

KARAKTERISTIK STRUKTUR MIKRO HASIL PROSES HARDENING BAJA AISI 1045 MEDIA QUENCHING UNTUK APLIKASI *SPROCHET* RANTAI

Agus Pramono

Jurusan Teknik Metalurgi - Fakultas Teknik
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa - Cilegon Banten
agus.pramono.stmt@gmail.com

ABSTRAK

Pada baja AISI 1045 dilakukan dengan proses *heat treatment* (perlakuan panas), yang dilanjutkan dengan proses *quenching*, tujuannya untuk mendapatkan struktur martensit yang keras dan memiliki ketahanan aus yang baik. Struktur Mikro yang dicapai tergantung pada temperatur pemanasan, *holding time*, dan laju pendinginan yang dilakukan pada laku panas. Struktur Mikro dari baja AISI 1045 yang dicapai pada proses perlakuan panas dilanjutkan *quenching* agitasi dengan tebal sampel dan volume air yang divariasikan, sehingga diperoleh struktur mikro pada masing-masing sampel dengan variasi dan bentuk yang berbeda-beda, hal ini disebabkan faktor lain yang mempengaruhi terjadinya perbedaan sifat mekanik pada masing-masing sampel yaitu jumlah martensit yang terbentuk dari hasil proses laku panas yang dipengaruhi oleh tebal sampel dan volume air *quenching* yang mempengaruhi banyaknya martensit

Kata Kunci : Perlakuan Panas, Hardening, Baja AISI 1045, Quencing

ABSTRACT

Based on AISI 1045 of steel with heat treatment performed (heat treatment), followed by quenching process which goal are get a hard martensite structure and good wear resistance. Micro structure is depends on the heating temperature, holding time and cooling rate which performed on hot sell. Micro structure of AISI 1045 steel achieved by the heat treatment process of agitation followed by quenching the sample thickness and water volume are varied, so that the microstructure obtained in each sample with variations and different forms, this is due to other factors that influence the occurrence differences in mechanical properties of each sample is the amount of martensite formed from the thermal behavior of a process that is influenced by sample thickness and volume of water quenching which affects the amount of martensite

Keywords : Heat Treatment, Hardening, AISI 1045 of steel, Quenching

1. Pendahuluan

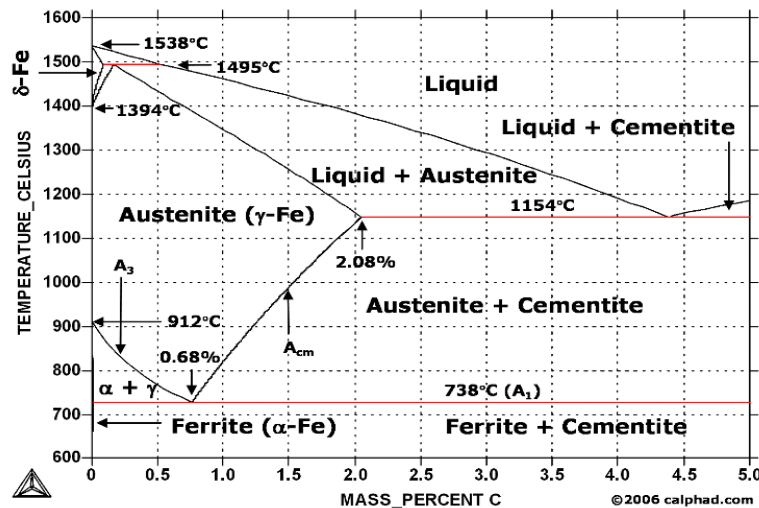
Dalam bidang material terdapat dua cara perlakuan panas untuk meningkatkan nilai kekerasan baja, yaitu perlakuan panas (*heat treatment*) dan deformasi plastis. Baja karbon yang dipanaskan hingga mencapai suhu austenit kemudian didinginkan secara cepat akan terbentuk struktur martensit yang memiliki kekerasan yang lebih tinggi dari struktur perlit maupun ferit, proses ini dinamakan *quenching*. Baja spesifikasi AISI 1045 merupakan baja karbon menengah dengan komposisi karbon berkisar 0,43-0,50 %. Baja ini umumnya dipakai sebagai komponen automotif misalnya untuk komponen roda gigi dan Sproket pada kendaraan bermotor yang pada aplikasinya sering mengalami gesekan dan tekanan maka ketahanan terhadap aus dan kekerasan sangat diperlukan sekali (*Heat Treatment Of Tool Steel*). Untuk mendapatkan kekerasan dan ketahanan terhadap aus dari bahan tersebut dapat dilakukan melalui perlakuan panas dengan cara *hardening* yang dilanjutkan dengan proses *quenching*, tujuannya untuk mendapatkan struktur martensit yang keras dan memiliki ketahanan aus yang baik. Dari proses *quenching* tersebut spesimen sering sekali mengalami *cracking*, *distorsi* dan ketidakseragaman kekerasan yang diakibatkan oleh tidak seragamnya temperatur larutan pendingin. Pada proses *quenching* terjadi perpindahan panas dari spesimen baja kelarutan pendingin yang ditandai dengan terjadinya pembentukan gelembung-gelembung udara yang kemudian berlanjut dengan terbentuknya selubung udara pada permukaan spesimen tersebut. Adanya selubung udara ini dapat membuat laju pendinginan menjadi lebih kecil dari pada laju pendinginan kritis (Totten, GE, Bates, CE, 1993). Turunnya laju pendinginan ini dapat menyebabkan tidak tercapainya pembentukan fasa martensit. Oleh karena itu, untuk mempersingkat waktu terbentuknya selubung udara atau meningkatkan laju pendinginan, maka diperlukan suatu media air dalam alat *quenching* agitasi.

