



Analisa Pengaruh Tempering Terhadap Struktur Kristal, Sifat Mekanik Pada Baja ST 45 C

M Agung Wicaksono, Dicky Antonius, Hizkia Krisna
Universitas Kristen Indonesia

Diterima: 23 Maret 2024

Disetujui: 16 Mei 2024

Diterbitkan: 25 Juni 2024

*Penulis yang sesuai : magunqw0909@gmail.com

Abstrak

Baja ST 45 C merupakan jenis baja "Medium Carbon Steel" (0.3-0.5% C). Dengan kandungan karbon medium ini memungkinkan baja ini untuk ditingkatkan lagi sifat mekaniknya. Usaha menjaga agar logam lebih tahan gesekan atau tekanan adalah dengan cara memberi perlakuan panas pada baja, hal ini memegang peran penting dalam upaya meningkatkan kekerasan serta kekuatan baja sesuai kebutuhan. Dilihat dari fungsinya, baja karbon medium ini diklasifikasikan sebagai machinery steel baja yang biasa dipakai dalam komponen atau sparepart seperti: roda gigi, coupling, pulley, axles, piston, rails (rel kereta api) dan baja konstruksi. Baja ST 45 C di panaskan pada suhu 850 °C kemudian dicelup cepat media pendingin air, oli, dan air garam. Selanjutnya sampel ditempering pada suhu 450 °C. Dari hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa ukuran kristal tertinggi pada media air (7,23 nm), media oli (4,33nm) dan media air garam (4,51nm). Nilai kekerasan tertinggi pada media air garam 596 HB dan kuat tariknya 2056 MPa pada media pendingin air garam.

Kata Kunci : Baja ST 45 C; Quenching; XRD; Tempering

1. Pendahuluan

Pada era globalisasi ini, penggunaan mesin alat berat sangat diperlukan dalam meningkatkan kapasitas produksi terutama pada sektor pembangunan infrastruktur. Penggunaan alat berat ini bertujuan untuk memudahkan dan mempercepat proses pembangunan yang dalam pengerjaannya memerlukan alat yang memiliki sifat mekanis yang baik. Dalam pembuatan komponen die (cetakan) dari logam baja dan perlakuan panas/*quenching* untuk memenuhi syarat mutunya. Dalam proses perlakuan panas, komponen ini melalui beberapa tahap yaitu dengan proses *normalising*, *quenching*, dan *tempering* dengan dicelup ke media *quench*. Untuk itu diperlukan media *quench* yang sesuai, dimana dari hasil proses perlakuan panas tersebut dihasilkan kekerasan dan sifat mekanik yang diinginkan. Media *quench* tersebut dapat berupa air, oli, dan air garam yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda.[1].

Komposisi kimia, perlakuan panas, cairan pendingin, temperatur pemanasan dan lain-lain merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil kekerasan dalam perlakuan panas. Kekerasan dapat dicapai tergantung pada kadar karbon dalam baja dan kekerasan yang terjadi tergantung pada temperatur pemanasan (*temperatur autenitising*), *holding time* dan laju pendinginan yang dilakukan serta tebal bagian penampang. Perlakuan panas pada baja bertujuan untuk meningkatkan kekerasan baja sesuai dengan kebutuhan. Proses ini meliputi pemanasan baja pada temperatur, ditahan pada waktu dan didinginkan dengan media tertentu.[2].

Sifat mekanik tidak hanya dipengaruhi oleh komposisi kimia suatu paduan, melainkan juga bergantung pada struktur mikronya. Suatu paduan dapat memiliki struktur mikro yang berbeda dengan komposisi kimianya tetap sama sehingga sifat mekaniknya juga akan berbeda. Struktur mikro tergantung pada proses pengerjaan yang dilakukan, terutama perlakuan panas yang diberikan selama proses pengerjaan. Salah satu perlakuan panas tersebut adalah proses *quenching* [3].

