

Pengaruh Temperatur Penempaan pada Baja 0.5CCrMnSi dan JIS SUP 9 terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro

Ayu K.K Suprpto dan Suwarno

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: warnoise@gmail.com

Abstrak—Pada dasarnya kualitas dari sebuah pisau ditentukan oleh bahan dan proses pembuatan. Untuk pisau dengan bahan dasar logam dibuat dengan proses tempa. Proses penempaan menghaluskan struktur butir dan mengurangi proses permesinan. Butir yang halus searah dengan penempaan dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan pisau. Sebagai upaya untuk mengetahui pengaruh komposisi kimia dan temperatur penempaan terhadap kekerasan baja dan struktur mikro dari pisau, penelitian ini dilakukan. Pada penelitian ini dilakukan proses penempaan pada baja 0.5CCrMnSi dan JIS SUP 9. Penempaan dilakukan dalam tiga tahap siklus dengan dua variasi temperatur. Pada tahap pertama dan kedua penempaan dilakukan pada temperatur 1000°C sampai 700°C. Penempaan pada tahap 3 diberikan variasi, 750°C sampai 600°C untuk variasi 1 dan 650°C sampai 500°C untuk variasi 2. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa pisau dengan penempaan temperatur variasi kedua memiliki peningkatan kekerasan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan variasi satu. Struktur mikro dengan variasi temperatur kedua memiliki ukuran butir yang lebih kecil bila dibandingkan dengan variasi temperatur pertama. Terdapat pola pada permukaan pisau dengan bahan JIS SUP 9 dan 0.5CCrMnSi.

Kata Kunci—JIS SUP 9, 0.5CCrMnSi, penempaan, pisau, temperatur penempaan.

I. PENDAHULUAN

ALAT potong, khususnya pisau, merupakan salah satu teknologi yang sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Pemilihan bahan dari pisau berkembang seiring dengan perkembangan kebutuhan manusia yang semakin beraneka ragam. Pada dasarnya kualitas dari sebuah pisau ditentukan oleh bahan dan proses pembuatan yang digunakan. Salah satu bahan yang digunakan adalah logam. Untuk pisau dengan bahan dasar logam dibuat dengan proses tempa.

Penempaan merupakan pembentukan logam yang dilakukan dengan mendeformasi plastis suatu bahan. Penempaan dilakukan dengan pemberian beban yang berulang-ulang atau membentuk siklus. Proses penempaan mengecilkan struktur butir dan mengurangi proses permesinan. Ukuran butir dalam proses penempaan dipengaruhi oleh temperatur, komposisi kimia dan proses mekanik [1]. Ukuran butir mengecil seiring dengan menurunnya temperatur penempaan. Bahan hasil proses tempa dapat memiliki bentuk butir yang halus. Butir yang halus searah dengan penempaan dapat meningkatkan

kekuatan dan kekerasan pisau.

Pisau buatan pande besi tradisional kawisanyar di Gresik menggunakan baja-baja bekas seperti *spring steel*. *Spring steel* mempunyai komposisi kimia 0.62% C, 0.85% Mn, 0.01% P, 0.24% Si, 0.04% Ni, 0.89% Cr, 0.01% Mo, 0.03%. Pande besi tradisional memiliki pengetahuan metalurgi yang terbatas sehingga pisau-pisau yang dihasilkan berkualitas rendah dan kurang bersaing dengan pisau-pisau impor. Namun kualitas pisau buatan pande besi tradisional dapat ditingkatkan dengan pemilihan bahan dan proses penempaan serta proses *finishing* yang tepat [2].

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 [3]. Pisau damaskus memiliki kekerasan 51 HRC. Karakteristik permukaan pisau damaskus menunjukkan *lamellar* cementit dan ferit berbentuk pola yang bergelombang atau sering disebut pola damask. Hal ini dipengaruhi oleh proses tempa dan unsur-unsur pengotor seperti V, Mn, Si, S dan P. Molibdenum juga memberikan efek yang sama pada tingkat yang lebih rendah, begitu juga kromium, niobium dan mangan.

