	34-839	306	531-839	61

Sumber: Eksperimen pendahuluan.

3.4.2 Proses Tempa.

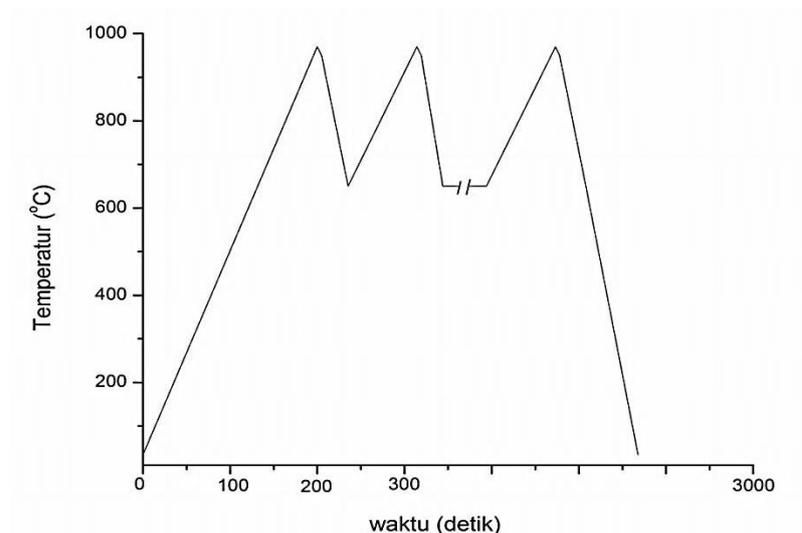
Pada tahap ini besi yang sudah dipanaskan menggunakan tungku (Gambar 3.3 komponen nomor 7) diletakan diatas landasan (Gambar 3.3 komponen nomor 4) dengan menggunakan penjepit sebagai pegangan, kemudian ditempa berulang-ulang menggunakan palu. Dalam satu kali pemanasan dilakukan penempaan berkisar antara 32-39 kali per 10 cm dengan waktu tempa berkisar antara 28-35 detik. Siklus penempaan dilakukan beberapa kali untuk mencapai bentuk pisau dengan temperatur tempa seperti ditunjukan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Temperatur tempa dan jumlah penempaan.

Bahan	Penurunan temperatur tempa (°C)	Waktu tempa (detik)	Jumlah penempaan maksimum (kali)
JIS SUP 9	810-390	35	39
AISI 1050	819-400	35	38
AISI L-6	950-625	28	32
AISI 4340	830-531	34	38

Sumber: Eksperimen pendahuluan.

Bedasarkan Tabel 3.2 dan 3.3 menunjukkan batas temperatur dalam proses pemanasan dan penempaan pada masing-masing bahan pisau. Pada penelitian ini menggunakan temperatur pemanasan awal dari temperatur kamar mencapai temperatur tempa berkisar antara 900-950°C dan dilanjutkan dengan proses tempa sampai penurunan temperatur berkisar antara 600-650°C seperti ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Skema siklus tempa

3.4.3 Proses Gerinda.

Setelah proses ditempa kemudian dilanjutkan dengan proses gerinda. Proses ini dilakukan untuk meratakan permukaan dan pembentukan sisi tajam dengan menggunakan mesin gerinda.

3.5 Proses Pengerasan Pisau

Pisau yang sudah sudah digerinda kemudian dilanjutkan dengan proses pengerasan. Pada penelitian ini dilakukan tiga metode pengerasan yang terdiri dari metode pengerasan tradisional (HT), metode pengerasan dengan menggunakan tungku pemanas elektrik (furnace) (HF) dan pengerasan metode *flame hardening* manual (FH).

3.5.1 Metode Pengerasan Tradisional

Pada tahap ini pisau dipanaskan mencapai temperatur austenisasi dengan menggunakan tungku arang sebagaimana ditunjukkan Gambar 3.9. Kemudian sisi tajam pisau di *quenching* dalam media pendingin berupa air. Kedalam sisi tajam yang *quenching* berkisar antara 10-15 mm.



Gambar 3.9 Tungku pande besi tradisional

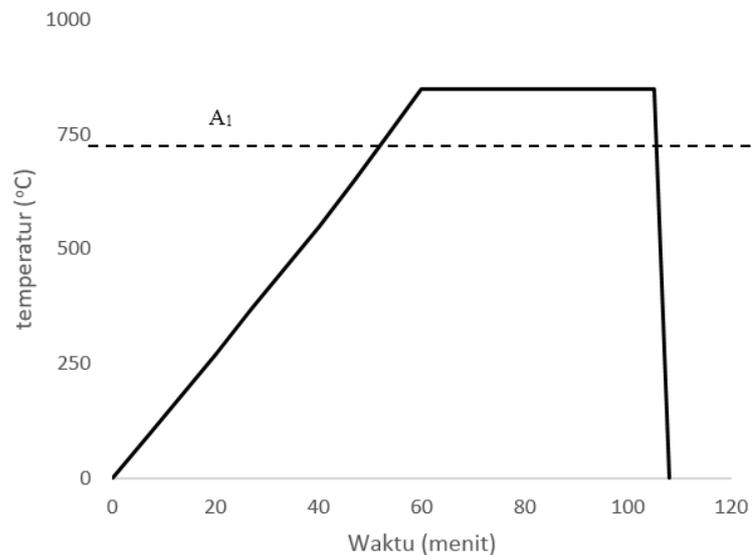
3.5.2 Metode Pengerasan *Furnace*

Metode pengerasan *furnace* dilakukan menggunakan tungku elektrik yang memiliki spesifikasi temperatur maksimum mencapai 1300 °C, dan dimensi ruang bakar tungku adalah 450 x 250 x 160 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Tungku elektrik

Metode pengerasan *furnace* dilakukan dengan cara pisau dipanaskan hingga mencapai temperatur austenit dengan waktu pemanasan 60 menit kemudian ditahan pada tersebut selama 45 menit. Selanjutnya pisau didinginkan secara cepat (*quenching*) dengan menggunakan media pendingin berupa air. Gambar 3.11 menunjukkan garfik perlakuan panas pisau.



Gambar 3.11 Skema grafik pengerasan pisau menggunakan *furnace*

3.5.3 Metode Pengerasan *Flame Hardening* manual

Flame Hardening manual dilakukan dengan cara memanaskan permukaan pisau hingga mencapai temperatur 850°C. Pemanasan dilakukan dengan menggunakan api campuran oksigen dan *liquid petroleum gas* (LPG). Kemudian pisau dilakukan pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan media pendingin berupa air. Gambar 3.12 menunjukkan proses pengerasan *flame hardening* manual.



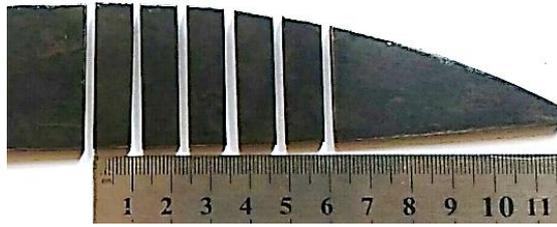
Gambar 3.12 Proses *flame hardening* manual.

3.6 Pengujian

Pada penelitian ini dilakukan dua jenis pengujian yang bersifat destruktif, yaitu pengujian kekerasan dan keausan. Uji kekerasan dipilih untuk mewakili sifat tajam pisau, dimana dengan dimensi dan geometri yang sama pisau yang lebih keras akan memiliki ketajaman yang lebih tinggi. Sementara uji keausan dilakukan untuk mengetahui kemampuan pisau dalam mempertahankan ketajamannya.

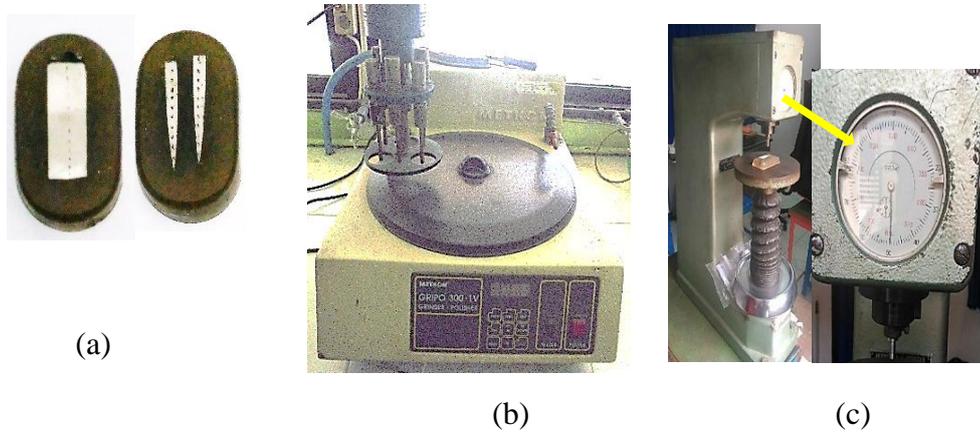
3.6.1 Uji Kekerasan

Pengukuran kekerasan dalam penelitian ini dilakukan pada permukaan dan penampang pisau. Sebelum dilakukan pengukuran, pisau dipotong dengan dimensi lebar 10 mm, panjang dan tebal disesuaikan dengan dimensi pisau seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Pisau dipotong melintang

Selanjutnya bagian pisau yang sudah dipotong dilakukan proses *mounting* untuk mempermudah pengukuran. Kemudian spesimen dibersihkan dan diratakan dengan menggunakan kertas gosok tingkat kekasaran 80, 120 dan 220. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan mesin uji kekerasan *Rockwell* skala C. Alat ukur ini menggunakan indenter intan dengan sudut 120° dan beban 150 Kp. Gambar 3.14 menunjukkan spesimen uji, mesin gosok dan mesin uji kekerasan yang digunakan mesin dalam penelitian.



Gambar 3.14. (a) Spesimen uji kekerasan. (b) Mesin gosok. (c) Mesin uji kekerasan *Rockwell*

3.6.2 Uji Keausan

Sebelum dilakukan pengukuran keausan, spesimen dipotong seperti Gambar 3.11. kemudian permukaan sisi tajam spesimen dihaluskan dengan menggunakan mesin *tool grinding*. Gambar 3.15 menunjukkan spesimen uji keausan.



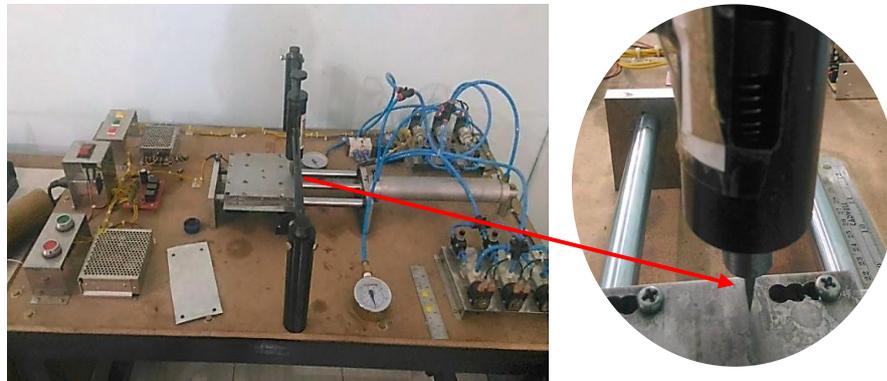
Gambar 3.15 Spesimen uji keausan

Selanjutnya menimbang spesimen menggunakan timbangan digital Ohaus Adventurer Pro Gambar 3.16. Timbangan ini memiliki kapasitas maksimum 200 gr dengan kecermatan 0,0001 gr. Meimbang massa spesimen dilakukan sebelum dan sudah pengujian keausan dengan tujuan untuk mengetahui massa yang hilang dari masing-masing spesimen pisau.