Quenching (pencelupan pada cairan) merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kekerasan baja dengan dilakukan pemanasan baja sampai temperatur didaerah atau diatas daerah kritis disusul dengan pendinginan yang cepat.[4]

Pada proses *quenching* baja karbon dipanaskan sampai pada suhu austenit kemudian didinginkan secara cepat akan terbentuk struktur martensit yang memiliki kekerasan yang lebih tinggi dari struktur perlit maupun ferit. Struktur mikro dapat terbentuk pada paduan baja, martensit merupakan yang paling keras dan kuat tetapi getas. Kekerasannya tergantung pada kandungan karbon yang ada pada paduan tersebut. Austenit lebih padat daripada martensit, sehingga pada waktu transformasi fasa dengan *quenching* volumenya akan berkurang. Akibatnya, sebagian besar *quenching* akan mengalami keretakan (*crack*) karena pengaruh *internal stresses*. [5]

Penelitian yang lain tentang pengaruh perlakuan panas terhadap kekerasan dan mikrostruktur AISI 1045. Proses perlakuan panas baja S45-C (AISI 1045) dilakukan dalam tungku pemanas dengan variasi temperatur 900 — 1000 °C , ditahan selama waktu tertentu dengan variasi 60, 120 dan 180 menit, kemudian didinginkan cepat. Berpendapat bahwa kekerasan baja AISI 1045 meningkat secara signifikan seiring kenaikan temperatur austenisasi kecuali pada 1000°C, sedangkan mikrostrukturnya berupa ferit dan martensit dengan kandungan martensit menurun seiring dengan bertambahnya temperatur austenisasi dan terjadi retakan saat pendinginan cepat.[6]

Peneliti terdahulu dengan material baja S45C yang dipanaskan 850 °C, ditahan 45 menit kemudian didinginkan dalam media oli dan air garam, dilanjutkan dengan proses temper pada temperatur 600 °C. Sasi Kirono mendapatkan bahwa media *quenching* dan proses tempering mempengaruhi struktur mikro, perilaku tarik dan kekerasan baja S45C. Pada temperatur austenisasi 850 °C perilaku tarik dan kekerasan baja S45 C dalam media air garam lebih tinggi dibandingkan dalam oli ditandai dengan fasa martensit lebih dominan dibandingkan fasa bainit dalam struktur mikronya. (Sasi Kirono 2011) [7].

Juga telah dilakukan penelitian baja S45C yang dipanaskan pada temperatur masing-masing 700, 800, dan 900°C kemudian didinginkan cepat (*quenching*) dalam air garam dan oli. Mereka mendapatkan bahwa semakin tinggi temperatur austenisasi maka semakin tinggi kekerasan baja S45C pasca pendinginan cepat, dan kekerasannya lebih tinggi dalam media oli dibandingkan air garam. Nilai kekerasan baja S45C pasca pengerasan terbaik untuk aplikasi poros roda sepeda motor adalah temperatur austenisasi 700 °C dengan pendinginan cepat dalam media oli yang menghasilkan kekerasan sebesar 30,46 HRC.[8].

Medium *quenching* yang digunakan harus dapat menjamin agar tidak timbul distorsi pada benda kerja setelah proses *quench* selesai dilaksanakan. Hal tersebut dapat dicapai dengan cara menggunakan media *quenching* yang sesuai tergantung pada jenis baja yang diproses, tebal penampang dan besarnya distorsi yang diijinkan. Kekerasan terjadi akibat adanya struktur mertensit yang terbentuk pada saat pencelupan dalam media pendingin air atau oli.[9]

Kekerasan baja hasil *quench* media air garam lebih keras dibandingkan dengan air biasa dan oli. Karena kecepatan pendinginan pada air garam lebih cepat dan menghasilkan struktur..[10]

Garam dipakai sebagai bahan pendingin karena memiliki sifat mendinginkan yang teratur dan cepat. Larutan garam akan mengakibatkan ikatan bahan yang didinginkan menjadi lebih keras karena pada permukaan benda kerja tersebut akan meningkat zat arang. Kemampuan suatu jenis media dalam mendinginkan spesimen bisa berbeda-beda, perbedaan kemampuan media pendingin disebabkan oleh temperatur, kekentalan, kadar larutan dan bahan dasar media pendingin.[11]

2. TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan komposisi kimianya, baja dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu baja karbon (plain carbon steel) dan baja paduan (alloy steel). Baja paduan sendiri kemudian dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu baja paduan rendah, dengan unsur paduan kurang dari 10%, dan baja paduan tinggi dengan unsur paduan lebih dari 10% (Avner 1974). Dalam membedakan jenis-jenis baja, beberapa lembaga mempunyai standar penamaan tersendiri, seperti JIS, AISI, ASTM, SAE, dan SNI. JIS (Japanese Industrial Standard) melakukan standarisasi atas dasar aplikasi produksi dan grade (kualifikasi untuk aplikasi tertentu). Sementara itu, AISI (American Iron and Steel Institute) dan SAE (Society of Automotive Engineers) melakukan standarisasi penomoran berdasarkan komposisi kimia dari baja.