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

Berdasarkan hal-hal yang dijelaskan tentang pentingnya pemilihan bahan dan proses penempaan, maka perlu dilakukan penelitian tentang bahan pisau untuk mengamati fenomena yang meliputi kekerasan dan struktur mikro. Selain itu karena belum ada penelitian untuk mengetahui perilaku dari Baja 0.5CCrMnSi dan JIS SUP 9 terhadap temperatur penempaan dengan variasi temperatur 1000°C sampai 600°C dan 1000°C sampai 500°C. Pembuatan pisau dilakukan dengan penempaan manual oleh pande besi tradisional.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

Peneliti terdahulu telah melakukan penelitian tentang beberapa bahan pisau Damaskus. Pengujian menggunakan *Electron probe microanalysis* (EPMA) pada *ingot* logam Sorel menunjukkan terjadi *microsegregated* pada *interdendit* yang lebih terkonsentrasi.

B. Bahan-Bahan Pisau

Bahan merupakan hal yang sangat penting dalam pembuatan pisau. Terdapat unsur-unsur penyusun logam (Hrisoulas, 1987): Besi (Fe), Karbon (C), Kromium (Cr), Timbal (Pb), Mangan (Mn), Molybdenum (Mo), Nikel (Ni), Fosfor (P), Silikon (Si), Sulfur (S), Wolfram (W) dan Vanadium (V).

C. Baja 0.5CCrMnSi

Baja 0.5CCrMnSi ini mempunyai kekerasan yang tinggi dan ketangguhan yang baik. Kekerasan dari baja ini bernilai 34,6 HRC sedangkan nilai impaknya sebesar 0,4 kpm. Temperatur A₃ dari material ini sebesar 798.158°C.

D. Baja JIS SUP 9

Spring steel sering digunakan untuk membuat pisau. Grade terdekat dari baja ini adalah JIS SUP 9. Kekerasan baja JIS SUP 9 berkisar antara 39-43 HRC. Temperatur tempa pada baja ini berkisar antara 400-800°C dengan temperatur pengerasan permukaan 850°C. Media pendingin pada baja JIS SUP 9 air dan oli.

E. Proses Tempa (Forging)

Pembentukan logam yang dilakukan dengan memberikan deformasi plastis suatu bahan disebut *forging*. Penempaan dilakukan dengan pemberian beban yang berulang atau membentuk siklus. Penempaan dapat dilakukan secara manual maupun otomatis dengan menggunakan mesin. Proses pemanasan menyebabkan ukuran butir membesar. Bahan hasil proses tempa memiliki bentuk butir halus searah dengan penempaan. Hal tersebut meningkatkan kekuatan dan ketajaman pisau.

Pande besi tradisional melakukan pengontrolan temperatur secara manual berdasarkan warna dari baja dan api yang dihasilkan. Secara tidak langsung warna dari api menunjukkan temperturnya, seperti pada Tabel 1 dibawah ini. Warna api atau baja yang digunakan ketika melakukan penempaan pada umumnya berwarna *cherry red* atau pada temperatur tempa sekitar 800°C [4].

Tabel 1. Variasi Warna dan Temperatur Pada Api

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

Sumber : Hrisoulas, 1987

Pada metode penempaan pisau damaskus, logam akan lebih banyak mengalir ke arah longitudinal pisau dari pada arah transversal. Perubahan bentuk selama penempaan didesain untuk memproduksi aliran yang sama banyak pada arah longitudinal maupun transversal, diilustrasikan seperti Gambar 5. Faktor penempaan 9 (S_0/S_f) mengurangi diameter butir cementit ($\approx 500 \mu\text{m}$) menjadi lembaran cementit dengan jarak 56 μm . Dimana jarak lembaran cementit yang baik untuk pola damaskus adalah 30 sampai 100 μm . Untuk dimensi t, faktor penempaan yang digunakan adalah 3. Kemudian untuk dimensi l juga menggunakan faktor penempaan 3.