Gambar 3.16 Timbangan digital Ohaus Adventurer Pro

Setelah ditimbang, spesimen diproses uji keusan menggunakan *actuator* tribometer *pin-on-plate* gerakan *reciprocating* dengan penggerak *electropneumatic* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Proses pengujian keausan

Gambar 3.17 menunjukkan pengujian keausan yang dilakukan dengan cara memberi beban dan mengesek sisi tajam spesimen pada plat yang beragrak bolak-balik selama 25 menit. Beban yang diberikan adalah sebesar 1290 gr dan kecepatan plat gesek adalah sebesar 0,4 m/s.

Pengujian setiap kondisi akan dilakukan sebanyak 2 kali pengulangan kemudian diambil rata-ratanya. Berat spesimen diukur sebelum dan sesudah pengujian. Selisih berat sebelum dan sesudah pengujian merupakan berat material aus. Dari berat bahan yang aus kemudian dicari volume keausan yang terjadi dengan masa jenis bahan pisau. Volume keausan ini selanjutnya dicatat untuk digunakan sebagai data terukur pada perhitungan laju keausan spesifik. Selanjutnya nilai *specific wear rate* dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Khonsari, dkk., 2001; Susastro, dkk., 2013):

$$K = \frac{k}{H} = \frac{\Delta V}{F.L} \quad (3.1)$$

Dimana:

- K : *Specific wear rate* (mm³/Nm)
- ΔV : Perubahan Volume yang terjadi (mm³)
- F : Gaya yang diberikan (N)
- L : Jarak sliding (m)

3.7 Pengamatan Metalografi

Pengamatan metalografi pada penelitian ini menggunakan mikroskop optik yang dilengkapi dengan satu unit komputer. Alat ini memiliki pembesaran hingga mencapai 2500 x seperti ditunjukkan pada Gambar 3.18. Struktur mikro yang diamati pada permukaan dan penampang dengan pembesaran 500 x dan 1000 x.



Gambar 3.18 Mikroskop optik.

Sebelum melakukan pengamatan struktur mikro, ada beberapa tahap yang dilakukan untuk mendapatkan hasil pengamatan yang maksimal adalah sebagai berikut:

1. Persiapan spesimen uji.

Spesimen dipotong seperti ditunjukkan pada Gambar 3.10 kemudian dilakukan proses *mounting* untuk mempermudah proses *grinding* dan *polishing*

2. Proses *grinding* (menghaluskan permukaan).

Untuk memperoleh permukaan spesimen uji yang rata dan halus dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Memasang kertas gosok tingkat kekasaran 120 pada piring mesin *grinding*.
- b. Menggosok permukaan spesimen uji dalam satu arah permukaan sampai rata.
- c. Mematikan mesin serta mengantikan kertas gosok dengan tingkat kekasaran 240.
- d. Melanjutkan menggosok dengan cara berlawanan arah dengan langkah b.

- e. Mengulang langkah c dan langkah d dengan menggunakan kertas gosok tingkat kekasaran 320, 500, 600, 800, 1000, 1500, dan 2000 sampai permukaan halus dan tanpa goresan.
 - f. Memeriksa spesimen uji sebelum melakukan *polishing*.
3. Proses *polishing*
- Setelah selesai proses *grinding*, selanjutnya melakukan proses *polishing*. Pada proses ini sama dengan proses *grinding* pada langkah 2 (satu). Proses *polishing* menggunakan kain dan *metal polish cream* sebagai alas. Proses *polishing* dilakukan selama 30-45 menit dengan arah permukaan yang sama. Kemudian dilanjutkan dengan memeriksa permukaan spesimen dibawah mikroskop untuk memastikan tidak ada goresan sebelum melakukan *etching reagents (etsa)*.
4. Proses *etsa* dan pengamatan metalografi
- Proses *etsa* dilakukan pada permukaan spesimen yang telah dilakukan proses *grinding* dan *polishing*. Cairan *etsa* yang digunakan adalah campuran antara alkohol 95% dan HNO_3 dengan perbandingan sebesar 98:2. Spesimen dimasukkan ke dalam larutan (HNO_3 + alkohol) selama 3-10 detik, selanjutnya spesimen diangkat dan dicuci dengan air, kemudian dikeringkan.

3.8 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan pada penelitian ini mencakup dua variabel bebas dan dua variabel terikat (respon). Variabel bebas terdiri dari bahan dan perlakuan masing-masing memiliki 4 variasi. Variabel terikat terdiri dari kekerasan dan keusan. Pengujian kekerasan dilakukan pada permukaan dan penampang masing-masing 10 titik. Sedangkan keusan diuji pada sisi tajam masing-masing dilakukan dengan dua kali pengulangan. Tabel 3.4 merupakan Tabel isian untuk percobaan yang dilaksanakan.

Tabel 3.4 Isian rancangan percobaan

Variabel bebas		Variabel terikat															
Bahan	Perlakuan	Kekerasan (HRC)										Laju Keausan (mm ³ /Nm)					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Rata-rata	Perc I	Perc II	Rata-rata		
AISI 1050	Tempa	Permukaan															
		Penampang															
	HT*	Permukaan															
		Penampang															
	HF*	Permukaan															
		Penampang															
	FH*	Permukaan															
		Penampang															
AISI 4340	Tempa	Permukaan															
		Penampang															
	HT*	Permukaan															
		Penampang															
	HF*	Permukaan															
		Penampang															
	FH*	Permukaan															
		Penampang															
AISI L-6	Tempa	Permukaan															
		Penampang															
	HT*	Permukaan															
		Penampang															
	HF*	Permukaan															
		Penampang															
	FH*	Permukaan															
		Penampang															
JIS SUP 9	Tempa	Permukaan															
		Penampang															
	HT*	Permukaan															
		Penampang															
	HF*	Permukaan															
		Penampang															
	FH*	Permukaan															
		Penampang															

Keterangan:

HT : *Hardening* tradisional

HF : *Hardening* menggunakan tungku elektrik (furnace)

FH : Flame Hardening manual

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian tentang pengaruh jenis bahan dan proses pengerasan terhadap kekerasan dan keausan pisau tempa manual diperoleh data berupa angka (nilai), grafik dan gambar. Pengujian yang dilakukan meliputi uji komposisi kimia bahan, kekerasan, keausan serta pengamatan struktur mikro.

4.1 Pengujian komposisi kimia

Sebelum melakukan penelitian, masing-masing bahan pisau dilakukan pengujian komposisi kimia. Hasil pengujian komposisi kimia ditunjukkan pada lampiran 1 dan tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil uji komposisi kimia bahan.

Unsur	Komposisi Kimia % (wt)			
	AISI 1050	AISI 4340	AISI L-6	JIS SUP 9
Fe	98,6	95,8	94,5	97,27
C	0,46	0,35	0,47	0,62
Si	0,22	0,23	0,40	0,27
Mn	0,50	0,73	0,83	0,84
P	0,023	0,11	0,02	0,01
S	< 0.01	0,13	< 0.01	< 0.01
Cr	0.026	0,80	1,13	0,82
Mo	< 0.01	0,18	0,41	0,01
Ni	0.019	1,57	1,73	0,04
Al	< 0.01	0,018	0,023	< 0.01
Co	< 0.01	0,01	0,021	< 0.01
Cu	0,035	0,11	0,12	< 0.01
Nb	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Ti	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Sn	0,01	< 0.01	0,01	0.01

Data hasil pengujian komposisi kimia pada Tabel 4.1 menunjukkan unsur paduan pada bahan bervariasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa, kadar C terendah terdapat pada baja AISI 4340 sebesar 0,35 %. Kadar C tertinggi terdapat pada JIS SUP 9 sebesar 0,62 %. Untuk baja AISI 1050 dan baja AISI L-6 terdapat kadar C sebesar 0,46 dan 0,47 %. Selain kadar C, bahan-bahan tersebut juga

memiliki kadar Mn, Cr, Mo, dan Ni. Kadar Mn terendah terdapat pada baja AISI 1050 sebesar 0,50 % sedangkan kadar Mn tertinggi terdapat pada baja AISI L-6 dan JIS SUP 9 sebesar 0,84 %. Kadar Cr terendah terdapat pada baja AISI 1050 sebesar 0,026 % dan kadar Cr tertinggi terdapat pada baja AISI L-6 sebesar 1,33 %. Kadar Mo terendah terdapat pada baja AISI 1050 dan JIS SUP 9 sebesar 0,01 % dan kadar Mo tertinggi terdapat pada baja JIS SKT 4 sebesar 0,41%. Untuk kadar Ni terendah terdapat pada baja AISI 1050 dan JIS SUP 9 sebesar 0,019 dan 0,04 %, sedangkan kadar Ni tertinggi terdapat pada Baja AISI 4340 dan JIS SKT 4 sebesar 1,57 dan 1,73%.

4.2 Pisau Tempa Manual.

Bahan awal dengan dimensi seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1, setelah ditempa pisau berbentuk seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1. Hasil Pengamatan visual menunjukkan bahwa pada masing-masing pisau setelah ditempa tidak terjadi cacat.



Gambar 4.1 Pisau hasil Tempa manual.

4.3 Pengujian Kekerasan

Nilai kekerasan merupakan data yang diperoleh dari bahan awal, pisau tempa manual dengan variasi bahan dan proses pengerasan yang terdiri dari pengerasan tradisional (HT), pengerasan menggunakan tungku elektrik/*furnace* (HF) dan pengerasan *flame hardening* manual (FH). Pengambilan data kekerasan untuk tiap kombinasi dilakukan dua kali pengukuran yaitu pada permukaan dan penampang pisau masing-masing 10 (sepuluh) titik. Tabel 4.2 menunjukkan nilai kekerasan rata-rata pada bahan awal. Tabel 4.3 dan 4.4 menunjukkan hasil uji kekerasan setelah perlakuan.

Tabel 4.2 Nilai kekerasan bahan awal.