AISI merupakan standar yang digunakan. Angka 1 menunjukkan bahwa jenis baja adalah baja karbon. Angka 0 menunjukkan tidak adanya unsur paduan yang ditambahkan. Angka 45 menunjukkan bahwa kadar karbon dalam baja adalah 0,45%. Sistem penamaan ini awalnya diterima luas di Amerika Serikat dan banyak negara lainnya. Tetapi standar AISI tidak mencakup semua jenis logam, dan tidak begitu informatif mengenai properties beberapa logam. Maka dari itu dua organisasi standar Amerika lainnya, ASTM (American Society for Testing and Materials) bersama SAE menyempurnakannya dalam sistem penamaan baru, UNS (The Unified Numbering System). Sistem penamaan UNS menggunakan 6 angka yang berisi informasi mengenai komposisi lima logam, proses manufaktur, dan perlakuan panas.

Bila standar AISI, SAE, dan JIS melakukan standarisasi penamaan baja secara umum, ada juga lembaga yang melakukan standarisasi secara khusus, salah satunya adalah AAR (American Association of Railroads). AAR merupakan organisasi standar Amerika yang melakukan penelitian dan standarisasi untuk meningkatkan keamanan, efisiensi, dan pelayanan dalam industri kereta api. Standarisasi ini mencakup berbagai hal, mulai dari prosedur assembly dan maintenance, standarisasi komponen, hingga spesifikasi material yang digunakan. Sistem penomoran yang digunakan oleh AAR terdiri dari kombinasi satu huruf yang diikuti oleh tiga atau empat angka di belakangnya. Hanya terdapat 3 jenis huruf yang digunakan, "M" untuk menunjukkan spesifikasi, "S" menunjukkan standarisasi, dan "RP" yang menunjukkan prosedur. Huruf ini kemudian diikuti angka "0-9" yang menunjukkan di bab mana standarisasi terkait bias ditemukan dalam AAR Manual of Standard and Recommended Practices. Sementara dua angka terakhir merupakan urutan penerbitan. Salah satu jenis baja standarisasi AAR yang umum digunakan untuk komponen kereta api adalah baja AAR-M201

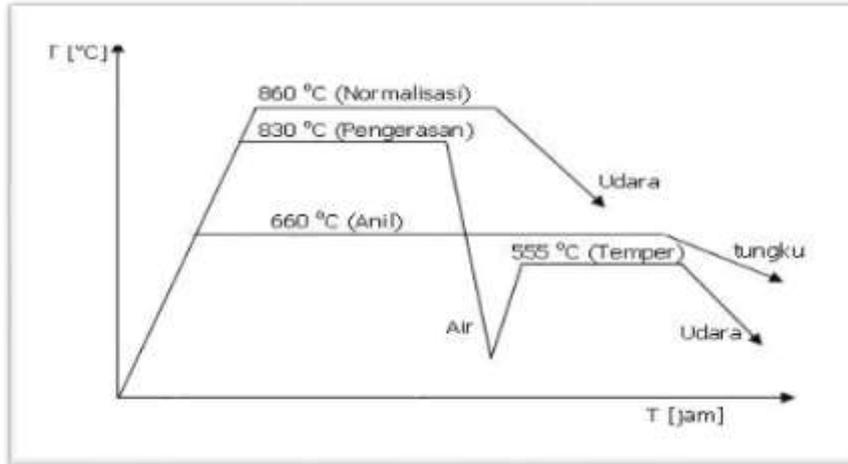
Selain dengan kode nama yang telah ditetapkan oleh beberapa lembaga resmi, pada umumnya baja paduan diberi nama sesuai dengan unsur paduan yang paling dominan. Misalnya, baja paduan mangan (manganese steel) adalah baja paduan dengan unsur paduan paling dominan adalah Mn, baja paduan vanadium mempunyai unsur paduan paling dominan berupa vanadium, dan lain-lain.

Adanya unsur mangan pada manganese steel dapat menaikkan kekuatan dan kekerasan. Pengaruh ini akan menjadi lebih efektif pada kadar karbon yang lebih tinggi. Pada kondisi annealed, baja mangan memiliki kekuatan dan keuletan yang relatif rendah, tetapi apabila dilakukan perlakuan panas hardening berupa quenching pada temperatur sekitar 1000 °C maka nilai kekuatan, keuletan, dan kekerasannya akan naik cukup signifikan (Avner 1974).