F. Perlakuan Panas (Heat Treatment)

Annealing merupakan proses perlakuan panas yang terdiri atas pemanasan dan penahanan pada temperatur yang sesuai diikuti dengan pendinginan pada kecepatan yang lambat. Proses ini dapat merupakan proses yang mempersiapkan untuk proses selanjutnya dalam suatu rangkaian proses produksi. Terdapat berbagai macam proses *annealing* antara lain *full annealing*, *stress relief annealing*, *normalizing*, *spherodizing* dan *homogenizing*.

III. BAHAN DAN METODOLOGI PENELITIAN

A. Bahan

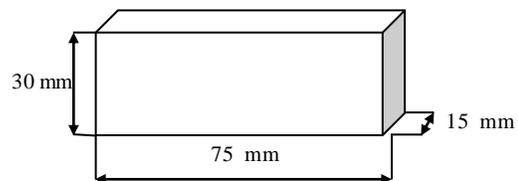
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0.5CCrMnSi dan JIS SUP 9 dengan rincian komposisi kimia sebagai berikut:

Tabel 2. Bahan penelitian dan komposisi kimia

Bahan	Unsur-unsur (% berat)								
	C	Mn	P	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	V
0.5CCrMn	0.5	1.9	0.0	1.7	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0
Si	4	9	2	7	5	1	5	1	
JIS SUP 9	0.6	0.8	0.0	0.2	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0
	2	5	1	4	4	9	1	3	1

Sumber : Uji Spektrometer

Dimensi dari spesimen yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1. spesimen tersebut berbentuk plat dengan dimensi panjang 75 mm, lebar 15 mm dan tebal 30 mm.



Gambar 1. Skema spesimen.

B. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Alat Ukur
- Alat Potong
- Tungku Elektrik (*Furnace*)
- Mesin *Optical Emission Spectrometer*
- Tungku Pemanas Tradisional
- Palu dan Landasan
- Penjepit

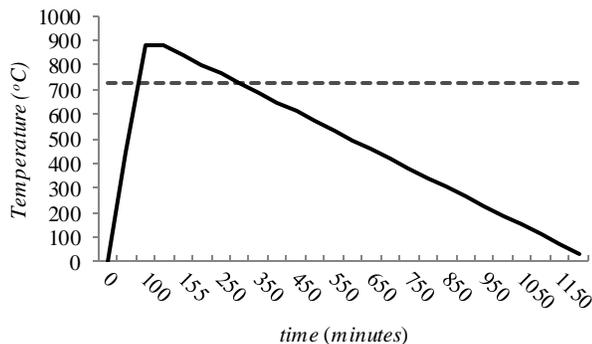
- h. Pahat
- i. Gerinda Tangan

C. Metode Pembuatan Pisau

Metode pembuatan pisau pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Perlakuan Panas

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



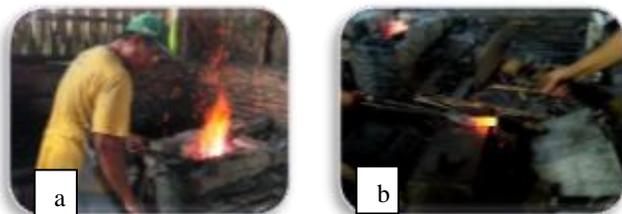
Gambar 2. Skema grafik *annealing* menggunakan *furnace*.

2) Penempaan

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

Tabel 3.
Rancangan penempaan

Tahap	Variasi	Rentang Temperatur (°C)	Tebal (mm)		% Reduction
			Awal	Akhir	
1	T1,T2	1000 → 750	30	23	23.33
2	T1,T2	800 → 700	23	16	30.43
3	T1	750 → 600	16	3	81.25
	T2	650 → 500			



Gambar 3. (a) Pemanasan dan (b) penempaan pisau. (dokumentasi pribadi)

3) Proses Gerinda

Proses ini bertujuan untuk menghilangkan baja sisa penempaan dan permukaan baja yang terdekarburisasi. Gerinda tangan dapat digunakan pada tahap ini.

