

PENGARUH TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP KEKERASAN DAN KETANGGUHAN MATERIAL PELAT BAJA KARBON SEBAGAI BAHAN CANGKUL

Adi Saputra Ismy dan Samsul Bahri
Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe

ABSTRAK

Mata cangkul harus memiliki kekerasan dan ketangguhan yang baik. Cangkul Cap Buaya kualitas nomor 2 yang ada di pasaran dan terbuat dari pelat baja karbon sedang mempunyai nilai kekerasan yang masih di bawah Standar Industri Indonesia (SII) yaitu 300-350 HV. Hal ini menyebabkan cangkul cepat mengalami keausan. Untuk itu maka dilakukan proses hardening. Material cangkul dipotong pada penampang iris 1/6 bagian dari ujung mata cangkul, dengan dimensi panjang 50mm, lebar 5mm dan tebal 3mm, dengan jumlah spesimen uji 15 buah. Melalui proses pemanasan hingga mencapai temperatur austenit (925°C), ditahan selama 5 menit kemudian didinginkan dengan cepat dalam larutan air garam konsentrasi 10 %, menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi tetapi nilai ketangguhan sangat rendah. Untuk meningkatkan ketangguhan dilakukan proses *tempering*. Variasi temperatur tempering dengan waktu penahanan selama selang waktu tertentu diharapkan berpengaruh nyata terhadap kekerasan dan ketangguhan yang dicapai dari material. Kekerasan dan ketangguhan yang terbaik dihasilkan pada temperatur *tempering* 400°C dengan waktu penahanan 15 menit, yaitu 464 HV. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh nilai kekerasan yang mendekati nilai kekerasan yang diberikan oleh Standar Industri Indonesia (SII) kelas II (470 HV).

Kata Kunci : Proses Hardening, Temperatur Austenit, Proses tempering, Pendinginan Cepat, Variasi temperatur.

PENDAHULUAN

Baja adalah salah satu logam yang dewasa ini paling banyak dipakai sebagai bahan pada industri-industri konstruksi dan manufaktur yang merupakan sumber sangat besar, dimana sebagian dari material tersebut ditentukan oleh ekonominya, tetapi yang paling penting karena sifatnya yang bervariasi. Pemilihan dan penggunaan baja untuk suatu konstruksi dan peralatan haruslah memperhatikan sifat-sifat mekanik, fisik, kimia, dan sifat teknologinya. Pemilihan yang tepat untuk suatu konstruksi dan peralatan akan sangat berpengaruh pada kemampuan kerja peralatan tersebut.

Salah satu proses perlakuan panas yang sering digunakan yaitu proses pengerasan (*hardening*), yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dari baja, agar lebih tahan terhadap penetrasi, identasi maupun goresan. Proses perlakuan panas pengerasan adalah salah satu bentuk perlakuan yang dilakukan terhadap suatu logam/logam

paduan, yang bertujuan untuk mengubah atau memperbaiki sifat-sifat tertentu dari logam dalam keadaan padat, yang dilakukan melalui kombinasi dari proses pemanasan dan pendinginan dengan kondisi-kondisi tertentu. Pemberian perlakuan panas pada logam dalam keadaan padat akan memperlihatkan perubahan kekerasan dan ketangguhan.

Kualitas dari cangkul haruslah memiliki kekerasan dan ketangguhan yang baik. Cangkul yang berkualitas kurang baik pada penggunaannya akan sering tumpul atau mudah terjadi perpatahan pada matanya. Standar Industri Indonesia (SII) yang telah ditetapkan oleh Departemen Perindustrian dapat dijadikan standar pengujian kekerasan kualitas cangkul yang dihasilkan.

Dari studi lapangan yang dilakukan diperoleh bahwa masih ada jenis cangkul yang mempunyai kekerasan kurang baik beredar di pasaran. Untuk mendapatkan kekerasan yang baik dilakukan proses hardening yang menghasilkan cangkul

yang sangat keras dan getas. Dengan proses tempering diharapkan akan diperoleh jenis mata cangkul yang sesuai dengan Standar Industri Indonesia (SII) dan mempunyai ketangguhan yang baik.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kekerasan mata cangkul yang sesuai dengan Standar Industri Indonesia (SII), dengan ketangguhan yang baik. Langkah penelitian yang dilakukan adalah melalui pemanasan sampai temperatur tertentu dan ditahan pada selang waktu tertentu, dilanjutkan dengan pendinginan cepat dalam air garam. Kemudian dilanjutkan dengan memvariasi temperatur tempering selama selang waktu tertentu. Untuk mengetahui tingkat kekerasan dan ketangguhan setelah di *temper* dilakukan uji kekerasan.