2.1 Perlakuan Panas

Untuk mendapatkan sifat logam yang sesuai dengan keinginan dan kebutuhan, terkadang penambahan unsur paduan saja tidaklah cukup. Perlu dilakukan perlakuan lain untuk membuatnya mempunyai sifat yang diinginkan, salah satunya adalah melalui perlakuan panas. Perlakuan panas didefinisikan sebagai kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam dalam keadaan padat selama waktu tertentu untuk

mendapatkan sifat tertentu. Dalam melakukan proses perlakuan panas, logam dipanaskan hingga temperatur tertentu dan menahannya pada temperatur tersebut untuk suatu waktu tertentu kemudian mendinginkannya dengan laju pendinginan tertentu. Laju pendinginan ini akan sangat tergantung pada media pendingin yang digunakan (Avner 1974).



Gambar 2. 6 Kurva Perlakuan Panas pada manganese steel

Berdasarkan tujuannya, proses perlakuan panas dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu proses pelunakan dan proses pengerasan. Proses pelunakan bertujuan untuk menurunkan kekerasan baja, memperbaiki keuletan, dan meningkatkan machinability baja. Sementara proses pengerasan bertujuan untuk menaikkan kekerasan dan kekuatan baja, serta memperbaiki sifat tahan aus dan tahan lelah baja. Selain dari tujuan, perbedaan dari kedua proses perlakuan ini terletak pada proses pendinginannya. Proses pelunakan membutuhkan laju pendinginan yang lambat, sementara proses pengerasan membutuhkan laju pendinginan yang cepat.

2.2 Hardening

Proses pengerasan atau hardening merupakan suatu proses perlakuan panas yang dilakukan untuk meningkatkan kekuatan dan memperbaiki sifat tahan lelah dari baja. Tahapan proses hardening pada Baja Paduan Mangan menurut Brunhubber (1988), adalah sebagai berikut:

- Pemanasan hingga temperturnya mencapai sedikit diatas temperatur kritis tinggi (A3) supaya struktur baja menjadi austenit (austenisasi).
- Temperatur dipertahankan konstan selama waktu tertentu agar struktur baja menjadi homogen.
- Pendinginan dilakukan dengan menggunakan medium yang memiliki laju pendinginan cepat (quenching).

2.3 Tempering

Baja hasil proses hardening akan mempunyai sifat mekanik berupa kekuatan dan

kekerasan yang relatif tinggi, namun keuletan dan ketangguhannya menurun sehingga akan mempunyai efek yang buruk saat baja digunakan. Karena itulah, pada proses perlakuan hardening biasanya selalu diikuti dengan tempering. Tempering adalah proses pemanasan kembali baja yang telah dikeraskan sampai temperatur dibawah temperature kritis terendah (A1), lalu didinginkan pada laju yang diinginkan. Proses ini bertujuan untuk mengembalikan sebagian keuletan atau ketangguhan, berakibat turunnya kekerasan, dan melepas tegangan dalam untuk memperoleh keuletan yang lebih baik (Clark dan Varney 1962).

Quenching yang dilakukan selama proses hardening, akan menghasilkan struktur mikro martensit. Struktur ini memiliki struktur BCT (Body Centered Tetragonal) dan bersifat metastabil. Apabila dilakukan pemanasan kembali secara bertahap, maka karbon yang terperangkap dalam struktur BCT akan keluar dan menjadi karbida, sehingga strukturnya akan berubah menjadi BCC (Body Centered Cubic). Perubahan struktur mikro ini dapat terjadi pada proses tempering, melalui reaksi berikut:

Martensit (BCT, fasa tunggal) → martensit temper ($\alpha + Fe_3C$)

fasa tunggal martensit BCT, yang jenuh dengan karbon, bertransformasi menjadi martensit temper yang terdiri dari ferrit stabil dan sementit. .Karbon yang keluar dari struktur martensit akan menyebabkan tegangan didalam BCT berkurang sehingga kekerasan dan kekuatannya juga berkurang. Di samping itu, saat kekerasan dan kekuatannya berkurang, sifat keuletan dan ketangguhannya justru semakin meningkat. Sehingga secara umum tempering berguna untuk memperbaiki sifat keuletan dan ketangguhan baja setelah dilakukan pengerasan. Namun dalam proses ini, temperature tempering perlu diperhatikan karena bila temperatur penemperan semakin tinggi maka kekerasannya akan semakin rendah

3. Metodologi

3.1 Bahan dan peralatan

- a. Bahan yang dipakai : Baja ST 45 dengan ukuran : 10 mm x 10mm x10mm
- b. Peralatan yang dipakai : Alat metalografi lengkap, Tungku pemanas 1000 0 C, Difraktometer sinar X, Hardness test (Skala Brinell).