Dengan mengetahui variabel perlakuan Panas Hardening maka dapat diketahui pengaruh waktu penahanan pada proses perlakuan panas terhadap Struktur Mikro (*metallography*) pada baja AISI 1045 dari pengaruh tebal sampel terhadap volume air pada alat *quenching* agitasi dan pengaruh konsentrasi air pendingin pada alat *quenching* agitasi sehingga dengan perubahan fasa pada struktur mikronya maka karakteristik Baja juga mengalami perubahan.

2. Landasan Teori

2.1. Baja Karbon (Baja AISI 1045)

Baja adalah paduan *ferro*-karbon dengan kadar karbon tidak lebih dari 2%, apabila kandungan karbonnya lebih dari 2 % disebut sebagai besi tuang (*cast iron*) [Avner, 1974].



Gambar 1. Diagram fasa Fe – Fe₃C

Baja AISI 1045 adalah baja karbon yang mempunyai kandungan karbon sekitar 0,43 - 0,50 dan termasuk golongan baja karbon menengah [Glyn, 2001]. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen automotif misalnya untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor. Komposisi kimia dari baja AISI 1045 dapat dilihat pada Tabel II.1.

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja AISI 1045

Kode	C %	Si %	Mn %	Mo %	P %	S %
AISI 1045	0,4-0,45	0,1-0,3	0,60-0,90	0,025	0,04 max	0,05 max

Baja AISI 1045 disebut sebagai baja karbon karena sesuai dengan pengkodean internasional, yaitu seri 10xx berdasarkan nomenklatur yang dikeluarkan oleh AISI dan SAE (Krauss, G. 1986). Pada angka 10 pertama merupakan kode yang menunjukkan *plain carbon* kemudian kode xxx setelah angka 10 menunjukkan komposisi karbon [Glyn, 2001]. Jadi baja AISI 1045 berarti baja karbon atau *plain carbon steel* yang mempunyai komposisi karbon sebesar 0,45%. Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen roda gigi, poros dan bantalan. Pada aplikasinya ini baja tersebut harus mempunyai ketahanan aus yang baik karena sesuai dengan fungsinya harus mampu menahan keausan akibat bergesekan dengan rantai. Ketahanan aus didefinisikan sebagai ketahanan terhadap abrasi atau ketahanan terhadap pengurangan dimensi akibat suatu gesekan [Avner, H, S. 1974]. Pada umumnya ketahanan aus berbanding lurus dengan kekerasan.