Bahan	Kekerasan (HRC)	
	Permukaan	Penampang
AISI 1050	28,30	27,30
AISI 4340	39,39	-
AISI L-6	48,44	52,11
JIS SUP 9	43,50	45,10

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Kekerasan Pisau

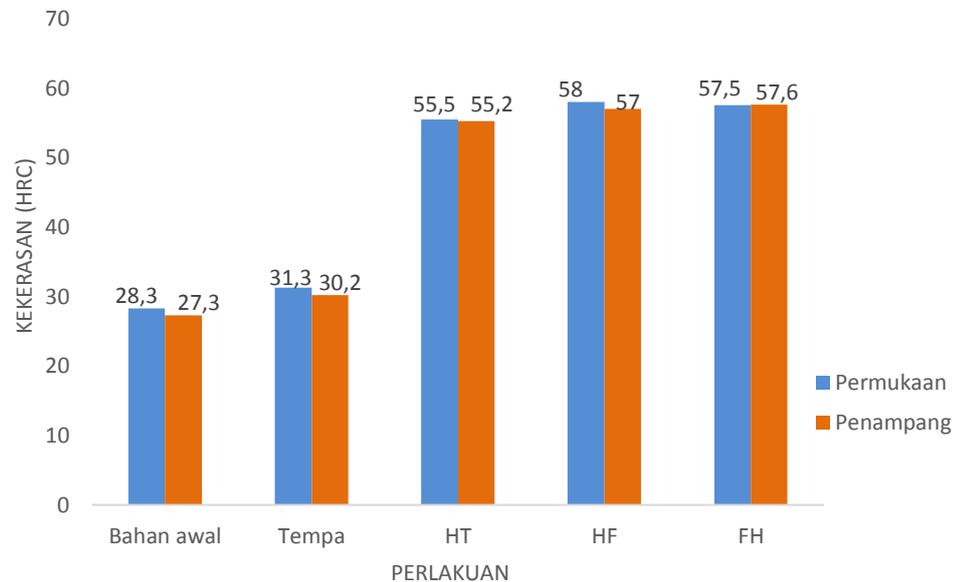
Bahan	Titik	Nilai Kekerasan (HRC)							
		Tempa		HT		HF		FH	
		Permukaan	Penampang ^o	Permukaan	Penampang	Permukaan	Penampang ^o	Permukaan	Penampang ^o
AISI 1050	1	32	30	53	52	58	56	58	56
	2	31	32	53	53	59	55	56	58
	3	32	30	55	53	59	55	57	58
	4	32	30	55	55	58	55	58	56
	5	30	32	52	53	57	57	54	57
	6	29	28	52	53	57	57	59	57
	7	31	30	57	57	57	59	59	58
	8	32	30	59	59	59	58	57	59
	9	31	30	59	58	58	59	59	58
	10	33	30	60	59	58	59	58	59
	Rata-rata	31,3	30,2	55,5	55,2	58	57	57,5	57,6
AISI 4340	1	48	50	57	54	60	57	60	56
	2	48	50	57	54	59	60	56	56
	3	48	49	56	53	57	58	56	60
	4	49	50	56	54	60	57	59	58
	5	52	48	58	55	60	58	60	58
	6	50	51	58	55	61	58	59	59
	7	48	49	61	55	61	60	59	58
	8	50	48	61	57	58	60	61	60
	9	52	47	61	58	60	59	63	60
	10	53	48	62	57	60	59	60	61
	Rata-rata	49,8	49	58,7	55,2	59,6	58,6	59,3	58,6

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kekerasan Pisau (lanjutan)

Bahan	Titik	Nilai Kekerasan (HRC)							
		Tempa		HT		HF		FH	
		Permukaan	Penampang	Permukaan	Penampang	Permukaan	Penampang	Permukaan	Penampang
AISI L-6	1	51	53	61	58	61	60	60	58
	2	52	55	61	56	60	58	58	58
	3	52	54	62	57	63	59	59	57
	4	55	55	61	57	63	59	60	56
	5	51	53	60	57	60	59	62	56
	6	52	54	61	58	60	60	62	58
	7	54	53	61	60	62	63	59	59
	8	54	53	62	60	61	63	60	60
	9	55	53	62	63	61	61	62	60
	10	55	53	62	61	62	61	60	59
	Rata-rata	53,1	53,6	61,3	58,7	61,3	60,3	60,2	58,1
JIS SUP 9	1	48	46	57	58	62	59	59	58
	2	46	47	59	59	61	60	63	59
	3	46	45	60	59	60	61	60	60
	4	47	49	58	59	62	59	59	58
	5	49	48	58	58	62	59	61	60
	6	45	48	60	59	62	59	59	60
	7	45	45	60	61	63	60	58	60
	8	46	45	63	61	63	62	62	61
	9	48	45	63	63	63	62	63	61
	10	48	47	63	62	62	61	62	63
	Rata-rata	46,8	46,5	60,1	59,9	62	60,2	60,6	60

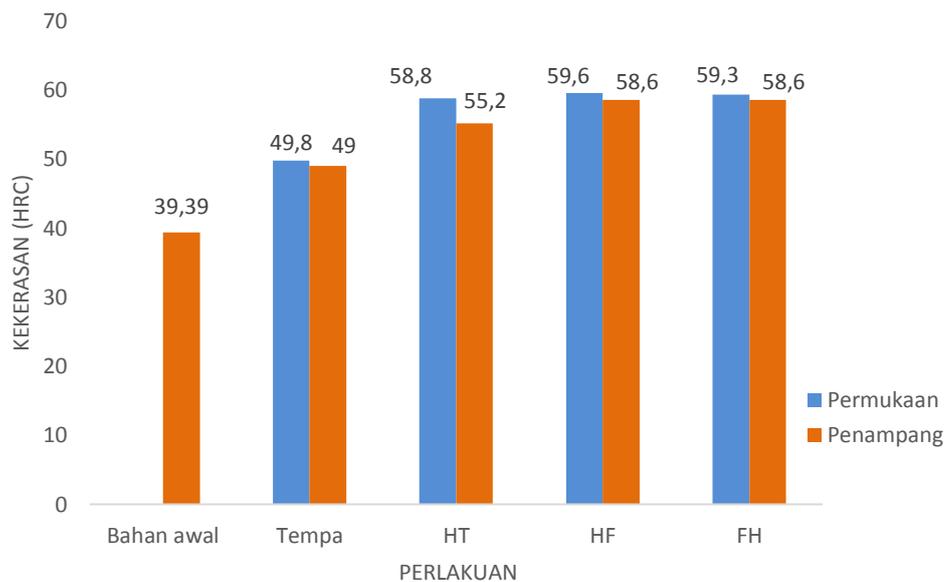
4.3.1 Kekerasan pada Bahan Pisau Setelah Perlakuan

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



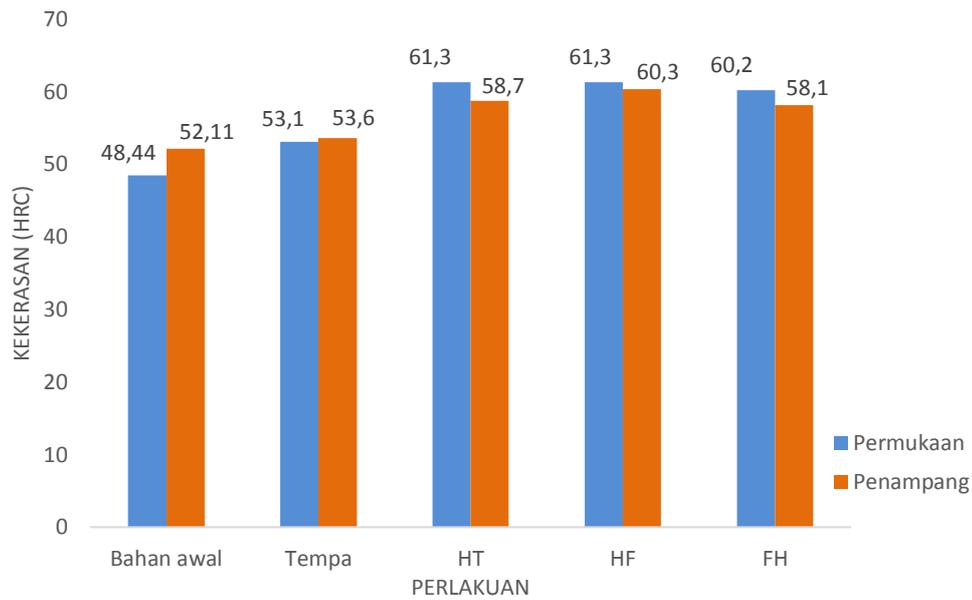
Gambar 4.2 Grafik nilai rata-rata kekerasan pisau baja AISI 1050 setelah perlakuan.

Gambar 4.2 menunjukkan grafik peningkatan nilai kekerasan rata-rata pada spesimen pisau baja AISI 1050 setelah ditempa dan dikeraskan. Bahan awal memiliki perbedaan kekerasan antara permukaan dan penampang yaitu 28,3 dan 27,3 HRC. Setelah ditempa kekerasan permukaan menjadi 31,3 HRC dan penampang menjadi 30,2 HRC. Setelah dilakukan proses pengerasan menunjukkan terjadinya peningkatan kekerasan menjadi 55,5 dan 55,2 HRC pada permukaan dan penampang hasil proses HT. Spesimen hasil proses HF juga terjadi peningkatan kekerasan menjadi sebesar 58 dan 57 HRC pada permukaan dan penampang lebih keras dari hasil proses HT. Pada proses pengerasan *flame hardening* manual (FH) juga terjadi hal yang sama kekerasan pada permukaan adalah sebesar 57,5 HRC dan kekerasan pada penampang adalah sebesar 57,6 HRC lebih keras dari hasil proses HT dan sedikit menurun dari kekerasan hasil proses HF.



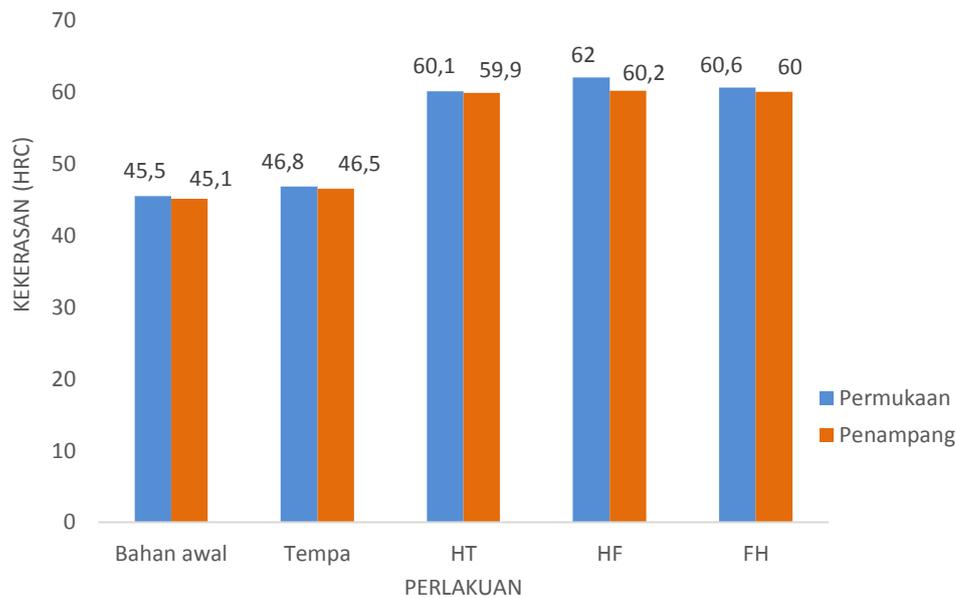
Gambar 4.3 Grafik nilai rata-rata kekerasan pisau baja AISI 4340 setelah perlakuan.