3.2 Cara kerja

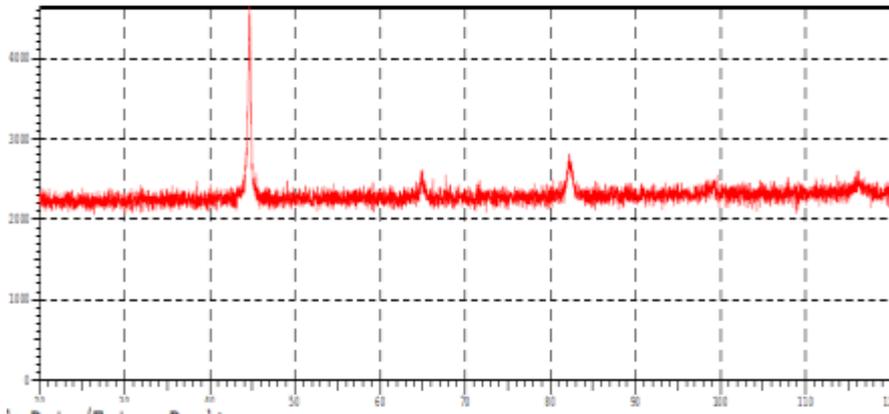
Setelah bahan dibentuk sesuai ukuran untuk masing-masing pengujian, selanjutnya proses pertama adalah *solutionizing* yaitu spesimen dimasukkan kedalam *furnace* untuk dilakukan *solution treatment* pada suhu 850°C untuk proses homogenisasi ditahan selama 1,5 jam. Selanjutnya dilakukan proses *quenching* yaitu dengan mencelupkan secara cepat dengan menggunakan media pendingin air, oli, dan air garam. Setelah selesai spesimen dikeluarkan dan didinginkan secara alami untuk selanjutnya dilakukan proses metalografi (*grinding*, amplas, poles dsb).

Setelah spesimen baja ST45 dilakukan proses metalografi kemudian dilakukan pengujian ukuran kristal, kerapatan diskolasi, dan regangan mikro kisi serta struktur kristal dengan alat Difraktometer sinar-x (XRD). . Beberapa spesimen lainnya dilakukan uji kekerasan dengan menggunakan skala/metode Brinell. Kemudian dilakukan perhitungan, pembahasan, dan analisa terkait data hasil pengujian yang didapat untuk diambil kesimpulan dari penelitian tersebut.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengujian XRD

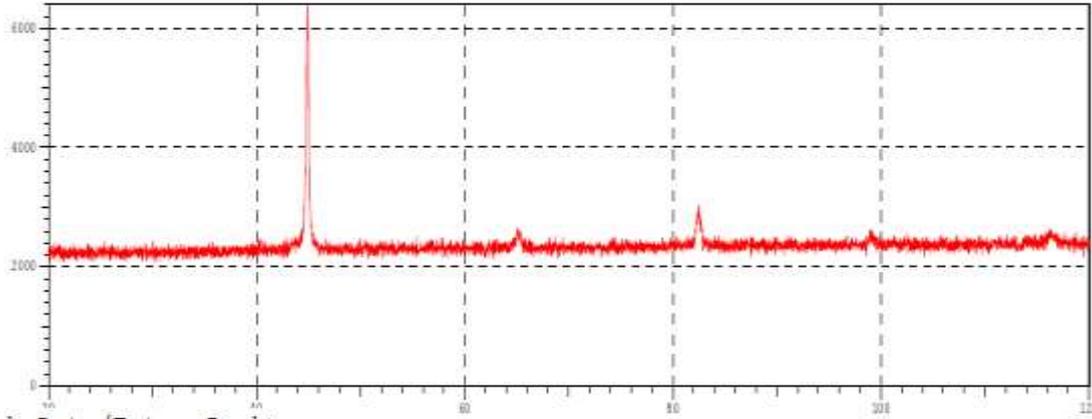
Data yang diperoleh dari hasil pengujian struktur Kristal (ukuran kristal, kerapatan dislokasi dan regangan mikro kisi menggunakan alat difraktometer sinar-X pada spesimen baja ST45. Gambar 4.1, 4.2, 4.3 dan tabel 4.1, 4.2, 4.3 hasil pengujian XRD dari sampel baja ST45 pada media pendingin air, oli, dan air garam dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 4.1 Difraktogram sinar-X baja ST45C *quenching* media air