TIORI DASAR

Diagram Fase Fe-Fe₃C

Karbon dapat larut dalam besi cair, tetapi dalam keadaan pada kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa interstisial, eutektik dan juga eutektoid. Diagram keseimbangan sistem paduan besi karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian saja yang penting bagi dunia teknik, yaitu bagian dari besi murni sampai senyawa interstisialnya, karbida besi Fe₃C₂ yang mengandung 6,67%C. Diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram fase Fe-Fe₃C [2] Diagram besi-karbida besi, dapat dianggap merupakan diagram keseimbangan karena perubahan-perubahan yang terjadi berlangsung pada pemanasan dan pendinginan yang cukup lambat. Baja dapat dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya. Baja karbon rendah kadar karbon kurang dari 0,30%, baja karbon sedang mengandung 0,30% sampai 0,45% karbon dan baja karbon tinggi berkadar karbon antara 0,45% sampai 1,70% [8].

Diagram Transformasi Pemanasan Baja Hypoeutektoid

Diagram ini memperlihatkan pengaruh temperatur dan waktu terhadap perkembangan transformasi pada pemanasan apabila suatu baja dipanaskan dengan cepat ke berbagai temperatur dan diamati berapa lama waktu yang diperlukan untuk memulai dan berakhirnya suatu transformasi pada

masing-masing temperatur. Dari diagram fase tidak dapat diketahui berapa waktu yang diperlukan untuk berlangsungnya transformasi. Pearlite + ferrit menjadi austenit ini dapat diramalkan dari diagram transformasi pemanasannya. Pada Gambar Transformasi pemanasan baja hypoeutektoid, terlihat transformasi pearlite-austenit pada 810 °C mulai setelah 1 detik, selesai setelah 5 detik. Struktur menjadi ferrit (proeutektoid), austenit (hasil reaksi eutektoid) dan sementit (sisa reaksi). Selanjutnya ferrit (proeutektoid) bertransformasi menjadi austenit dan sebagian sementit juga larut. Pada temperatur itu ferrit habis 1 menit kemudian, tetapi diperlukan 5 jam melarutkan semua sementit [5].

Hardenig

Hardenig atau pengerasan biasanya dilakukan untuk memperoleh sifat tahan aus yang tinggi, kekuatan dan batas kekuatan fatig yang lebih baik. Pengerasan dilakukan dengan memanaskan baja ke daerah austenit, lalu didinginkan dengan cepat. Dengan pendinginan cepat ini terbentuk martensit yang keras. Temperatur pemanasan (temperatur austenisasi), lamanya *holding time* dan laju pendinginan untuk pengerasan ini banyak tergantung dari komposisi kimia dari baja. Kekerasan yang dicapai tergantung dari komposisi kimia dari baja, kadar karbon dalam baja dan tergantung juga pada temperatur pemanasan, *holding time* dan laju pendinginan yang dilakukan pada proses laku panas ini, disamping juga pada *hardenability* baja yang dikeraskan itu.

Seberapa tebal bagian penampang yang menjadi keras banyak tergantung pada *hardenability*, dan tentu juga pada laju pendinginan yang terjadi [4]. Dalam proses pengerasan, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan [5] :

1. Dapur Pemanas
2. Temperatur Pengerasan
3. Waktu Penahan (*Holding Time*)
4. Media Pendingin

Faktor-faktor ini sangat penting dalam proses pengerasan karena sangat berpengaruh terhadap hasil perlakuannya. Pada diagram kesetimbangan fase paduan besi karbon berada diatas garis A3 dan A13. Perlakuan ditujukan untuk memperoleh peningkatan kekerasan. Bentuk struktur akhir yang diperoleh bentuk martensit [1].

Dapur Pemanas

Pada saat baja dipanaskan dalam dapur pemanas harus dihindari terjadinya lapisan oksida karbon pada permukaan logam, karena hal ini dapat menghambat pendinginan. Lapisan ini juga cenderung mudah pecah, sehingga pendinginan pada permukaan baja tidak merata dan kekerasan yang dihasilkan juga tidak sama [3].

Untuk menghindari kondisi yang tidak diinginkan ini sebaiknya terlebih dahulu ditentukan jenis dapur yang akan digunakan sesuai dengan hasil yang dapat diberikan dari jenis dapur tersebut [5].

Salah satu jenis dapur yang digunakan dalam proses *hardening* ini adalah dapur induksi elektrik. Dapur ini dapat digunakan untuk memanaskan material yang kecil dan temperatur pemanasannya juga dapat diatur secara tepat dan teliti.

Temperatur Pemanasan

Dalam pengerasan baja, pemanasan dilakukan sampai temperatur sekitar 60°C diatas A1 dan A13. Karena itu perlu dilihat diagram keseimbangan fase, temperatur pengerasan ditentukan sesuai dengan kadar karbonnya [6]. Bila tidak diketahui kadar karbon maka untuk memilih daerah temperatur pengerasannya, perlu dilakukan suatu pengujian dengan melakukan proses pengerasannya pada beberapa potong bahan dalam berbagai temperatur dan mencelupkannya dalam media *quenching* dan dilakukan pengujian kekerasan atau pengamatan mikroskop [1]. Daerah temperatur yang dipilih adalah pada temperatur yang memberikan peningkatan kekerasan maksimal [5].