Gambar 4.3 menampilkan hasil pengujian kekerasan spesimen pisau baja AISI 4340. Kekerasan bahan adalah sebesar 39 HRC di penampang setelah ditempa kekerasan menjadi sebesar 49,8 HRC di permukaan dan 49 HRC dipenampang. Hasil proses HT nilai kekerasan di permukaan meningkat menjadi sebesar 58,8 HRC dan nilai kekerasan di penampang meningkat menjadi sebesar 55,2 HRC. Hasil proses HF juga terjadi peningkatan kekerasan pada permukaan menjadi sebesar 59,6 HR dan pada penampang menjadi 58,6 HRC lebih tinggi dari nilai kekerasan yang terjadi pada permukaan dan penampang hasil proses HT. Pada spesimen hasil FH juga terjadi peningkatan kekerasan pada permukaan menjadi sebesar 59,3 HRC sedikit terjadi penurunan dari nilai kekerasan pada permukaan hasil proses HF namun pada penampang spesimen terjadi peningkatan nilai kekerasan yang sama dengan penampang hasil proses HF.



Gambar 4.4 Grafik nilai rata-rata kekerasan pisau baja AISI L-6 setelah perlakuan.

Gambar 4.4 menampilkan hasil pengujian kekerasan spesimen pisau baja AISI L-6. Bahan awal nilai kekerasan permukaan sebesar 48,44 HRC lebih rendah dari nilai kekerasan pada penampang adalah sebesar 52,11 HRC. Setelah ditempa terjadi peningkatan kekerasan di permukaan sebesar 53,1 HRC dan di penampang sebesar 53,6 HRC, namun kekerasan masih lebih tinggi di penampang. Setelah dikeraskan terjadi peningkatan kekerasan, nilai kekerasan di permukaan lebih tinggi dari nilai kekerasan di penampang. Kekerasan pada permukaan hasil proses HT dan HF adalah sebesar 61,3 HRC. Nilai kekerasan penampang hasil HT adalah sebesar 58,7 HRC lebih rendah dari nilai kekerasan pada penampang hasil proses HF adalah sebesar 60,3 HRC. Hasil proses FH juga terjadi peningkatan yang kekerasan, pada permukaan kekerasan menjadi 60,2 HRC dan pada penampang menjadi sebesar 58,1 HRC. Nilai kekerasan pada permukaan dan penampang hasil proses FH sedikit lebih rendah dari nilai kekerasan pada permukaan dan penampang hasil proses HT dan HF.



Gambar 4.5 Grafik nilai rata-rata kekerasan pisau baja JIS SUP 9 setelah perlakuan.

Gambar 4.5 menunjukkan nilai kekerasan spesimen pada spesimen pisau JIS SUP 9. Nilai Kekerasan bahan awal di permukaan sebesar 44,5 HRC dan nilai kekerasan dipenampang sebesar 45,1 HRC. Setelah ditempa terjadi peningkatan kekerasan menjadi 46,8 HRC pada permukaa dan 46,5 HRC pada penampang. setelah dikeraskan juga terjadi peningkatan pada permukaa dan penampang. spesimen hasil proses HT menghasilkan kekerasan sebesar 60,1 HRC di permukaan dan 59,9 HRC di penampang. Nilai kekerasan permukaan hasil proses HT lebih rendah dari nilia kekerasan yang terjadi pada proses HF dan FH sebesar 62 dan 60,6 HRC. Kekerasan penampang hasil proses HF adalah sebesar 60,2 HRC sedikit lebih tinggi dari nilai kekerasan pada penampang hasil proses HT dan FH yang memiliki nilai kekerasan penampang adalah sebesar 60 HRC.

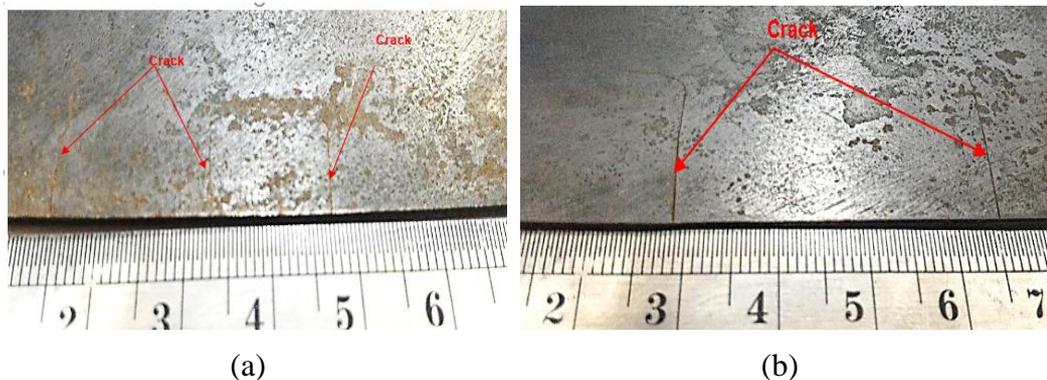
4.3.2 Pembahasan Kekerasan

Penempaan pisau dilakukan dalam kondisi panas pada temperatur 900-650°C. Proses tempa ini tidak memerlukan energi yang besar dalam pembentukan pisau. Hal ini disebabkan oleh tegangan alir yang menurun seiring dengan meningkatnya temperatur pemanasan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses tempa mengakibatkan terjadi peningkatan nilai kekerasan. Peningkatan kekerasan juga

terjadi pada penampang pisau. Hal ini disebabkan karena terjadi pemipihan butiran akibat gaya tempa yang menyebabkan terjadinya dislokasi butiran. Dislokasi pada butiran akibat gaya tempa yang diberikan berulang-ulang pada bahan akan menyebabkan terjadinya *strain hardening* sehingga terjadi peningkatan nilai kekerasan. Selain itu peningkatan kekerasan juga disebabkan oleh proses pendinginan setelah penempaan yang menyebabkan terjadinya pembentukan struktur baru.

Proses tempa pada bahan pisau baja AISI 4340 Gambar 4.2 menunjukkan terjadi peningkatan kekerasan tertinggi sebesar 10,14 HRC dibandingkan baja AISI 1050 Gambar 4.1 sebesar 4 HRC, baja AISI L-6 Gambar 4.6 sebesar 4,51 dan SUP 9 Gambar 4.4 sebesar 1,1 HRC. Hal ini disebabkan karena dimensi bahan awal yang digunakan berbeda Gambar 3.1 sehingga terjadi derajat deformasi yang berbeda.

Pengamatan secara visual pada masing-masing pisau setelah dikeraskan menunjukkan bahwa pada pisau baja AISI 4340 dan pisau baja AISI L-6 hasil proses HT terjadi cacat (retak) pada sisi tajam Gambar 4.6 hal disebabkan karena pendinginan cepat yang dilakukan hanya pada sisi tajam sehingga terjadi teggangan pada saat pendinginan akibat dari kenaikan volume spesifik struktur baru yang terbentuk.



Gambar 4.6 Retak pada sisi tajam pisau. (a) baja AISI 4340. (b) baja AISI L-6

Proses pengerasan (*hardening*) merupakan proses pemanasan dan pendinginan dengan tujuan untuk merubah sifat bahan. Hasil pengujian kekerasan setelah proses HT, HF dan HF menunjukkan terjadi peningkatan kekerasan pada bahan pisau. Hal ini disebabkan karena struktur austenit pada temperatur 850°C

bertransformasi menjadi martensit pada saat pendinginan. Transformasi struktur austenit ke struktur martensit berlangsung tanpa terjadi difusi sehingga komposisi struktur austenit sama dengan komposisi struktur martensit dengan komposisi paduan sel adalah *tetragonal body center cubic* (BCT). Terbentuknya struktur martensit tersebut disebabkan karena unsur C yang terjebak ditengah-tengah struktur austenit akibat proses pendinginan yang cepat, maka atom-atom Fe tidak mengalami transformasi secara difusi sehingga struktur austenit tidak sempat berubah menjadi struktur pearlit. Hal ini yang menyebabkan terjadinya peningkatan kekerasan pada bahan pisau.

Kekerasan struktur martensit akibat proses *quenching* tergantung pada jumlah kadar C (Callister, 2001). Atom C dianggap menggeser latis kubus menjadi tetragonal. Kelarutan C dalam *body center cubic* (BCC) menjadi lebih besar jika terbentuk struktur martensit, hal yang menyebabkan timbulnya BCT. Semakin besar kadar C pada bahan maka semakin banyak posisi intertisi yang tersisih sehingga terjadi tetragonal yang semakin besar.

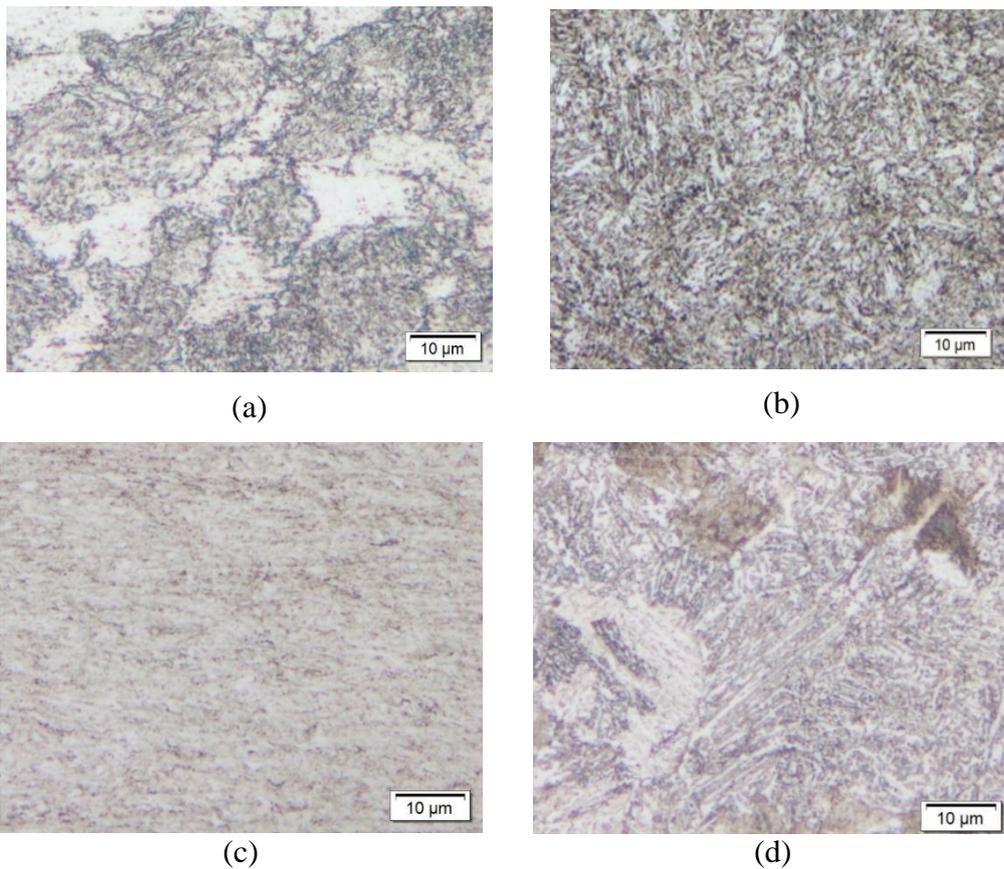
Pembentukan struktur martensit berbeda dengan pembentukan struktur pearlit dan bainit. Pembentukan struktur martensit tidak bergantung pada waktu pendinginan. Dari diagram CCT pada masing-masing bahan dapat diuraikan temperatur martensit start (M_s) dan temperatur martensit finis (M_f). Pada baja AISI 1050 martensit mulai terbentuk pada temperatur (M_s) sekitar 320°C dan berakhir pada temperatur (M_f) sekitar 260°C seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13. Baja AISI 4340 M_s pada temperatur sekitar 290°C dan M_f pada temperatur sekitar 150°C seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12 sedangkan pada baja AISI L-6 dan JIS SUP 9 M_s pada temperatur sekitar 280°C dan M_f pada temperatur 100°C seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10 dan 2.11. Awal dan akhir dari pembentukan martensit bergantung pada komposisi kimia dari bahan dan cara mengaustenisani. M_s dan M_f bergantung pada kadar C, semakin tinggi kadar C pada bahan, maka semakin rendah M_s dan M_f dari pembentukan martensit. Pembentukan martensit untuk baja dengan kadar C sebesar 0,2-0,4 %, transformasi austenit ke martensit selesai dibawah temperatur kamar sedangkan pada baja dengan kadar C diatas 0,4 % M_f akan berakhir diatas temperatur kamar (Verhoeven, 2005), Dengan Demikian, semakin tinggi kadar C pada bahan maka semakin tinggi temperatur M_f sehingga pada temperatur kamar