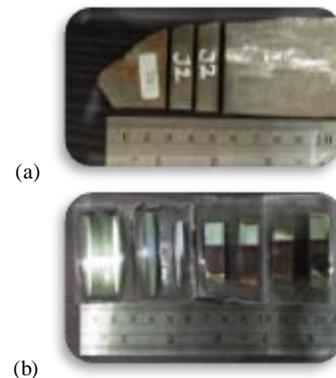


Gambar 4. Pisau (a) sebelum digerinda dan (b) setelah digerinda.

Terdapat empat bilah pisau hasil penempaan, masing-masing pisau berukuran 26 cm dari ujung hingga pangkal. Lebar dari pisau tersebut adalah 4 cm.

D. Persiapan Pengujian

Sebelum dilakukan pengujian, pisau dipotong dengan ukuran 10 mm (Gambar 5(a)), panjang dan tebal disesuaikan dengan dimensi pisau. Selanjutnya bagian pisau yang sudah dipotong diberi *mounting* (Gambar 5(b)) untuk mempermudah pemegangan dan pengukuran.



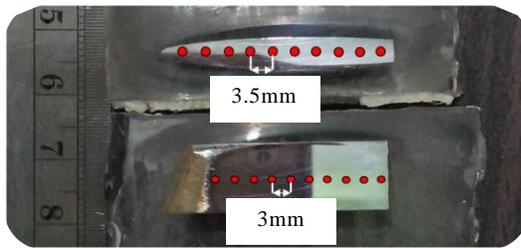
Gambar 5. Pisau (a) dipotong melintang dan (b) diberi *mounting*.

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

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

A. Pengujian Kekerasan

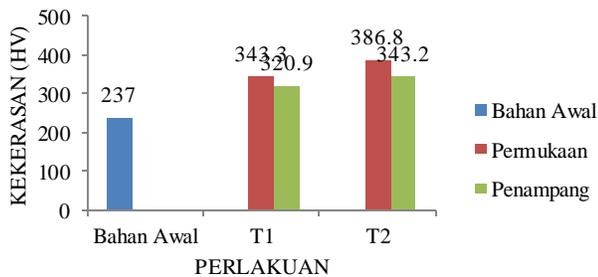
Nilai kekerasan diperoleh dari pengujian bahan awal dan pisau tempa manual dengan variasi bahan dan temperatur penempaan yang terdiri dari variasi temperatur pertama (T1) dan variasi temperatur kedua (T2). Pengambilan data kekerasan untuk setiap pisau yang telah ditempa dilakukan pada permukaan dan penampang pisau masing-masing sepuluh titik. Gambar 6 merupakan sketsa pengambilan nilai kekerasan pada penampang dan permukaan pisau.



Gambar 6. Lokasi indentasi spesimen.

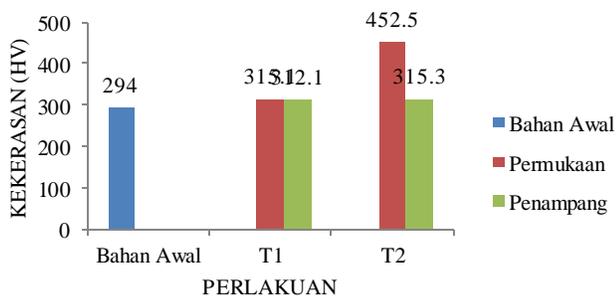
1) Kekerasan pada Bahan Pisau setelah Penempaan

Dari hasil pengujian didapat nilai rata-rata kekerasan pada bahan awal dan setelah penempaan seperti ditunjukkan Gambar 7 dan Gambar 8 berikut.



Gambar 7. Grafik nilai rata-rata kekerasan pisau baja JISSUP 9.