Tabel 4.1 Hasil difraktometer sinar-x media *quenching* air

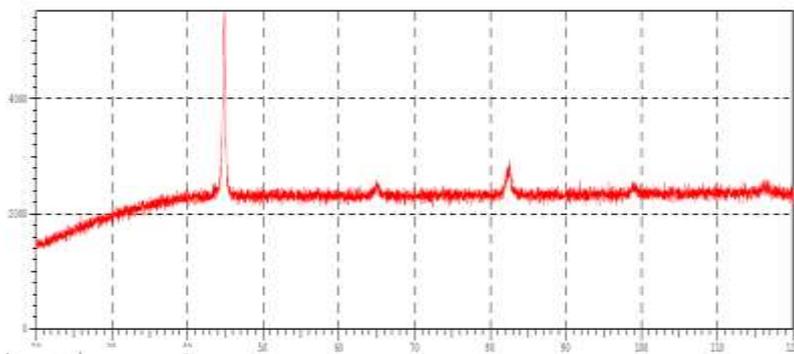
No.	Sudut 2θ	FWHM (β)	d (\AA)	Bidang hkl	Fasa	Bentuk kristal	Ukuran Kristal (\AA)	Kerapatan Dislokasi ($1/\text{mm}^2$)	Regangan Mikro (%)
1.	44.62	0.35090	2.029	110	α -martensit	BCT	5.866	0.0291	0.089
3.	64.83	0.37470	1.436	200	α -martensit	BCT	9.191	0.0118	0.044
2.	82.17	0.54640	1.172	211	γ -austenit	FCC	8.476	0.0139	0.019



Gambar 4.2 Difraktogram sinar-X baja ST45C *quenching* media oli

Tabel 4.2 Hasil difaktometer sinar-x *quenching* media oli

No.	Sudut 2θ	FWHM (β)	d (\AA)	Bidang hkl	Fasa	Bentuk kristal	Ukuran Kristal (\AA)	Kerapatan Dislokasi ($1/\text{mm}^2$)	Regangan Mikro (%)
1.	44.86	0.27880	2.018	110	α -martensit	BCT	5.681	0.0310	0.169
2.	65.08	0.31330	1.431	200	α -martensit	BCT	5.541	0.0326	0.123
3.	82.40	0.42500	1.169	211	γ -austenit	FCC	4.579	0.0477	0.121



Gambar 4.3 Difraktogram sinar-X baja ST45C *quenching* media air garam

Tabel 4.3 Hasil difaktometer sinar-x *quenching* media air garam

No.	Sudut 2θ	FWHM (β)	d (\AA)	Bidang hkl	Fasa	Bentuk kristal	Ukuran Kristal (\AA)	Kerapatan Dislokasi ($1/\text{mm}^2$)	Regangan Mikro (%)
1.	44.82	0.39030	2.020	110	α -martensit	BCT	5.866	0.0291	0.214

2.	64.96	0.50000	1.434	200	α -martensit	BCT	9.191	0.0118	0.148
3.	82.33	0.67410	1.170	211	γ -austenit	FCC	8.476	0.0139	0.157

4.2 Hasil pengujian kekerasan dan kuat Tarik

Tabel 4,4 Hasil pengujian kekerasan skala Brinell (HB) dan kuat tarik

No.	Nama sampel	Kekerasan Skala Brinell (HB)	Kekuatan tarik (MPa)
1.	Baja ST45C (Tanpa pemanasan)	292	1.007
2.	Baja ST45C (Dipanaskan 850 °C tahan 90 menit, <i>Quenching</i> media air garam)	596	2056
3.	Baja ST45C (Dipanaskan 850 °C tahan 90 menit, <i>Quenching</i> media air)	558	1925
4.	Baja ST45C (Dipanaskan 850 °C tahan 90 menit, <i>Quenching</i> media oli SAE 30-50 W)	502	1732