semakin banyak austenit yang tidak sempat bertransformasi ke martensit. Austenit yang tidak sempat bertransformasi ke struktur martensit dikenal dengan austenit sisa.

Hasil pengujian menunjukkan ada perbedaan kekerasan pada masing-masing bahan pisau setelah proses pengerasan seperti ditampilkan pada Gambar 4.2, 4.3, 4.4 dan 4.5. Pisau JIS SUP 9 memiliki kekerasan lebih tinggi dibandingkan pisau AISI L-6, AISI 4340 dan AISI 1050. Hal ini disebabkan karena kadar C yang terkandung dalam JIS SUP 9 lebih tinggi dibandingkan kadar C yang terkandung dalam baja AISI L-6, AISI 1050 dan AISI 4340 seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1. Baja AISI 1050 memiliki kadar C lebih tinggi dari kadar C yang dimiliki baja AISI 4340 dan mendekati kadar C yang dimiliki baja AISI L-6, namun memiliki nilai kekerasan paling rendah. Hal ini sebabkan karena kadar Cr dan Mo yang dimiliki baja AISI 1050 di lebih rendah dari kadar Cr dan Mo yang dimiliki baja AISI 4340 dan baja AISI L-6.

4.4 Pengamatan Struktur Mikro

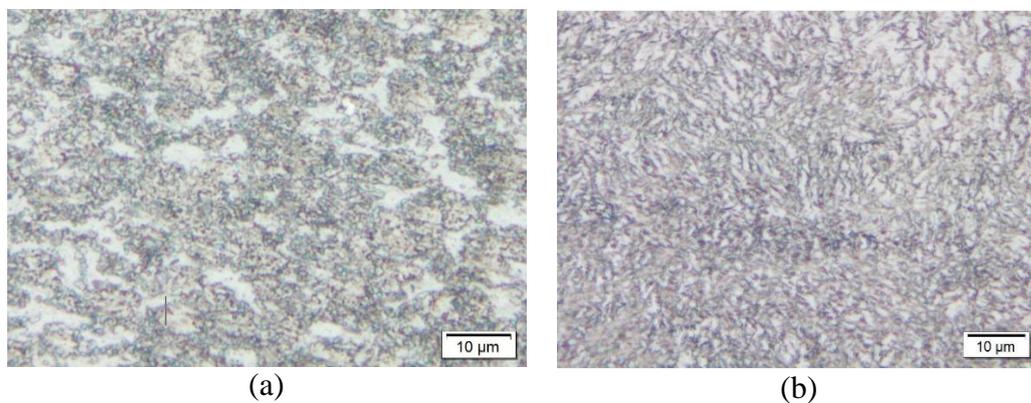
Pengamatan struktur mikro pada penelitian ini bertujuan untuk melihat struktur dan karakteristik pada masing-masing bahan pisau. Pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 500 dan 1000 x. Struktur yang diamati adalah pada bahan awal, setelah proses tempa dan proses pengerasan. Gambar 4.7 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pada bahan awal dengan pembesaran 1000 x



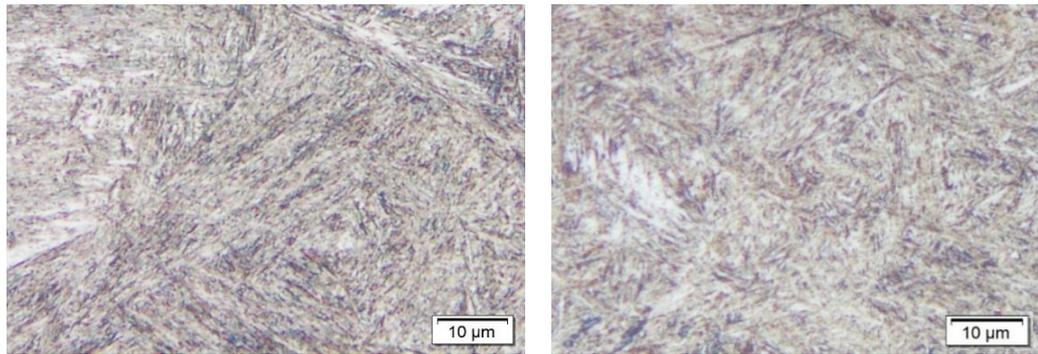
Gambar 4.7 Struktur mikro bahan awal. (a) Baja AISI 1050. (b) Baja AISI 4340. (c) Baja AISI L-6. (d) Baja JIS SUP 9.

4.4.1 Struktur Mikro Hasil Proses Tempa

Gambar berikut menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pada setelah proses tempa dengan pembesaran 1000 X pada masing-masing bahan pisau.



Gambar 4.8 Struktur mikro spesimen pisau setelah ditempa. (a) Baja AISI 1050 (b) Baja AISI 4340.



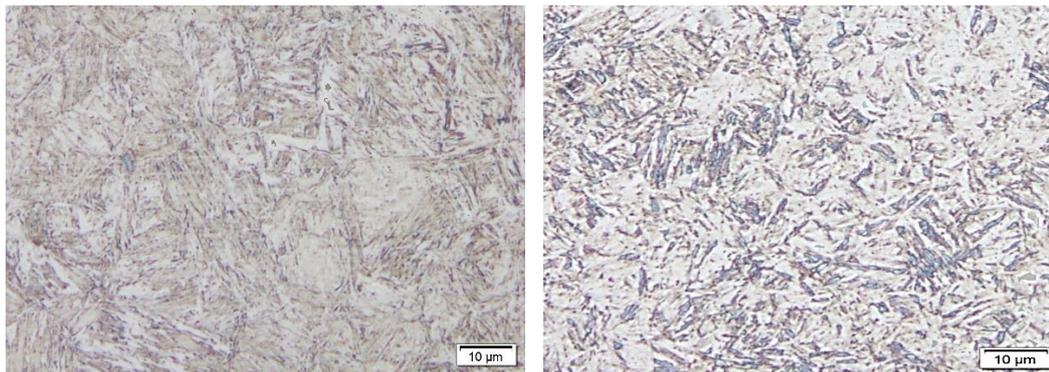
(a)

(b)

Gambar 4.9 Struktur mikro spesimen pisau setelah ditempa. (a) Baja AISI L-6. (b) Baja JIS SUP 9.

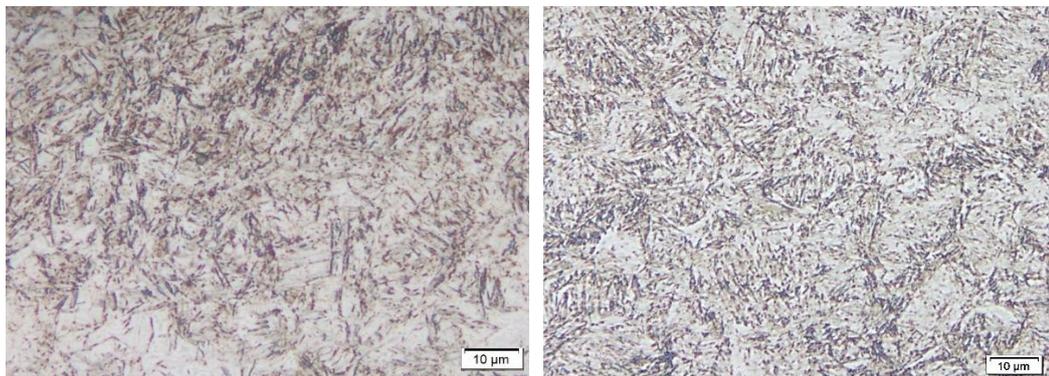
4.4.2 Struktur Mikro Hasil Proses Pengerasan

Gambar berikut menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro setelah proses HT, HF dan FH pada masing-masing bahan pisau.



(a)

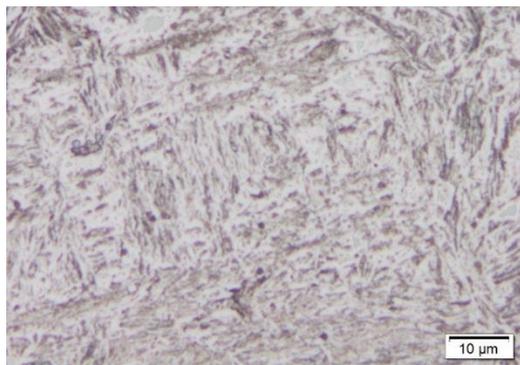
(b)



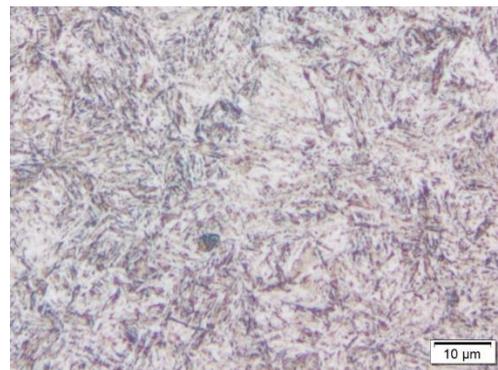
(c)

(d)

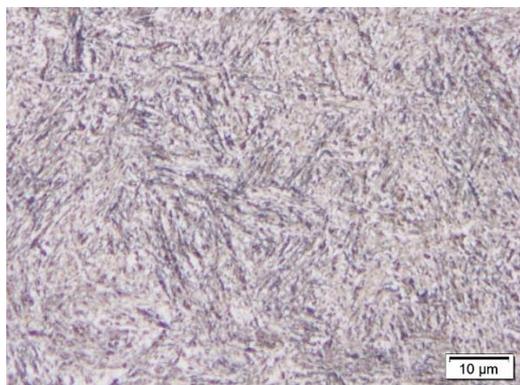
Gambar 4.10 Struktur mikro spesimen pisau setelah HT. (a) baja AISI 1050 (b) baja AISI 4340. (c) baja AISI L-6 (d) baja JIS SUP 9.