Gambar 7. menunjukkan nilai rata-rata kekerasan dari bahan awal dan setelah penempaan pada baja JIS SUP 9. Bahan awal memiliki kekerasan 237 HV. Setelah dilakukan penempaan terjadi peningkatan kekerasan pada permukaan dan penampang. Pada variasi pertama kekerasan pada permukaan dan penampang meningkat menjadi 343.3 HV dan 320.9 HV. Hal yang sama terjadi pada temperatur variasi kedua, kekerasan pada permukaan menjadi 349 HV dan pada penampang adalah sebesar 343.2 HV. Peningkatan kekerasan pada variasi dua lebih tinggi bila dibandingkan dengan variasi satu. Pada kedua variasi, kekerasan pada permukaan lebih tinggi bila dibandingkan dengan kekerasan pada penampang.



Gambar 8. Grafik nilai rata-rata kekerasan pisau baja 0.5CCrMnSi.

Gambar 8. menunjukkan nilai kekerasan spesimen pada pisau 0.5CCrMnSi. Nilai kekerasan pada bahan awal sebesar 294 HV. Setelah dilakukan proses penempaan terjadi peningkatan kekerasan pada permukaan dan penampang pisau. Pada variasi satu kekerasan meningkat menjadi 315.1 HV pada permukaan dan 312.1 HV pada penampang pisau. Pada

variasi dua kekerasan meningkat menjadi 452.5 pada permukaan dan 315.3 pada penampang. Untuk kekerasan pada permukaan, penempaan yang dilakukan pada variasi dua menghasilkan kekerasan permukaan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan variasi satu. Namun, kekerasan pada penampang variasi satu lebih tinggi daripada variasi dua.

2) Pembahasan Kekerasan

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

Tabel 4. Peningkatan nilai kekerasan

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

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

Pada bahan baja 0.5CCrMnSi, peningkatan kekerasan lebih tinggi terjadi pada variasi dua yaitu sebesar 158.5 HV sedangkan pada variasi satu sebesar 21.1 HV. Pada penampang pisau, nilai peningkatan kekerasan lebih tinggi pada variasi dua yaitu 21.3 HV sedangkan pada variasi satu sebesar 18.1 HV. Terjadi perbedaan peningkatan kekerasan yang sangat jauh pada bagian permukaan variasi dua. Hal tersebut diduga karena pada saat pengujian, fase yang lebih banyak terkena indentasi adalah karbida-karbida yang tersebar pada permukaan pisau

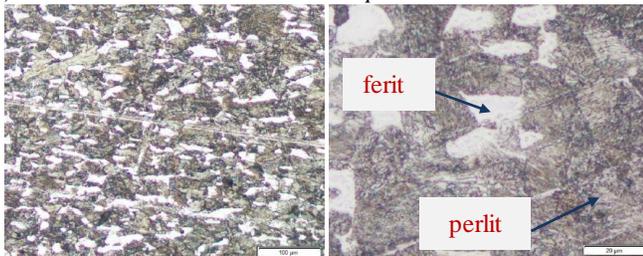
Dari nilai peningkatan kekerasan yang dimiliki oleh baja JIS SUP 9 dan baja 0.5CCrMnSi, terlihat bahwa kedua baja tersebut memiliki sifat kemampukerasan yang berbeda. Baja JIS SUP 9 memiliki peningkatan kekerasan yang lebih stabil bila dibandingkan dengan baja 0.5CCrMnSi. Beberapa faktor yang mempengaruhi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

Peningkatan kekerasan pada variasi kedua lebih tinggi bila dibandingkan dengan variasi pertama. Hal tersebut dapat terjadi karena proses penempaan kedua dilakukan pada temperatur yang lebih rendah yaitu 650°C hingga 500 °C. logam akan naik kekerasannya bila logam tersebut mengalami