2.2 Proses Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Perlakuan panas atau *heat treatment* adalah kombinasi operasi pemanasan pada logam di bawah temperatur lebur logam tersebut dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu [Avner, H, S. 1974]. Hal ini dimaksudkan untuk memperoleh sifat yang diinginkan dengan merubah struktur mikronya. Struktur yang terjadi pada akhir suatu proses laku panas, selain ditentukan oleh komposisi kimia dari material dan proses laku panas yang dialami juga

ditentukan oleh struktur awal material. Paduan dengan komposisi kimia yang sama, dan mengalami proses laku panas yang sama, mungkin akan menghasilkan struktur mikro dan sifat yang berbeda bila struktur awal materialnya berbeda. Struktur awal ini banyak ditentukan oleh pengerjaan dan laku panas yang dialami sebelumnya. Disamping itu dasar-dasar semua proses laku panas melibatkan transformasi dan dekomposisi austenit. Langkah pertama dalam proses laku panas baja adalah memanaskan material sampai temperatur tertentu atau di atas temperatur daerah kritis untuk membentuk fasa austenit. Kemudian diberi waktu penahanan agar austenit dapat lebih homogen baru setelah itu dilakukan proses pendinginan. Proses pendinginan dilakukan dengan cermat agar benda kerja tidak mengalami cacat retak setelah mengalami proses ini. Variasi tipe proses perlakuan panas di atas adalah sama karena seluruh proses perlakuan panas hanya melibatkan proses pemanasan yang membedakannya adalah temperatur pemanasan dan laju pendinginannya. Proses pemanasan dan kecepatan laju pendinginan ini sangat mempengaruhi hasil akhir dari proses perlakuan panas.

Proses ini berguna untuk memperbaiki kekerasan dari baja tanpa dengan mengubah komposisi kimia secara keseluruhan. Proses ini mencakup proses pemanasan sampai pada austenisasi dan diikuti oleh pendinginan dengan kecepatan tertentu untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan. Temperatur yang dipilih tergantung pada jenis baja yang diproses, dimana temperatur pemanasan 50-100 °C di atas garis A_3 untuk baja *hypoeutektoid*. Sedangkan proses pendinginannya bermacam-macam tergantung pada kecepatan pendinginan dan media *quenching* yang dikehendaki. Untuk pendinginan yang cepat akan didapatkan sifat logam yang keras dan getas sedangkan untuk pendinginan yang lambat akan didapatkan sifat yang lunak dan ulet. Pada baja *hypoeutektoid* temperatur di atas garis A_{c3} , struktur baja akan seluruhnya berkomposisikan butir austenit, dan pada saat pendinginan cepat akan menghasilkan martensit. *Quenching* baja *hypoeutektoid* dari temperatur di atas temperatur optimum akan menyebabkan terjadinya *overheating*. *Overheating* dalam *hardening* akan menghasilkan butir martensit kasar yang mempunyai kerapuhan yang tinggi. Waktu pemanasan ini merupakan fungsi dari dimensi dan daya hantar panas benda kerja. Lamanya waktu penahanan akan menimbulkan pertumbuhan butir yang dapat menurunkan kekuatan material. Martensit adalah mikro konstituen yang terbentuk tanpa melalui proses difusi. Konstituen ini terbentuk saat Austenit didinginkan secara sangat cepat, misalnya melalui proses *quenching* pada medium air. Transformasi berlangsung pada kecepatan sangat cepat, mendekati orde kecepatan suara, sehingga tidak memungkinkan terjadi proses difusi karbon. Transformasi martensite diklasifikasikan sebagai proses transformasi tanpa difusi yang tidak tergantung waktu (*diffusionless time-independent transformation*). Martensit yang terbentuk berbentuk seperti jarum yang bersifat sangat keras (*hard*) dan getas (*brittle*). Fasa martensit adalah fasa metastabil yang akan membentuk fasa yang lebih stabil apabila diberikan perlakuan panas. Martensit yang keras dan getas diduga terjadi karena proses transformasi secara mekanik (geser) akibat adanya atom karbon yang terperangkap pada struktur kristal pada saat terjadi transformasi *polymorfi* dari FCC ke BCC. Hal ini dapat dipahami dengan membandingkan batas kelarutan atom karbon di dalam FCC dan BCC serta ruang intertisi maksimum pada kedua struktur kristal tersebut. Akibatnya terjadi distorsi kisi kristal BCC menjadi BCT atau (*body centered tetragonal*). Distorsi kisi akibat transformasi pada proses pendinginan secara cepat tersebut berbanding lurus dengan jumlah atom karbon terlarut.