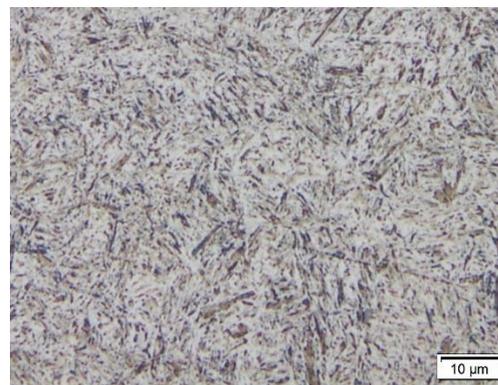
(a)



(b)

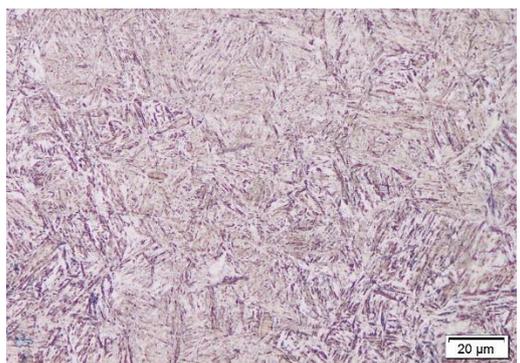


(a)

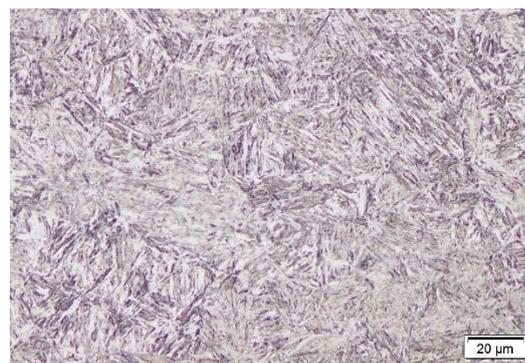


(b)

Gambar 4.11 Struktur mikro spesimen pisau setelah proses HF. (a) Baja AISI 1050. (b) Baja AISI 4340. (c) Baja AISI L-6. (d) Baja JIS SUP 9.

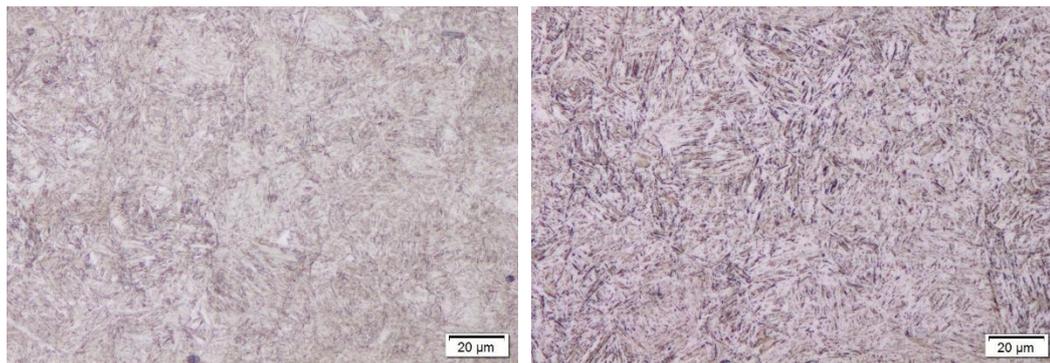


(a)



(b)

Gambar 4.12 Struktur mikro spesimen pisau setelah FH pebesaran 500 X. (a) Baja AISI 1050. (b) AISI 4340.



(a)

(b)

Gambar 4.13 Struktur mikro spesimen pisau setelah FH pebesaran 500 X. (a) Baja AISI L-6. (b) Baja JIS SUP 9.

4.4.3 Pembahasan Struktur Mikro

Bahan awal baja AISI 1050 ditunjukkan pada Gambar 4.7a struktur terdiri dari ferrit (terang) dan pearlit (gelap) dengan butiran kasar. Baja AISI 4340 ditunjukkan Gambar 4.7b, baja AISI L-6 ditunjukkan pada Gambar 4.7c dan baja JIS SUP 9 ditunjukkan pada Gambar 4.7d memiliki struktur mikro awal pearlit halus yang merata pada permukaan bahan. Setelah dilakukan proses tempa, spesimen pisau baja AISI 1050 terjadi perubahan ukuran butir dari butiran kasar menjadi butiran halus yang berbentuk pipih seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8a. Pada spesimen pisau baja AISI 4340, AISI L-6 dan JIS SUP 9 juga terjadi hal yang sama, namun sudah mulai terbentuk struktur baru ditunjukkan pada Gambar 4.8b dan Gambar 4.9a,b. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya perubahan ukuran butir dan pembentukan struktur baru tersebut disebabkan oleh gaya tempa, temperaur tempa dan pendinginan pada akhir penempaan sehingga mengakibatkan terjadinya peningkatan kekerasan.

Hasil pengamatan struktur mikro pada spesimen pisau setelah dikeraskan dengan proses HT, HF dan FH ditunjukkan pada Gambar 4.10, 4.11, 4.12 dan 4.13 bahwa terjadi pembentukan struktur martensit dan sedikit austenit sisa. Fase martensit yang terlihat berwarna gelab berbentuk jarum yang lebih dominan dibandingkan dengan fase ausenit yang berwarna terang. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, Terbentuknya struktur martensit tersebut disebabkan karena unsur C yang terjebak ditengah-tengah struktur austenit akibat proses

pendinginan yang cepat, maka atom-atom Fe tidak mengalami transformasi secara difusi sehingga struktur austenit tidak sempat berubah menjadi struktur bahan awal atau struktur setelah proses tempa.

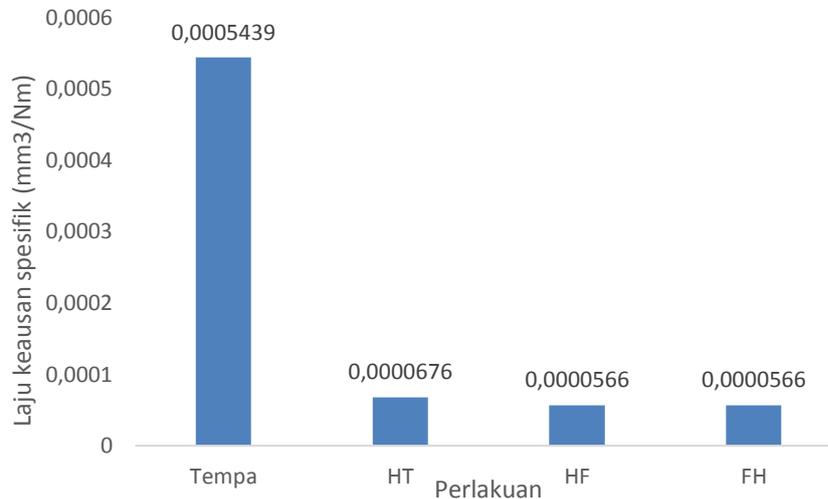
4.5 Pengujian Keausan

Gesekan pisau dengan benda lain pada saat memotong akan menyebabkan terjadinya kehilangan sisi tajam. Pada akhirnya akan menyebabkan pisau menjadi aus sehingga tidak dapat memotong dengan sempurna. Keausan didefinisikan sebagai berkurangnya berat spesimen pisau setelah terjadi gesekan sisi tajam dengan benda keras selama 25 menit. Lampiran 1 dan Tabel 4.5 menunjukkan data yang diperoleh selama eksperimen.

Tabel 4.5 Data pengujian keausan pada bahan pisau setelah perlakuan

Bahan	Perlakuan	ΔV (mm ³)	F (N)	L (m)	K (mm ³ /Nm)
AISI 1050	Tempa	4,12821	12,65	600	0,0005439
	HT	0,51282	12,65	600	0,0000676
	HF	0,42949	12,65	600	0,0000566
	FH	0,42949	12,65	600	0,0000566
AISI4340	Tempa	1,27389	12,65	600	0,0001678
	HT	0,37580	12,65	600	0,0000495
	HF	0,36943	12,65	600	0,0000487
	FH	0,37580	12,65	600	0,0000495
AISI L-6	Tempa	0,80357	12,65	600	0,0001059
	HT	0,17857	12,65	600	0,0000235
	HF	0,17219	12,65	600	0,0000227
	FH	0,18495	12,65	600	0,0000244
JIS SUP 9	Tempa	2,71333	12,65	600	0,0003575
	HT	0,30000	12,65	600	0,0000395
	HF	0,25333	12,65	600	0,0000334
	FH	0,28000	12,65	600	0,0000369

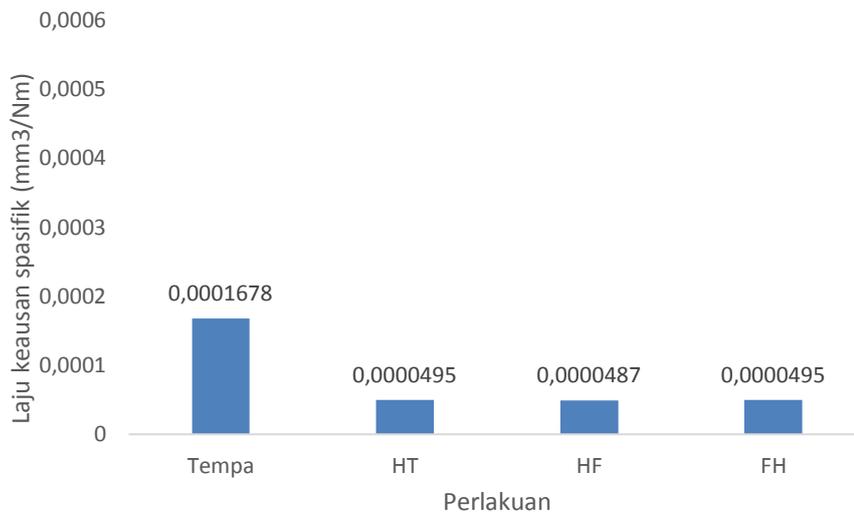
Dari hasil pengujian didapat nilai keausan spesifik pada bahan pisau setelah perlakuan seperti di tampilkan pada Tabel 4.5. Gambar 4.14 menunjukkan keausan spesifik pada spesimen pisau baja AISI 1050.