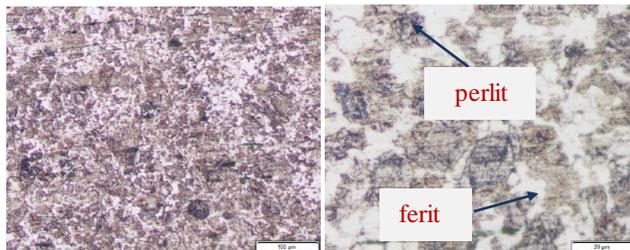
deformasi plastis akibat pengerjaan dingin (*cold working*), dalam hal ini adalah proses tempa yang mengakibatkan adanya *strain hardening*. Dislokasi akan sulit bergerak seiring dengan besarnya regangan yang diterima oleh suatu material. Karena variasi kedua menggunakan temperatur yang lebih rendah dari temperatur yang pertama, maka variasi kedua membutuhkan siklus tempa lebih banyak untuk membentuk sebilah pisau. Semakin banyak siklus maka akan semakin banyak pula pukulan yang akan diterima oleh spesimen. Oleh karena itu, ukuran butir juga akan semakin kecil dan regangan yang diterima juga akan semakin besar dengan proses tempa yang semakin lama. Hal tersebut yang membuat pisau dengan temperatur variasi dua memiliki peningkatan kekerasan lebih tinggi.

B. Pengujian Metalografi

1) Struktur Mikro Sebelum Penempaan

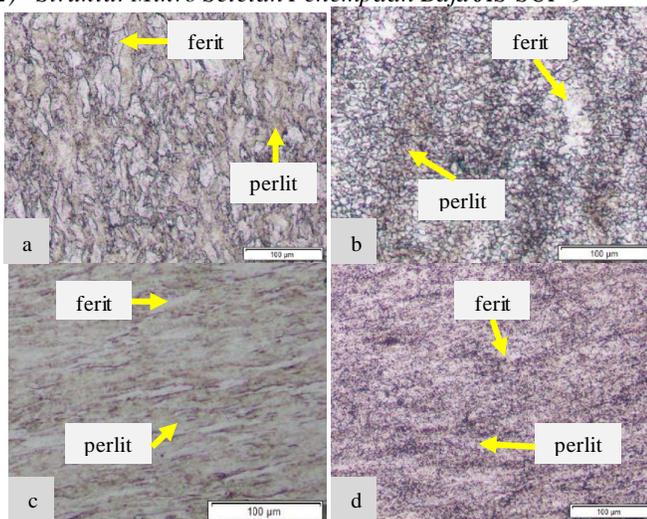


Gambar 9. Struktur mikro JIS SUP 9 sebelum ditempa. Nital 2% . 100x dan 500x.



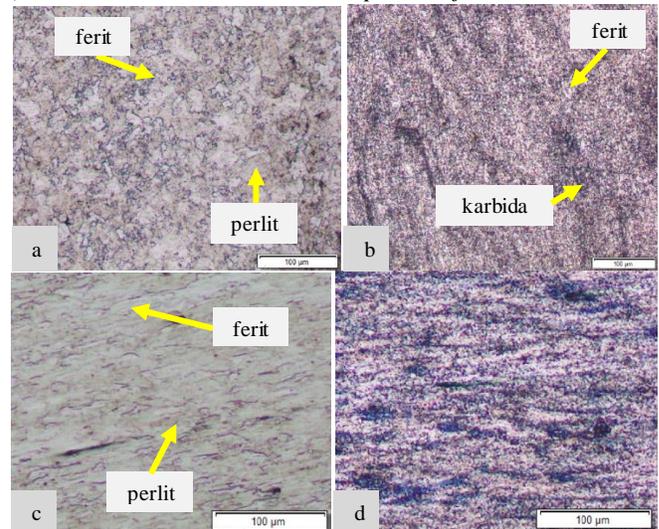
Gambar 10. Struktur mikro baja 0.5CCrMnSi sebelum ditempa. Nital 2%. 100x dan 500.