Holding Time

Holding Time adalah lamanya waktu penahanan pada temperatur pengerasan. Pada proses pengerasan lamanya *holding time* yang dilakukan tergantung pada besarnya tingkat kelarutan dalam karbida dan ukuran butir yang dibentuk. Kelarutan karbida untuk berbagai jenis bahan adalah tidak sama. Disamping itu *holding time* tidak hanya tergantung pada temperatur pengerasan, tetapi juga pada laju pemanasan. Dengan laju pemanasan yang sangat lambat, hampir tidak diperlukan *holding time* karena struktur austenit telah homogen. Dengan laju pemanasan yang lebih cepat, perlu diberikan *holding time* untuk memberikan keseimbangan temperatur dan

kelarutan karbida. Biasanya hal ini dilakukan pada proses perlakuan untuk baja dengan temperatur pengerasan yang lebih tinggi [5].

Bahwa ukuran penampang benda kerja berpengaruh dalam menentukan *holding time*. Benda kecil mempunyai *holding time* lebih singkat dibandingkan dengan benda yang lebih besar [4].

Difusi atom-atom karbon ini baik pada baja hypo maupun hyper, jika pemanasan belum lama pada temperatur austenit, maka akan terjadi ketidak-homogen atom karbon dalam austenit. Hal ini tidak baik jika dicelupkan langsung ke dalam media *quenching* seperti air, karena dapat mengakibatkan pengerasan tidak merata, atau kurang keras bisa juga terjadi retak [6].

Untuk plain karbon yang mengandung karbid yang mudah memisah hanya membutuhkan waktu beberapa menit setelah mencapai temperatur *hardening*, yaitu 5-15 menit adalah cukup baik [5].

Media Pendingin

Media pendingin yang digunakan dalam perlakuan panas pengerasan baja sangat berpengaruh terhadap kekerasan yang dihasilkannya. Pengaruh ini sangat tergantung kecepatan pendinginan dari berbagai media pendingin yang digunakan, tingkat kecepatan pendinginan dari media *quenching* diukur perbandingannya terhadap air sebagai kecepatan pendinginan relatif dari berbagai media pendingin [6]:

1. Udara
2. Minyak
3. Air pada 100°C
4. Air pada 18°C
5. Air pada 0°C
6. 10% Caustic Soda (NaOH)
7. Larutan air garam (garam dapur)

Dari urutan media pendingin diatas kecepatan pendinginannya makin cepat. Besarnya laju pendinginan yang diberikan terhadap baja sewaktu didinginkan dari temperatur austenit tergantung pada dua faktor [4].

1. Temperatur yang mengenai permukaan baja sewaktu didinginkan dalam media *quenching*
2. Laju aliran panas pada baja itu sendiri.

Hardenability

Pada saat baja dipanaskan dalam dapur pemanas harus dihindari terjadinya lapisan oksida karbon pada permukaan logam, karena hal ini dapat menghambat pendinginan. Lapisan ini juga cenderung mudah pecah, sehingga pendinginan pada permukaan baja tidak merata dan kekerasan yang dihasilkan juga tidak sama [3].

Untuk menghindari kondisi yang tidak diinginkan ini sebaiknya terlebih dahulu ditentukan jenis dapur yang akan digunakan sesuai dengan hasil yang dapat diberikan dari jenis dapur tersebut [5].

Salah satu jenis dapur yang digunakan dalam proses *hardening* ini adalah dapur induksi elektrik. Dapur ini dapat digunakan untuk memanaskan material yang kecil dan temperatur pemanasannya juga dapat diatur secara tepat dan teliti.

Temperatur Pemanasan

Dalam pengerasan baja, pemanasan dilakukan sampai temperatur sekitar 60°C di atas A₁ dan A₁₃. Karena itu perlu dilihat diagram keseimbangan fase, temperatur pengerasan ditentukan sesuai dengan kadar karbonnya [6]. Bila tidak diketahui kadar karbon maka untuk memilih daerah temperatur pengerasannya, perlu dilakukan suatu pengujian dengan melakukan proses pengerasannya pada beberapa potong bahan dalam berbagai temperatur dan mencelupkannya dalam media *quenching* dan dilakukan pengujian kekerasan atau pengamatan mikroskop [1]. Daerah temperatur yang dipilih adalah pada temperatur yang memberikan peningkatan kekerasan maksimal [5].