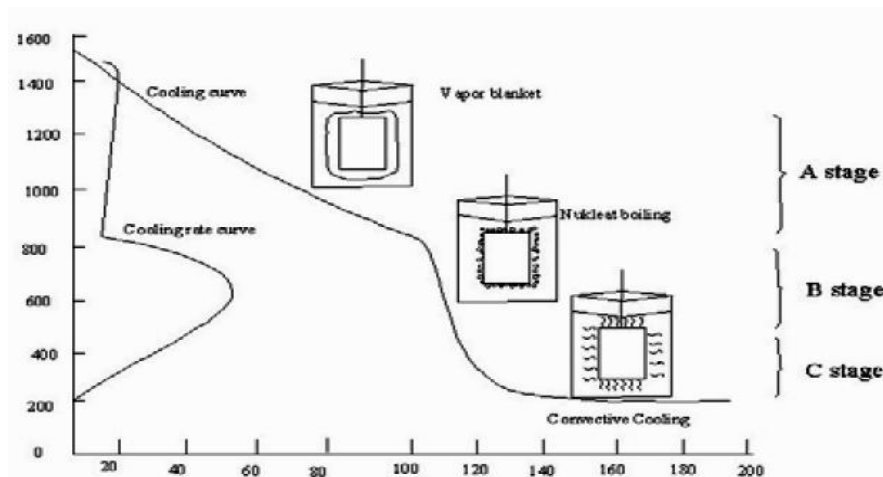
Holding time dilakukan untuk mendapatkan kekerasan maksimum dari suatu bahan pada proses *hardening* dengan menahan pada temperatur pengerasan untuk memperoleh pemanasan yang *homogen* sehingga struktur austenitnya *homogen* atau terjadi kelarutan karbida ke dalam austenit dan difusi karbon dan unsur paduannya. Waktu penahanan sangat berpengaruh pada saat transformasi karena apabila waktu penahanan yang diberikan kurang tepat atau terlalu cepat, maka transformasi yang terjadi tidak sempurna dan tidak homogen selain itu waktu tahan terlalu pendek akan menghasilkan kekerasan yang rendah hal ini dikarenakan tidak cukupnya jumlah karbida yang larut dalam larutan. Sedangkan apabila waktu penahanan yang diberikan terlalu lama, transformasi terjadi namun diikuti dengan pertumbuhan butir yang dapat menurunkan ketangguhan [10]. Pedoman untuk menentukan waktu penahanan dari berbagai jenis baja dapat dilihat pada Tabel II.2 berikut ini.

Tabel 2. Jenis baja dan waktu tahan yang dibutuhkan pada proses perlakuan panas

Jenis baja	Waktu tahan (menit)
Baja karbon dan baja karbon rendah	5-15
Baja karbon menengah	15-25
<i>Low alloy tool steel</i>	10-30
<i>High alloy chrome steel</i>	10-60
<i>Hot-work tool steel</i>	15-30

2.3 Quenching

Proses *quenching* adalah proses *heat transfer* (perpindahan panas) dengan laju yang sangat cepat. Pada perlakuan *quenching* terjadi percepatan pendinginan dari temperatur akhir perlakuan dan mengalami perubahan dari *austenite* menjadi *bainite* dan *martensite* untuk menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang tinggi. Pengerasan maksimum yang dapat dicapai baja yang di-*quench* hampir sepenuhnya ditentukan oleh konsentrasi karbon dan kecepatan pendinginan yang sama atau lebih tinggi dengan kecepatan pendinginan kritis untuk paduan tersebut. Media *quenching* meliputi: air, air garam, oli, air-*polymer*, dan beberapa kasus digunakan *inert gas*. Gambar 2.2. di bawah memperlihatkan laju pendinginan panas dari logam sebagai fungsi dari temperatur permukaan logam. Awal pencelupan (Tahap A), logam akan diselubungi oleh selubung uap, yang akan pecah saat logam mendingin. Perpindahan panas saat terbentuknya selubung uap ini buruk, dan logam akan mendingin dengan lambat pada tahap ini. Stabilitas dan lamanya proses pendinginan tahap A sangat dipengaruhi oleh agitasi, umumnya waktu pendinginan tahap ini berkurang dengan peningkatan agitasi [Totten, GE, Bates, CE,1993].