2) Struktur Mikro Setelah Penempaan Baja JIS SUP 9



Gambar 11. Struktur mikro spesimen pisau baja JIS SUP 9 setelah ditempa (a) Permukaan T1, (b) Permukaan T2, (c) Penampang T1 dan (d) Penampang T2. Nital 2%. 100x.

3) Struktur Mikro Setelah Penempaan Baja 0.5CCrMnSi



Gambar 12. Struktur mikro spesimen pisau baja 0.5CCrMnSi setelah ditempa (a) Permukaan T1, (b) Permukaan T2, (c) Penampang T1 dan (d) Penampang T2. Nital 2%. 100x.

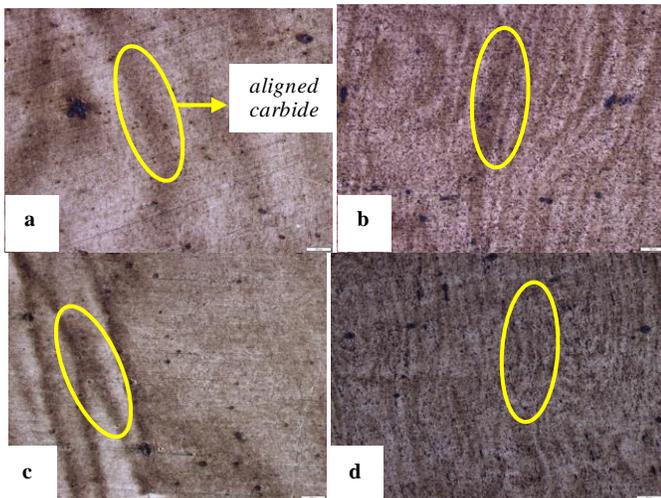
4) Pembahasan Struktur Mikro

Struktur mikro bahan awal baja JIS SUP 9 ditunjukkan pada Gambar 9 terdiri dari ferrit (terang) dan perlit (gelap) dengan butiran besar. Selain dua fase tersebut, terdapat fase yang lain yaitu karbida dari unsur V, Mo dan Cr (gelap). Untuk baja 0.5CCrMnSi struktur mikro ditunjukkan pada Gambar 10 terdiri dari ferrit (terang), perlit (gelap) dan juga karbida (gelap). Setelah dilakukan proses penempaan, terjadi perubahan pada struktur mikro. Pengamatan dilakukan pada permukaan dan penampang pisau.

Dari permukaan pisau baja JIS SUP 9 Gambar 11 (a) dan (b) terlihat ukuran butir menjadi lebih kecil, pada variasi satu adalah 20 µm sedangkan pada variasi dua adalah 10 µm. Bila dibandingkan dengan struktur mikro awal Gambar 9, sebagian dari perlit dan karbida berubah menjadi *spherodized* karena gaya tempa yang diberikan. Penempaan pada temperatur dibawah A₁ akan mengakibatkan sementit *lamellar* dan karbida menjadi *spherodized* dan butir ferrit juga semakin kecil. Terdapat karbida yang berbentuk bulat kecil baik pada variasi satu maupun variasi dua. Namun untuk ukuran butir pada variasi dua Gambar 11(b) lebih kecil yaitu 10 µm bila dibandingkan dengan variasi satu Gambar 11(a) yaitu 20 µm. Hal ini diduga karena pada variasi dua temperatur lebih rendah sehingga kemampuan tumbuhnya butir akan lebih kecil. Selain itu, jumlah siklus tempa akan semakin banyak sehingga gaya tempa yang diterima akan semakin banyak. Saat ditempa mungkin untuk terjadi pecahnya butir. Dengan lebih banyaknya siklus tempa maka butir juga akan semakin terpecah. Pada permukaan variasi kedua Gambar 11(b) terdapat karbida-karbida yang tersegregasi dan tersusun berkelompok menjadi garis-garis. Pada penampang pisau Gambar 11 (c) dan (d) terlihat butir berubah bentuk menjadi pipih atau *elongated*. Hal ini dikarenakan gaya tempa yang diberikan lebih banyak dari arah transversal.