Holding Time

Holding Time adalah lamanya waktu penahanan pada temperatur pengerasan. Pada proses pengerasan lamanya *holding time* yang dilakukan tergantung pada besarnya tingkat kelarutan dalam karbida dan ukuran butir yang dibentuk. Kelarutan karbida untuk berbagai jenis bahan adalah tidak sama. Disamping itu *holding time* tidak hanya tergantung pada temperatur pengerasan, tetapi juga pada laju pemanasan. Dengan laju pemanasan yang sangat lambat, hampir tidak diperlukan *holding time* karena struktur austenit telah homogen. Dengan laju pemanasan yang lebih cepat, perlu diberikan *holding time* untuk memberikan keseimbangan temperatur dan

kelarutan karbida. Biasanya hal ini dilakukan pada proses perlakuan untuk baja dengan temperatur pengerasan yang lebih tinggi [5].

Bahwa ukuran penampang benda kerja berpengaruh dalam menentukan *holding time*. Benda kecil mempunyai *holding time* lebih singkat dibandingkan dengan benda yang lebih besar [4].

Difusi atom-atom karbon ini baik pada baja hypo maupun hyper, jika pemanasan belum lama pada temperatur austenit, maka akan terjadi ketidak-homogen atom karbon dalam austenit. Hal ini tidak baik jika dicelupkan langsung ke dalam media *quenching* seperti air, karena dapat mengakibatkan pengerasan tidak merata atau kurang keras bisa juga terjadi retak [6].

Untuk plain karbon yang mengandung karbid yang mudah memisah hanya membutuhkan waktu beberapa menit setelah mencapai temperatur *hardening*, yaitu 5-15 menit adalah cukup baik [5].

Media Pendingin

Media pendingin yang digunakan dalam perlakuan panas pengerasan baja sangat berpengaruh terhadap kekerasan yang dihasilkannya. Pengaruh ini sangat tergantung kecepatan pendinginan dari berbagai media pendingin yang digunakan, tingkat kecepatan pendinginan dari media *quenching* diukur perbandingannya terhadap air sebagai kecepatan pendinginan relatif dari berbagai media pendingin [6]:

1. Udara
2. Minyak
3. Air pada 100°C
4. Air pada 18°C
5. Air pada 0°C
6. 10% Caustic Soda (NaOH)
7. Larutan air garam (garam dapur)

Dari urutan media pendingin di atas kecepatan pendinginannya makin cepat. Besarnya laju pendinginan yang diberikan terhadap baja sewaktu didinginkan dari temperatur austenit tergantung pada dua faktor [4].

1. Temperatur yang mengenai permukaan baja sewaktu didinginkan dalam media *quenching*
2. Laju aliran panas pada baja itu sendiri.

Hardenability

Hardenability atau kemampukerasan adalah kemampuan bahan untuk dikeraskan [7]. Pada baja paduan jenis dan jumlah paduan akan mempengaruhi kemampu-kerasan bahan [1]. Baja dengan kadar karbon rendah sulit untuk dikeraskan. Dengan meningkatnya kadar karbon sampai sekitar 0,60% kekerasan akan meningkat. Di atas 0,60% pengaruh kadar karbon terhadap peningkatan kekerasan sedikit pengaruhnya, karena di atas suhu eutektoid baja dalam keadaan anil terdiri dari pearlit dan sementit. Kekerasan maksimum hanya dapat tercapai bila terbentuk martensit mendekati 100% [5].

Baja yang dengan cepat bertransformasi dari austenit menjadi ferrit dan karbida mempunyai kemampukerasan yang rendah karena dengan terjadinya transformasi pada suhu tinggi martensit tidak terbentuk. Sebaliknya baja dengan transformasi lambat dari austenit ke ferrit dan karbida mempunyai kemampukerasan yang lebih besar [7].

Kekerasan maksimum baja yang dapat dicapai tergantung pada kadar karbon. Meski penambahan unsur paduan seperti khrom atau vanadium dapat meningkatkan kekerasan, kekerasan maksimal tidak dapat melampaui kekerasan baja karbon dengan kadar karbon yang sama [1].

Untuk dapat mencapai kekerasan maksimal karbon harus larut sempurna dalam austenit. Laju pendinginan minimal yang di dapat menghasilkan 100% martensit disebut kecepatan pendinginan kritis atau pencelupan kritis. Selain itu harus diusahakan agar jumlah austenit sisa dapat ditekan, karena austenit sisa dapat melunakkan struktur. Kekerasan maksimum dapat dicapai bila austenit seluruhnya berubah menjadi martensit dan kadar karbon harus sama atau lebih dari 0,60%. Nilai kekerasannya yaitu 66 sampai 67 Rc [1].

Tempering

Baja yang dikeraskan dengan pembentukan martensit, biasanya sangat getas, sehingga tidak cukup baik untuk berbagai pemakaian. Pembentukan martensit juga menimbulkan tegangan sisa yang cukup tinggi. Untuk mengurangi atau menghilangkan tegangan sisa serta meningkatkan ketangguhan dilakukan proses *tempering* [2]. *Martempering* dilakukan dengan memanaskan kembali baja yang telah dikeraskan pada temperatur dibawah temperatur kritis

bawah (A1), dibiarkan beberapa saat pada temperatur tersebut lalu didinginkan kembali. Pemanasan kembali martensit yang merupakan suatu struktur metastabil merupakan larutan padat *supersaturated* dimana karbon terperangkap dalam struktur BCT (Body Centered Tetragonal) akan mulai mengeluarkan karbon yang berpresipitasi sebagai karbida besi, sedang BCT berangsur-angsur mulai menjadi BCC. Keluarnya karbon maka tegangan di dalam struktur BCT akan berkurang sehingga kekerasannya juga berkurang.