Gambar 4.14 Grafik laju keausan spesimen pisau baja AISI 1050 setelah perlakuan

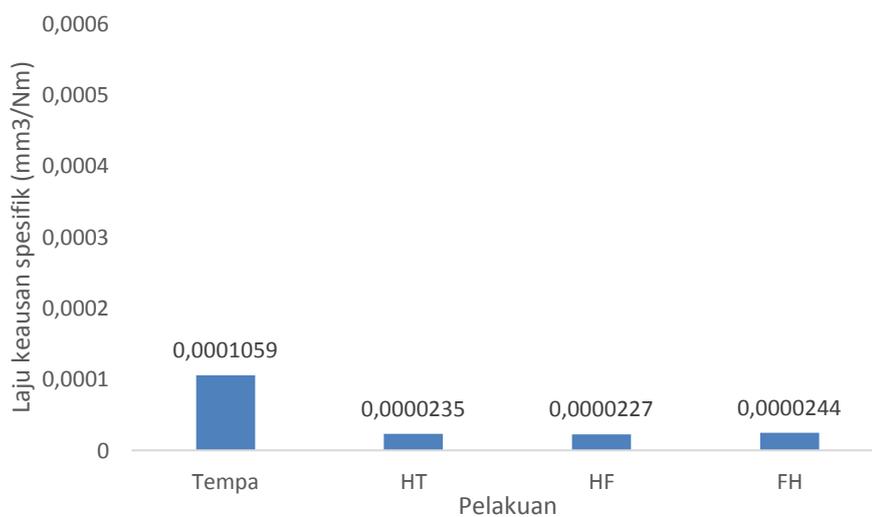
Gambar 4.14 dapat diamati bahwa, setelah proses tempa laju keausan terjadi adalah sebesar $5,439 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$. Setelah dikeraskan terjadi penurunan laju keausan. Spesimen hasil proses HT keausan terjadi sebesar $6,76 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ lebih tinggi dari laju keausan yang terjadi pada spesimen hasil proses HF dan FH yang memiliki nilai laju keausan adalah sebesar $5,66 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$.

Spesimen pisau baja AISI 4340 setelah ditempa laju keausan yang terjadi adalah sebesar $1,678 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ seperti ditampilkan pada Gambar 4.15. Setelah dikeraskan juga terjadi penurunan laju keausan. Spesimen hasil proses HT dan FH terjadi laju keausan yang sama yaitu sebesar $4,95 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ sedikit lebih tinggi dari laju keausan yang terjadi pada spesimen hasil proses HF dengan laju keausan adalah sebesar $4,87 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$.



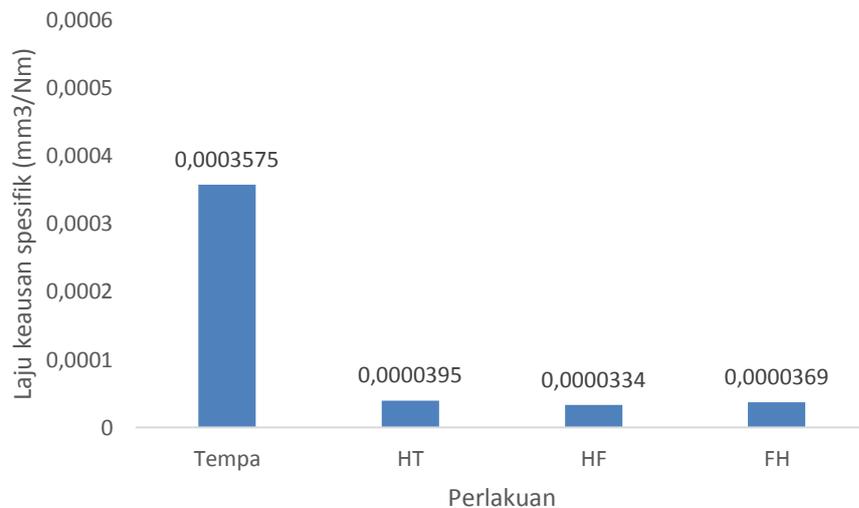
Gambar 4.15 Grafik laju keausan spesimen pisau baja AISI 4340 setelah perlakuan

Spesimen pisau bahan baja AISI L-6 terjadi laju keausan sebesar $1,059 \times 10^{-4}$ mm³/Nm setelah ditempa ditunjukkan Gambar 4.16. Setelah dikeraskan juga terjadi penurunan laju keausan. Spesimen hasil proses HT laju keausan terjadi sebesar $2,35 \times 10^{-5}$ mm³/Nm lebih tinggi dari laju keausan yang terjadi pada spesimen hasil proses HF adalah sebesar $2,27 \times 10^{-5}$ mm³/Nm. Spesimen hasil proses FH laju keausan yang terjadi adalah sebesar $2,44 \times 10^{-5}$ mm³/Nm lebih tinggi dari laju keausan yang terjadi pada proses HT dan HF.



Gambar 4.16 Grafik laju keausan spesimen pisau baja AISI L-6 setelah perlakuan

Spesimen pisau JIS SUP 9 ditunjukkan Gambar 4.17, laju keausan setelah ditempa adalah sebesar $3,575 \times 10^{-4} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ setelah dikersakan terjadi penurunan menjadi sebesar $3,95 \times 10^{-5}$ pada spesimen hasil proses HT. Laju keausan yang terjadi pada spesimen hasil proses HF adalah sebesar $3,34 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ lebih rendah dari laju keausan yang terjadi pada spesimen hasil proses HT dan FH. Laju keausan yang terjadi pada hasil proses FH adalah sebesar $3,69 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ lebih rendah dari laju keausan yang terjadi pada spesimen hasil proses HT.



Gambar 4.17 Grafik laju keausan spesimen pisau baja JIS SUP 9 setelah perlakuan

Hasil pengujian kekerasan jenis bahan pisau setelah perlakuan dilihat Tabel 4.3. dan 4.4. Dari tabel tersebut diketahui bahwa kekerasan pada setelah proses ditempa lebih rendah dari kekerasan yang terjadi setelah proses pengerasan. Sifat kekerasan mempengaruhi ketahanan aus dari suatu bahan, di mana bahan yang memiliki nilai kekerasan lebih tinggi akan memiliki laju keausan yang lebih rendah (González-mora dkk, 2011). Selain itu kadar Cr juga mempertahankan laju keausan pada bahan (Hrisoulas, 1991).

Hasil pengujian keausan pada jenis bahan dan proses perlakuan seperti ditampilkan pada Gambar 4.14, 4.15, 4.16 dan 4.17 menunjukkan bahwa setelah proses tempa terjadi laju keausan lebih besar dibandingkan dengan laju keausan yang terjadi setelah proses pengerasan. Hal ini disebabkan karena kekerasan hasil proses tempa lebih rendah dibandingkan dengan kekerasan yang terjadi setelah proses pengerasan.

Dari jenis bahan dapat diamati bahwa laju keausan tertinggi terjadi pada baja AISI 1050 dan laju keausan terendah terjadi pada baja AISI L-6 seperti ditampilkan pada Gambar 4.14 dan 4.16. Hal juga disebabkan karena perbedaan tingkat kekerasan. Bahan pisau JIS SUP 9 memiliki nilai kekerasan tertinggi setelah dikeraskan namun laju keausan yang terjadi lebih besar dari baja AISI L-6. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, selain sifat kekerasan kadar Cr dalam bahan juga dapat mempertahankan tingkat keausan. Dari Tabel 4.1 menunjukkan bahwa baja AISI L-6 memiliki kadar Cr sebesar 1,13% sedangkan JIS SUP 9 memiliki kadar Cr sebesar 0,82%.

Peningkatan ketahanan aus juga disebabkan oleh struktur martensit dan juga adanya austenit sisa pada matriks martensit (Silva, V. F, dkk, 1998). Hasil pengamatan struktur mikro pada masing-masing bahan pisau setelah dikeraskan menunjukkan terbentuk struktur yang didominasi oleh struktur martensit dan sedikit austenit sisa dapat dilihat pada Gambar 4.10, 4.11, 4.12, dan 4.13. Setelah ditempa struktur mikro yang terbentuk pada bahan pisau adalah ferrit dan pearlit dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan 4.9. hal ini menyebabkan terjadi perbedaan laju keausan antara pisau hasil tempa dengan pisau hasil proses pengerasan. Pisau hasil proses pengerasan memiliki ketahanan aus lebih baik dibandingkan dengan pisau hasil tempa.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan adalah sebagai berikut:

1. Sifat mekanis pisau terkait dengan kekerasan dipengaruhi oleh pemilihan bahan dan proses perlakuan. Proses tempa manual dan pengerasan dapat meningkatkan nilai kekerasan. Kekerasan tertinggi didapat pada bahan baja JIS SUP 9 dengan pengerasan *furnace* adalah sebesar sbesar 62 HRC di permukaan dan 60,2 HRC di penampang dan kekerasan terendah terdapat pada bahan baja AISI 1050 dengan pengerasan tradisional adalah sebesar 55,5 HRC di permukaan dan 55,2 HRC di penampang.
2. Laju keausan pisau juga dipengaruhi oleh jenis bahan dan proses perlakuan. Bahan hasil proses tempa memiliki nilai laju keausan lebih tinggi dibandingkan dengan bahan hasil proses pengerasan. Laju keausan tertinggi didapat sebesar $6,76 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ pada bahan baja AISI 1050 dengan proses pengerasan tradisional. laju keausan terendah adalah sebesar $2,27 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ didapat pada bahan baja AISI L-6 dengan pengerasan *furnace*.
3. Hasil pengamatan struktur mikro pada jenis bahan pisau menunjukkan bahwa pada permukaan dan penampang setelah dikeraskan didominasi oleh struktur martensit dan sedikit austenit sisa.