Struktur mikro baja 0.5CCrMnSi diamati pada Gambar 12. Pada Gambar 12 (a) dan (b) adalah struktur mikro permukaan pisau. Ukuran butir yang sebelumnya besar menjadi lebih kecil setelah ditempa. Bila dibandingkan dengan struktur

mikro awal (Gambar 10), karbida pada baja ini menjadi terpecah karena gaya tempa yang diberikan sehingga berbentuk bulat (*equiaxial*) dan berukuran kecil. Pada permukaan pisau variasi dua Gambar 12 (b) terdapat fenomena pola bergelombang. Hal tersebut diduga karena adanya segregasi karbida yang terbentuk dari unsur pengotor maupun unsur paduan yang tersusun berkelompok. Struktur mikro pada penampang pisau ditunjukkan oleh Gambar 12 (c) dan (d). Pada Gambar 12 (c) terlihat struktur mikro mengalami perubahan bentuk menjadi pipih. Begitu juga dengan struktur mikro penampang pisau pada variasi kedua Gambar 12 (d).



Gambar 13. Pola yang terbentuk pada permukaan pisau setelah ditempa (a) JIS SUP 9 T 1, (b) JIS SUP 9 T 2, (c) 0.5CCrMnSi T 1 dan (d) 0.5CCrMnSi T 2. *Vilella reagent*. 100x.

Setelah dietsa menggunakan *vilella reagent*, pola pada permukaan menjadi lebih terlihat. Pada Gambar 13 merupakan pola yang terlihat pada permukaan pisau. Mekanisme penempaan pada penelitian ini terdapat tiga tahap. Pada tahap pertama, bahan dipanaskan mencapai temperatur tahap pertama yaitu 1000°C yang merupakan temperatur diatas garis A_3 . Temperatur tersebut adalah temperatur austenit stabil. Pada temperatur tersebut, beberapa partikel karbida larut tapi atom dari elemen pengotor memperlambat laju pelarutan sehingga menyisakan partikel karbida yang lebih besar. Penempaan akan membuat perlit dan karbida-karbida yang telah tersegregasi menjadi *spherodized* dan berkumpul secara bersusun seperti pita. Setiap siklus pemanasan dan pendinginan menyebabkan partikel tumbuh hanya sedikit, hal tersebutlah yang menyebabkan dibutuhkan banyak siklus untuk membentuk pola yang jelas. Karena elemen pengotor tersusun di daerah dendrit, partikel karbida juga akan terkonsentrasi disitu. Terdapat perbedaan kerapatan pola yang

terjadi pada permukaan pisau dengan temperatur penempaan variasi satu dan variasi dua. Pada baja JIS SUP 9 Gambar 13 (a) terdapat 5 pita sedangkan pada Gambar 13 (b) terdapat pita sebanyak 15. Hal serupa juga terjadi pada baja 0.5CCrMnSi Gambar 13 (c) terdapat 4 pita sedangkan pada Gambar 13 (d) terdapat lebih dari 10 pita. Penempaan pada temperatur yang lebih tinggi menghasilkan pola yang lebih lebar bila dibandingkan dengan variasi dua. Saat ditempa dengan temperatur yang lebih tinggi, unsur penyusun karbida akan memiliki energi yang lebih banyak untuk berpindah sehingga jarak antar pita yang dihasilkan untuk akan semakin besar.

V. KESIMPULAN

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

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

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Yuko, "Pengaruh Temperatur Austenitasi dan Proses Pendinginan terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Baja Paduan 05CCrMnSi," Surabaya, 2017.
- [2] F. Fatollahi, "Damascus Steel," *MSE*, vol. 121, pp. 1–10, 2011.
- [3] J. Hrisoulas, *The Complete Blacksmith: Forging Your Way to Perfection*. Colorado: Paladin Enterprises, Inc, 1987.
- [4] K. Schroen, *The Hand Forged Knife*. Knife World Publication, 1984.