Secara umum dapat dikatakan bahwa bila temperatur *tempering* makin tinggi maka kekerasan akan makin rendah dan ketangguhan akan tinggi. Pada pengujian impak ternyata terjadi penurunan ketangguhan bila di temper pada temperatur antara 400 – 800°F (200 – 425°C) sedang kekerasannya juga menurun. Karena itu temperatur *tempering* 200 – 425°C dianggap sebagai pemisah antara penggunaan yang memerlukan kekerasan tinggi dengan yang memerlukan ketangguhan tinggi, bila didinginkan adalah ketangguhan yang tinggi maka *tempering* dilakukan pada temperatur di atas 425 °C, [2]. Struktur terjadi pada proses *tempering* selain dipengaruhi oleh komposisi kimia dan perlakuan panas sebelumnya juga dipengaruhi oleh temperatur.

Analisa Varian

Penelitian ini dilakukan untuk melihat perubahan nilai kekerasan yang terjadi akibat variasi *holding time* pada temperatur austenitisasi.

Data yang diperoleh ditabelkan untuk dapat dianalisis secara statistik, dengan menggunakan metode faktorial satu faktor atau satu arah. Data hasil percobaan dapat disusun dalam satu tabel analisa data tabel (2.1)

Tabel 2.1 Susunan data untuk klasifikasi satu arah analisa varian

Observasi				
1	y_{11}	y_{12}	...	y_{1n}
2	y_{21}	y_{22}	...	y_{2n}
.
.
.
a	y_{a1}	y_{an}

Data yang sudah ditabelkan di atas dianalisa secara statistik dengan menggunakan analisa

varian untuk klasifikasi satu arah model efek tetap, untuk mengetahui pengaruh *holding time* pada temperatur austenitisasi terhadap nilai kekerasan mata cangkul. Dapat dilihat pada tabel. (2.2).

Tabel 2.2 Analisa varian untuk klasifikasi satu arah model efek tetap

Sumber Varian	Jumlah Kuadrat	Derajat Kebebasan	Rata-rata Kuadrat	F_0
Antara perlakuan	$SS_{\text{perlakuan}}$	A - 1	$MS_{\text{perlakuan}}$	$F_0 = \frac{MS_{\text{perlakuan}}}{MS_E}$
Error dalam Perlakuan	SS_E	N - a	MS_E	
Total	SS_T	N - 1		

METODE PENELITIAN

Material Uji

Material uji yang dipakai pada penelitian adalah jenis cangkul Cap Buaya kualitas nomor 2 yang beredar di pasaran. Cangkul Cap Buaya nomor 2 dari material uji ini terbuat dari baja karbon sedang. Dari material uji ini dibuat beberapa spesimen uji yang dilakukan dengan pemotongan dengan menggunakan gergaji, pada penampang iris 1/6 bagian dari ujung mata cangkul. Ukuran spesimen uji panjang 50 mm, lebar 15 mm dan tebal 3 mm, berbentuk pipih.

Materi Penelitian

Materi penelitian meliputi pengamatan pada material dalam pengujian kekerasan untuk mengetahui tingkat ketangguhan yang diperoleh dalam perlakuan *tempering*. Untuk proses pengerasan dilakukan dengan cara memanaskan 15 (lima belas) spesimen uji sampai temperatur 925°C, *holding time* 5 menit dengan media pendingin yang digunakan adalah air garam konsentrasi 10% (air garam dapur). Untuk proses *tempering* dilakukan dengan cara panaskan 15 (lima belas) spesimen uji yang telah di *hardening*, untuk setiap perlakuan masing-masing 4 (tiga) spesimen temperatur 200°C, 3 (tiga) spesimen temperatur 300°C, 3 (tiga) spesimen temperatur 400°C, 3 spesimen temperatur 500°C, 3 (tiga) spesimen temperatur 650°C, dengan *holding time*-nya masing-masing selama 15 menit, didinginkan

di udara. Perlakuan selengkapnya dapat dilihat pada tabel (3.1) di bawah ini.

Tabel (3.1) Jumlah spesimen untuk masing-masing perlakuan

Temperatur Pemanasan (°C)	Holding Time (menit)	Jumlah Material (Cangkul)
200	15	3
300	15	3
400	15	3
500	15	3
650	15	3

Jumlah spesimen sebanyak 15 buah yang diambil dari 3 buah cangkul, dimana uji kekerasannya dilakukan setelah proses *hardening* dan proses *tempering*.