4.3 Pembahasan

Nilai kekerasan pada spesimen baja ST45C as cast atau tidak dipanaskan sebesar 292 HB. Pada spesimen baja ST45C yang dipanaskan pada temperatur 850 °C dan ditahan selama 90 menit, selanjutnya dicelupcepat (*Quenching*) di media air garam kekerasannya sebesar 596 HB. Demikian juga pada spesimen baja ST45C dipanaskan 850 °C, ditahan selama 90 menit, di *Quenching* media air kekerasan sebesar 558 HB dan dipanaskan 850 °C, ditahan selama 90 menit, *Quenching* media oli nilai kekerasan sebesar 506 HB. Dimana nilai kekeras. Hal ini disebabkan spesimen baja ST45C telah terjadi perubahan fasa dari fasa γ -austenit berstruktur kristal FCC (face centre cubic) dimana ukuran kisi $a = b = c$, menjadi fasa α -martensit, sisa fasa ferit dan tegangan sisa akibat unsur atom karbon yang terperangkap/terjebak menggantikan posisi unsur besi (Fe) membentuk struktur kristal BCT (body centre tetragonal) dimana ukuran kisi $a=b$, tapi tidak sama c . Adapun perbedaan nilai kekerasan spesimen baja ST45C dipanaskan dan celup cepat di antara media air garam, air dan oli, hal ini disebabkan beda temperatur media. Dimana media air garam lebih dingin (lebih rendah temperaturnya) dibandingkan air dan oli. Hasil pengujian kuat tarik dari spesimen baja ST45C sebelum dibandingkan setelah perlakuan panas sangat signifikan perbedaannya, karena setelah dipanaskan 850 ° C nilai kuat tarik dipengaruhi oleh fasa-fasa (fasa α -martensit, sisa fasa austenit dan tegangan sisa) yang ada di dalam struktur *base metal* baja ST45C. Selain itu terjadi

transformasi fasa dari γ -austenit pada proses austenisasi, selanjutnya pada pendinginan sangat cepat baja ST45C dengan unsur C sekitar 0,5% tidak cukup waktu untuk transformasi fasa γ -austenit menjadi fasa α -martensit 100% sehingga masih ada austenit sisa. Hal ini berakibat pada struktur spesimen baja ST45C yang fasanya terdiri dari γ -austenit sisa dan fasa α -martensit. Fasa campuran tersebut menyebabkan tegangan sisa dalam struktur spesimen baja ST45C menjadi tinggi sehingga kerapatan dislokasi tinggi dan kekrasannya paling tinggi. Penghalusan struktur dilakukan menggunakan model dua-fasa yang terdiri dari γ -austenit dengan grup ruang Fm $\bar{3}$ m (1-225) dan fasa α -martensit, yang merupakan tetragonal pusat ruang (BCT) dengan grup ruang 14/rnrnrn (1-139). [8] Hal ini menunjukkan bahwa fasa γ -austenit yang tersisa masih banyak dan fasa α -martensit juga terbentuk. Dengan terbentuknya fasa α -martensit maka pada spesimen baja ST45C terjadi tegangan sisa, ini yang menyebabkan sifat mekanis (kekerasan) meningkat. Kekerasan sendiri adalah suatu sifat mekanis yang berkaitan dengan kekuatan (strength) dan merupakan fungsi dari kandungan karbon dalam baja.