5.2 Saran

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

1. Melakukan penelitian serupa dengan pengukuran ketajam sisi potong, ketangguhan dan korosi.
2. Menggunakan bahan yang sama dan metode *pattern welding* dalam pembuatan pisau dengan pengukuran kekerasan, ketajaman, keusan dan laju korosi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Boyo, D. 1977, "Step by Step Knifemeking".
- Fatollahi, F., Fard. (2011), "Damascus Steel", *MSE*, Vol. 121, hal 1-10.
- González-mora, V.A., Hoffmann, M., Stroosnijder, R., Espinar, E., Llamas, J.M., Fernandez-Fairen, M., Gil, F.J., (2011), "Influence of Different CoCrMo Counterfaces on Wear in Ultra-high Molecular Weight Polyethelene for Rrtificial Joints," *J. Biomed. Sci. Eng.*, vol. 4, Hal. 375–382.
- Khonsari, MM., Booster, ER. (2001) "Applied Tribology, Bearing Design and Lubrication", New York.
- Hrisoulas, J. (1991), "*The Master Bladesmith*", Advanced Studies in Steel, Boulder, Colorado, Unitet States of America.
- Nurkhozin, M. (2006), "Pengaruh Manual Flame Hardening pada Baja Tempa", *Master Thesis* yang tidak dipublikasikan, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Özkan, F., Kirdan, H., Kara, I. H., Hüsem, F., Akinay, Y., Ug, H. C., Sun, Y., Ahlatic, H. (2014), "Mechanical Propertis of pattern welding 1075-15N20 Steel". *Mater test*, Vol. 56, Hal. 897-900.
- Penha, R.N., Vatauvuk. J, Couto, A.A., Pereira, S. A. de. L., Sousa. S. A. de., Canale, L. de. C. F. (2015), "Effect of Chemical Banding on the Local Hardenability in AISI 4340 Steel Bar", *Engineering Failure Analysis*, Vol. 55, Hal. 59-68.
- Peterson, D.T., Baker, H.H., Verhoeven., J.D. (1990), "Damascus Steel, Characterization of One Damascus Steel Sword", *Materials Characterization*, Vol. 24, Hal. 355-374.
- Susastro., Yusup, K., (2013)," Studi Eksperimental Laju Keausan antara Bua buah High Density Polyethylene (hdpe) dengan Variasi Normal Load pada Kondisi Reciprocating sebagai Sendi Rahang Buatan (Temporomandibular Joint) Manusia" *Master Tugas Akhir*, Institut Sepuluh November, Surabaya.

- Schey, J.A. (2000) *“Introduction to Manufacturing Processes”* Terjemahan, Andi, Yogyakarta.
- Schoroen, K. (1984), *“The Forged Knife”*, An Introduction to Working of Modern Tool Steel, Unitet States of America.
- Silva, V.F., Canale, L.F., Spinel, D., Filho, W.W.B., Crnkovic, O.R., (1999), “Influence of retained austenite on short fatigue crack growth and wear resistance of case carburized steel”, *Journal of materials Engineering and Performance*, Vol. 8, No. 5, Hal. 543-548.
- Verhoeven, J.D., Pendra, A.H., Clark, H.F. (2008), “Wear tests of steel knife blades”, *Wear*, Vol. 265, Hal. 1093-1099.
- Verhoeven, J.D. (2005) *“Metallurgy of Steel for Bladesmiths & Others who Heat Treat and Forge Steel”*, Emeritus Professor Iowa State University.
- Verhoeven, J.D. (2001a), “The Mystery of Damascus Blades”, *Scientific American* Vol, 284, No.1, Hal. 74-79.
- Verhoeven, J.D., Pendray, A.H. (2001b), “Origin of the Damask pattern in Damascus steel blades”, *Materials Characterization*, Vol. 47, Hal. 423-424.
- Verhoeven, J.D., Pendra, A.H., Gibson, E.D. (1996), “Wootz Damascus Steel Blades” *Materials Characterization* Vol.37, Hal. 9-22.
- Voort Vander, G., F. (2004), “Metallography and Microstructures”, *ASM Handbook*. Vol. 9.
- Voort Vander, G., F. (1991), *“Atlas of Time-Temperature Diagram for Irons and Steel”* Carpenter Technology Corporation Reading PA, ASM International.
- Voort Vander, G., F. (1991), “Heat Treating” *ASM Handbook*, Vol. 4
- Wadsworth, J., Lesuer, D. R. (2000), “The knives of Frank J. Richtig as featured in Ripley's Believe It or Not” *Materials Characterization*, Vol. 45, Hal. 315-326.
- Yoso, M., Takaiwa, T., Minagi, Y., Kanaizumi, T., Kubota, K., Hayashi, T., Morito, S., Ohba, T. (2013) “ Study of Javanese Sword from a Viewpoint of steel strength”, *Alloys Compd* Vol. 557, Hal 690-694.

LAMPIRAN 1

Komposisi kimia bahan



UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No : 01 Customer : HABID
Furnace : Name of Equipment : 1050
Heat No : Order No :
Lab. No : 30042016/00 Material : Low Alloy Steel

Spektroanalyzer Foundry-MASTER				Grade :						
	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	
1	98,6	0,454	0,216	0,508	0,0227	0,0085	0,0260	0,0025	0,0192	
2	98,6	0,452	0,223	0,501	0,0233	0,0089	0,0261	0,0029	0,0197	
Ave	98,6	0,453	0,220	0,505	0,0230	0,0087	0,0261	0,0027	0,0194	

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn
1	0,0017	0,0079	0,0357	0,0025	0,0023	< 0,0010	< 0,0075	< 0,0025	0,0100
2	0,0022	0,0076	0,0360	0,0020	0,0031	< 0,0010	< 0,0075	< 0,0025	0,0099
Ave	0,0020	0,0078	0,0359	0,0023	0,0027	< 0,0010	< 0,0075	< 0,0025	0,0100

	B	Ca	Zr	Bi	As	N	Sb
1	< 0,0003	< 0,0001	0,0021	< 0,0050	0,0267	< 0,0050	0,0187
2	< 0,0003	0,0002	0,0020	< 0,0050	0,0268	< 0,0050	0,0180
Ave	< 0,0003	0,0001	0,0020	< 0,0050	0,0268	< 0,0050	0,0183

Town Gresik - Jawa Timur Date 30/04/2016 Tester QC. Manager

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123
Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666
Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id



barata indonesia PT. (PERSERO)

UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No : 03 Customer : HABID
 Furnace : Name of Equipment : 4340
 Heat No : Order No :
 Lab. No : 30042016/00 Material : Low Alloy Steel

Spektroanalyzer Foundry-MASTER Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
1	95,8	0,393	0,229	0,728	0,0108	0,0131	0,809	0,178	1,57
2	95,8	0,398	0,230	0,732	0,0112	0,0126	0,803	0,179	1,56
Ave	95,8	0,396	0,229	0,730	0,0110	0,0129	0,806	0,178	1,57

	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn
1	0,0185	0,0104	0,105	0,0056	0,0019	< 0,0010	< 0,0075	< 0,0025	0,0080
2	0,0181	0,0105	0,106	0,0019	0,0022	< 0,0010	< 0,0075	< 0,0025	0,0084
Ave	0,0183	0,0105	0,105	0,0037	0,0020	< 0,0010	< 0,0075	< 0,0025	0,0082

	B	Ca	Zr	Bi	As	N	Sb
1	< 0,0003	0,0005	0,0055	0,0058	0,0035	0,0063	0,0084
2	< 0,0003	0,0003	< 0,0015	0,0064	0,0036	0,0056	0,0147
Ave	< 0,0003	0,0004	0,0029	0,0061	0,0035	0,0059	0,0115

Town : Gresik - Jawa Timur Date : 30/04/2016 Tester : QC. Manager

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123
 Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666
 Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id



barata indonesia PT. (PERSERDA)

UNIT FOUNDRY GRESIK

Chemical Results

Sample No : 04 Customer : HABID
 Furnace : Name of Equipment : SKT4
 Heat No : Order No :
 Lab. No : 30042016/00 Material : Low Alloy Steel

Spektroanalyzer Foundry-MASTER Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
1	94,7	0,471	0,405	0,790	0,0159	0,0041	1,08	0,366	1,74
2	94,4	0,469	0,390	0,855	0,0243	0,0054	1,17	0,455	1,73
Ave	94,5	0,470	0,397	0,822	0,0201	0,0047	1,13	0,411	1,73
	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn
1	0,0256	0,0216	0,120	0,0063	0,0017	0,0949	0,0802	0,0066	0,0082
2	0,0218	0,0209	0,120	0,0081	0,0024	0,109	0,0638	< 0,0025	0,0121
Ave	0,0237	0,0212	0,120	0,0072	0,0020	0,102	0,0720	0,0041	0,0102
	B	Ca	Zr	Bi	As	N	Sb		
1	0,0008	0,0035	0,0042	0,0066	0,0068	0,0093	0,0105		
2	0,0004	0,0010	0,0023	< 0,0050	0,0100	0,0112	0,0178		
Ave	0,0006	0,0022	0,0032	< 0,0050	0,0084	0,0103	0,0141		

Town Gresik - Jawa Timur Date 30/04/2016 Tester QC. Manager

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123
 Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666
 Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id

LAMPIRAN 2

Pisau tempa manual



LAMPIRAN 3

Proses Pembuatan pisau



Pemanasan



Tempa



Pengerasan pande besi



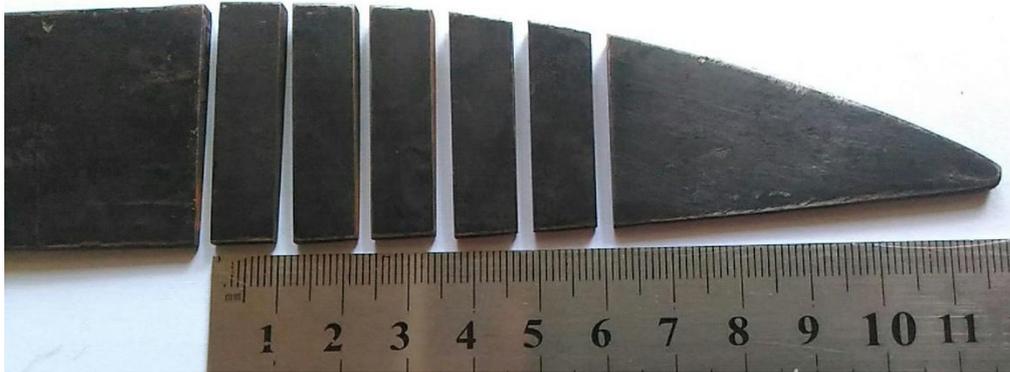
Pengerasan furnace



Flame hardening manual

LAMPIRAN 4

Pembuatan spesimen uji kekerasan dan pengamatan struktur mikro



BIODATA PENULIS



Balkhaya, dilahirkan di Jambo manyang Kabupaten Aceh Selatan pada tanggal 12 Juli 1980, penulis adalah putra pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Zulkifli dan Ibu Ramlah. Pendidikan dasar ditempuh di SD No 3 Asahancut Kec. Kluet Utara Kab. Aceh Selatan, lulus pada tahun 1994. Pendidikan menengah pertama ditempuh pada SMP Negeri 4 Kluet Utara Aceh Selatan, lulus pada tahun 1997. Pendidikan menengah atas ditempuh pada SMU Negeri 1 Kluet Utara Aceh Selatan, lulus pada tahun 2000. Pada tahun 2001 melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi tepatnya di Jurusan Teknik Mesin Universitas Syiah Kuala (Unsyiah) Banda Aceh. Gelar Sarjana Teknik (ST) diperoleh setelah menamatkan pendidikannya pada tahun 2009. Pada tahun 2010 penulis diterima sebagai tenaga pengajar pada Politeknik Aceh Selatan (POLTAS). Untuk menambah keilmuan yang dimiliki pada tahun 2014 penulis melanjutkan studi Pascasarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya tepatnya di Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin Program Studi Sistem Rekayasa dan Manufaktur. Saat ini penulis mempunyai keinginan untuk mengembangkan hasil dari tesisnya menjadi penelitian-penelitian lanjut dibidang proses manufaktur.