Pengujian kekerasan

Pada pengujian ini diamati perubahan kekerasan yang dihasilkan pada proses pengerasan terhadap benda uji dari pengaruh temperatur pemanasan dan *holding time* serta pengaruhnya terhadap temperatur *tempering*. Permukaan semua spesimen uji setelah perlakuan dihaluskan untuk dilakukan uji kekerasan. Penghalusan dilakukan dengan kertas amplas pada permukaan spesimen dari ukuran kertas amplas kelas terendah yaitu 80 sampai 500. Pengujian dilakukan dengan metode vicker beban 10Kg dan waktu penahanan 20 detik dengan pembesaran 100 kali. Penelitian dilakukan secara langsung dan pengaruh dari masing-masing variasi perlakuan yang dilakukan dalam pengujian diamati pengaruhnya dengan pendekatan secara fisik dan metode grafik.

Nilai kekerasan diperoleh dari uji terhadap sampel uji. Setiap spesimen dilakukan pengulangan pengujian kekerasan sebanyak 3 (tiga) kali. Nilai kekerasan yang diperoleh kemudian diambil rata-ratanya. Data yang diperoleh berupa data awal dan data akhir. Data awal, yaitu spesimen yang tidak diberi perlakuan. Data akhir adalah data hasil uji kekerasan terhadap spesimen yang telah diberi perlakuan.

Standar Industri Indonesia (SII) yang telah ditetapkan oleh Departemen Perindustrian dapat dijadikan standar pengujian kekerasan kualitas yang dihasilkan. Standar kekerasan yang harus dipenuhi dapat dilihat pada tabel (3.2.)

Tabel 3.2 Standar Industri Indonesia (SII)

PERALATAN	KEKERASAN			NO SII
	Kelas I	Kelas II	Kelas III	
Parang	HV 500	HV 400	-	0610-81
Cangkul	HV 540	HV 470	-	0238-81
Sekop	36-46 HRC	30-39 HRC	-	0231-79
Kampak	51-56 HRC	47-50 HRC	-	0231-79

Peralatan Untuk Pembuatan Benda Uji

- Gergaji potong :
Merek : Kasto, Arect Krefeld Koln.
Tipe : BSM 210/240
- Dapur Pemanas :
Merek : Hofmann, Industrieofenban,
Linz-Austria
Jenis : Elektrik Muffle Furnace
- Jangka sorong
- Stop watch
- Tang penjepit
- Sarung tangan
- Gergaji potong spesimen
- Amplas, Grade 80, 100, 120, 220, 320, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200.

Peralatan Pengujian

- Mesin pengujian kekerasan :
Merek : Zwick
Indentor : Vicker
- Mikroskop metallografi :
Merek : Hessel, Strues Danmark
Pembesaran : 100, 40

HASIL DAN PEMBAHASAN

Material Dasar Cangkul

Pada pemakaiannya cangkul harus memiliki nilai kekerasan dan ketangguhan yang baik, yaitu memenuhi Standar Industri Indonesia (SII), sehingga dalam pemakaian tidak akan merusak mata potong cangkul. Suatu hal yang sulit dihindari yaitu nilai kekerasan material berbanding terbalik dengan uji ketangguhannya. Semakin tinggi kekerasan material semakin rendah ketangguhannya, begitu juga sebaliknya.

Pada penelitian ini material dasar yang digunakan adalah jenis cangkul yang banyak beredar dipasaran, yaitu Cangkul Cap Buaya nomor 2 (dua). Penelitian ini merupakan lanjutan dari

penelitian sebelumnya. Untuk mengetahui nilai kekerasan material dasar dari spesimen, maka dilakukan proses *annealing* pada temperatur austenit dengan pendinginan yang sangat lambat yaitu pendinginan dapur. Nilai kekerasan material dasar dari 3 (tiga) spesimen untuk jenis cangkul tersebut ditunjukkan pada Tabel (4.1)

Tabel 4.1 Nilai kekerasan material dasar spesimen cangkul

Material Cangkul	Kekerasan (HV)					Kekerasan Rata-rata (HV)
	1	2	3	4	5	
1	171	171	169	168	168	169.4
2	172	169	168	168	169	169.2
3	168	169	168	168	168	168.2

Material Cangkul

Kekerasan merupakan salah satu faktor yang menentukan mutu sebuah cangkul. Cangkul merupakan suatu alat yang berfungsi untuk memotong, membalik dan memindahkan tanah. Semakin tinggi kekerasannya maka semakin baik pula sifat mampu potongnya tanpa menyebabkan kerusakan pada mata cangkul.