Dimana selama penarikan logam atau logam paduan terjadi proses deformasi plastis yaitu perubahan dari daerah elastis menjadi plastis yang ditandai adanya fenomena penyempitan penampang (*necking*) pada spesimen uji tarik. Besarnya deformasi plastis dikendalikan oleh mekanisme pengerasan regangan (*strain hardening*). Tegangan tarik yang diterapkan pada spesimen baja ST45C menyebabkan kerapatan dislokasi semakin naik (lihat Grafik 4.5) seiring dengan bertambahnya deformasi plastis sehingga jarak rerata antara dislokasi menjadi lebih pendek. Adanya penumpukan dislokasi-dislokasi yang diikuti dengan dislokasi-dislokasi yang terkunci di dalam kristal yang merupakan sumber tegangan dalam (*internal stress*) atau tegangan sisa (*residual stress*) yang akan melawan atau menahan pergerakan dislokasi lainnya. Dislokasi-dislokasi menjadi sulit bergerak. Pengerasan regang (*strain hardening*) terjadi sebagai akibat penumpukan kerapatan dislokasi pada spesimen baja ST45C setelah dipanaskan 850 °C dan ditahan 90 menit saat deformasi plastis dan mengeras akibat adanya hambatan selama deformasi, seperti perpotongan antar dislokasi, cacat titik, cacat garis (dislokasi), presipitat dan unsur pengotor. Oleh karena selama uji tarik spesimen baja ST45C terjadi deformasi plastis dan mekanisme pengerasan regang maka kekerasan baja di daerah patahan lebih tinggi dibandingkan *base metal* baik tanpa perlakuan panas maupun dengan perlakuan panas. Selain itu bisa juga disebabkan pada proses *quenching* baja ST45C pasca pemanasan dengan kandungan unsur karbon (C) sekitar 0,5% berat, waktu yang dibutuhkan untuk atom-atom karbon terjebak sempurna, tidak cukup karena masih terdapat austenit sisa sehingga fasa yang terbentuk adalah fasa martensit yang strukturnya berbentuk jarum dan ferit. Oleh karena terdapat dua fasa yang berbeda karakternya maka tegangan sisanya tinggi akibat terjadi efek mekanisme pengerasan regangan (*strain hardening*) pada sampel baja S45C pasca pemanasan.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh penulis dapat disimpulkan bahwa terjadi perubahan sifat mekanik yaitu kekerasan dan kekuatan tarik pada baja paduan ST45C setelah dilakukan proses perlakuan panas. Dari hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa ukuran kristal sampel baja ST45C tertinggi pada media air (7,23 nm), media oli (4,33nm) dan media air garam (4,51nm). Nilai kekerasan tertinggi pada media air garam 596 HB dan kuat tariknya 2056 MPa pada media pendingin air garam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. H. Amstead, P. F. Ostwald, and M. L. Begeman (Penerjemah: S. Djaprie). 1992. Teknologi Mekanik Jilid 1, Edisi ketujuh, Erlangga, Jakarta.
- [2] Setiawan, Jan, Sungkono. 2017. "Karakteristik Daktilitas SS304 Yang Teroksidasi Pada Temperatur Tinggi" Urania Vol 125. P ISSN 0852-4777.
- [3] ASM Handbook, Volume 1, 2016, Properties and Selection.
- [4] Anhari. 2017. "Pengaruh Temperatur Proses Pack Carburizing terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Baja Karbon Rendah Dengan Media Pendingin Air" Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya,
- [5] Joseph E. Shigley, Larry D. Mitchel, Gandhi Harapan. 1994. Perancangan Teknik Mesin, edisi keempat jilid 1.
- [6] Handoyo Yopi. 2015. "Pengaruh Quenching dan Tempering pada baja Jis Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis," Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Vol.III Nomor 2 Fakultas Teknik – Universitas Islam 45 Bekasi,
- [7] ASM metals, reference book edisi 3, Materials Part ASTM International, Ohio, 2004.
- [8] Djoko W., "Analisis Kerusakan Sistematika dan Peranannya Dalam Meningkatkan Kualitas Hasil Industri Produk Baja" Seminar Pada Jurusan Teknik Metalurgi STTIB September 1991.
- [9] Jr, William D. Callister, Davit G. Rethwisch. 2004. "Material Science and Engineering An Introduction" Edisi 9
- [10] Wicaksono, Bagus Dwi. 2018. Pengaruh Perlakuan Pendinginan Terhadap Kekerasan Dan Mikrostruktur Titanium Ti6al4v Untuk Aplikasi Biomedical. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Malang.
- [11] Sulaeman, Maman, Haris Budiman, Engkos Koswara. 2018. "Proses Uji Dimensi, Uji Kekerasan Dengan Metode Rockwell Dan Uji Komposisi Kimia Pada Cangkul Di Balai Besar Logam Dan Mesin (Bblm) Bandung". Jurnal. Universitas Majalengka.
- [12] Ibrahim, A and M. Sayuti, 2015. *Effect of Heat Treatment on Hardness and Microstructures of AISI 1045*, Advanced Material Research Vol. 1119, 575-579.
- [13] Prasetyo, H. C dan T. H. Ningsih, 2018. Analisa Pengaruh *Heat Treatment* Terhadap Kekerasan Material Baja S45C Untuk Aplikasi Poros Roda Sepeda Motor, JTM, Vol. 6 (2), 29-34.
- [14] I. Basori, W. D. Pratiwi, and S. T. Dwiwati, 2019. Effect of Salt Quenching on TheMicrostructures and Mechanical Properties of AISI 1045 Steel, J. of Physics:Conference Series, 1402.