Uji kekerasan mata cangkul lapangan yaitu Cangkul Cap Buaya No.2 yang ada dipasaran dilakukan di Laboratorium Material Fakultas Teknik, dimana diperoleh nilai kekerasannya seperti ditunjukkan pada tabel (4.2) di bawah ini :

Tabel 4.2 Nilai kekerasan mata cangkul lapangan

Material Cangkul	Kekerasan (HV)					Kekerasan Rata-rata (HV)
	1	2	3	4	5	
1	293	296	286	303	296	294.8
2	196	296	296	299	299	297.2
3	303	303	293	299	299	299.4

Data Kekerasan Spesimen Sesudah Perlakuan

Dari penelitian pada Laboratorium Material Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, kekerasan permukaan hasil dari perlakuan *hardening* yang dilakukan pada temperatur 925 °C dan *holding time* 5 menit, dengan pendinginan cepat dalam air garam dapur konsentrasi 10%, dapat dilihat pada tabel (4.3).

Tabel 4.3 Kekerasan material sesudah hardening

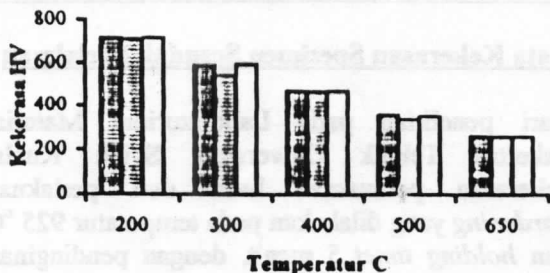
Material (Cangkul)	Kekerasan (HV)			Kekerasan Rata-rata (HV)
	1	2	3	
1	739	766	739	748
2	739	739	766	748
3	726	713	739	726

Setelah selesai perlakuan *hardening* dilanjutkan dengan perlakuan *tempering* dengan bervariasi temperatur *tempering* dan *holding time*, untuk masing-masing variasi temperatur *tempering* dilakukan *holding time* 15 menit. Kekerasan material sesudah *tempering* dapat dilihat pada tabel (4.4)

Tabel 4.4 Kekerasan material sesudah tempering

Spesimen	Material Cangkul	Temperatur Tempering (°C)	Holding Time (menit)	Kekerasan (HV)			Kekerasan Rata-rata (HV)
				1	2	3	
A	1	200	15	713	726	713	717.33
	2			726	701	713	713.33
	3			701	726	726	717.67
B	1	300	15	657	599	514	590
	2			599	525	503	542.33
	3			657	525	599	593.67
C	1	400	15	464	473	455	464
	2			464	464	455	461
	3			473	455	464	464
D	1	500	15	376	351	339	355.33
	2			327	345	339	337
	3			376	345	327	349.33
E	1	650	15	262	266	251	259.67
	2			270	266	240	258.67
	3			240	270	262	257.33

Berdasarkan hasil penelitian, dari tabel (4.4) dapat kita lihat bahwa kekerasan permukaan mata cangkul sangat dipengaruhi oleh variasi temperatur *tempering* yang dilakukan pada mata cangkul. Dari hasil percobaan di dapat suatu gambaran grafik yang menunjukkan hubungan antara variasi temperatur *tempering* terhadap peningkatan kekerasan mata cangkul, dapat dilihat pada gambar (4.1) di bawah.



Gambar 4.1 Grafik fungsi temperatur tempering terhadap peningkatan kekerasan material

Proses *hardening* adalah suatu proses dimana tujuan akhir dari proses adalah terbentuknya struktur martensit. Kekerasan struktur martensit yang terjadi tergantung dari kadar karbon yang terkandung, semakin tinggi kadar karbon semakin keras baja tersebut.

Dari hasil proses *annealing* di Laboratorium Material Fakultas Teknik, dilakukan uji kekerasan. Hasil pengujian kekerasan dilihat bahwa pelat baja sebagai bahan cangkul adalah baja karbon sedang. Berdasarkan studi literatur yang dilakukan ternyata baja dengan kandungan karbon sedang masih bisa dikeraskan, hal ini dapat dilakukan bila persyaratan seperti bentuk spesimen dan sistem pendinginan memenuhi persyaratan tertentu seperti :

- Bentuk spesimen yang tipis (3 mm)
- Sistem pendinginan dengan media pendingin air garam

Baja yang dikeraskan dengan pembentukan martensit biasanya sangat keras dan getas, sehingga tidak cukup baik untuk berbagai pemakaian. Untuk menaikkan ketangguhan dilakukan proses *tempering*.

Tempering dilakukan dengan memanaskan kembali baja yang telah dikeraskan, pemanasan kembali ini akan mulai mengeluarkan karbon yang terperangkap. Dengan keluarnya karbon maka kekerasannya akan berkurang dan bila temperatur *tempering* makin tinggi maka nilai kekerasan akan makin rendah dan ketangguhan akan semakin baik.

Pengaruh temperatur tempering terhadap kekerasan

Material yang telah diberi perlakuan pengerasan menjadi sangat keras, sebaliknya sifat ketangguhannya menurun. Untuk meningkatkan ketangguhan dapat dilakukan dengan proses *tempering*. *Tempering* dapat menyebabkan turunnya kekerasan dan naiknya ketangguhan. Dengan bervariasi temperatur *tempering* mengakibatkan perbedaan turunnya nilai kekerasan, dapat dilihat pada tabel 4.5.

a. Tempering 200°C

Pemanasan pada temperatur 200C akan menghasilkan kekerasan yang masih tinggi yaitu 775,67 HV.

b. Tempering 300°C

Pemanasan pada temperatur 300°C juga akan

menghasilkan kekerasan yang sedikit menurun yaitu 593,67 HV.

- c. Tempering 400°C
Pemanasan pada temperatur 400°C menyebabkan kekerasan yang dihasilkan menurun yaitu 464 HV, disini kekerasan telah memenuhi Standar Industri Indonesia (SII) kelas II (470 HV) dan diharapkan ketangguhan mata cangkul sudah baik.
- d. Tempering 500°C
Tempering pada temperatur 500°C kekerasan yang dihasilkan semakin menurun yaitu 355,33 HV.
- e. Tempering 650°C
Tempering pada temperatur 650°C, disini kekerasan yang dihasilkan semakin menurun yaitu 259,67HV.

Kekerasan dan ketangguhan optimum

Berdasarkan standar yang telah ditetapkan SII No 0238-81 Tabel (3.1) ditetapkan nilai kekerasan kelas I adalah 540 HV dan kelas II adalah 470 HV. Temperatur *tempering* yang bervariasi menghasilkan kekerasan yang berbeda-beda, dimana dengan naiknya temperatur *tempering* menyebabkan kekerasannya turun dapat dilihat pada tabel (4.4).

Dapat dilihat bahwa tempering pada temperatur 400°C akan meningkatkan ketangguhan dan diikuti dengan penurunan sedikit kekerasan. Data yang didapat dari hasil penelitian tabel (4.4) serta Standar Industri Indonesia tabel (3.1) maka variasi temperatur *tempering* pada 400°C dengan *holding time* 15 menit, adalah proses perlakuan tempering yang baik, dengan nilai kekerasan 464 HV.

Analisa varian

Variasi analisis varian pada lampiran II menunjukkan F_{hitung} yang didapat dari keseluruhan perlakuan nilainya lebih tinggi dari F_{tabel}

Dalam hal ini diketahui bahwa variasi perlakuan *holding time* pada temperatur austenitisasi berpengaruh nyata terhadap nilai kekerasan material cangkul yang dihasilkan, dimana harga $F_{hitung} = 28,195$ sedangkan $F_{tabel} = 5,42$ dengan tingkat kepercayaan 99%.

Hasil perhitungan analisa varian terhadap nilai kekerasan akibat pengaruh variasi *holding time* pada temperatur austenitisasi ditunjukkan pada tabel (4.5) berikut.

Tabel 4.5 Tabel Analisa Varian

Sumber Varian	Jumlah Kuadrat	Derajat Kebebasan	Rata-rata Kuadrat	F_0	F_{tabel}
Perlakuan	131065,72	3	65532,86	28,196	5,42
Error	278591,21	2324,2675		M	
Total	409656,93	15			

Ket : M = Berpengaruh terhadap nilai kekerasan

KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas dapat ditarik beberapa kesimpulan :

1. Penggunaan baja karbon sedang untuk material dasar mata cangkul Cap Buaya kualitas nomor 2 sudah cukup baik.
2. Perlakuan spesimen tanpa *tempering* menghasilkan nilai kekerasan yang sangat tinggi tetapi ketangguhannya rendah.
3. Perlakuan *tempering* pada temperatur 400 °C dan *holding* 15 menit menghasilkan kekerasan yang sesuai dengan Standar Industri Indonesia (SII) dan menaikkan ketangguhan. Kekerasan yang dihasilkan adalah 464 HV diantara 470 HV dan 570 HV termasuk dalam nilai kekerasan II (470 HV).

DAFTAR KEPUSTAKAAN

1. Amstead, BH, Sriaty Djaprie, *Teknologi Mekanik I*, Edisi ketujuh, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1985.
2. Avner, H Sidney, *Introduction to Physical Metallurgi*, Second Edition, Mc Graw Hill Book Company, London, 1986.
3. Suherman Wahid, *Perlakuan Panas*, Fakultas Teknologi Industri, ITS, Surabaya, 1985.
4. Suherman Wahid, *Ilmu Logam I*, Fakultas Teknologi Industri, ITS, Surabaya, 1985.
5. Thelning, Karl Erik, *Steel and It's Heat Treatment*, Second Edition, Butterworth & Co London, 1984.
6. Tata Surdia, *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT. Pradya Paramita, Jakarta.
7. Van Vlack, Sriaty Djaprie, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Edisi Kelima, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1989.
8. Wiryo Sumarto, Harsono, *Teknologi Pengelasan Logam*, Edisi Keempat, PT. Pradya Paramita, Jakarta, 1988.