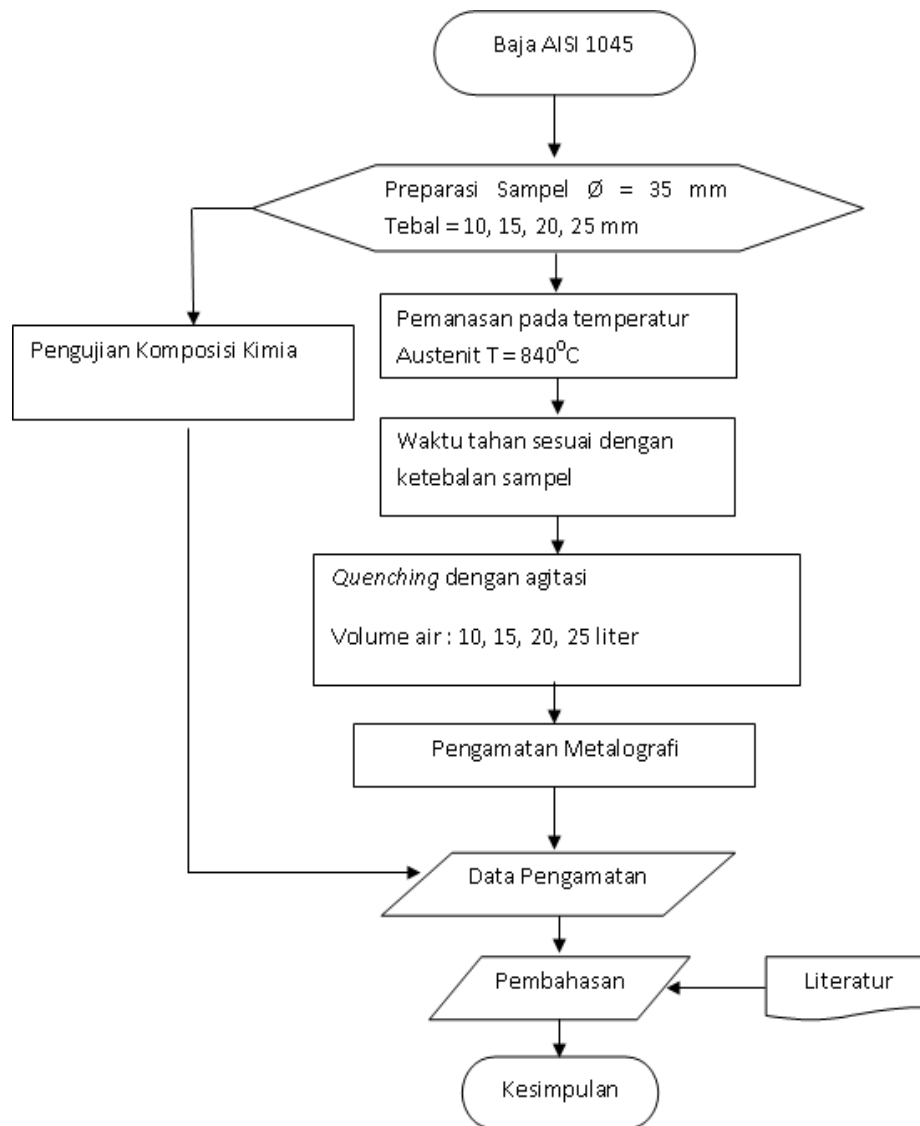


Gambar 2. Mekanisme pendinginan pada spesimen yang di-*quench*.

Tahap B dari kurva pendinginan dinamakan tahap dididih *nukleat* dan pada tahap ini terjadi perpindahan panas yang cepat karena logam langsung bersentuhan dengan air. Pada tahap ini, logam masih sangat panas dan air akan mendidih dengan hebatnya. Kecepatan pembentukan uap air menunjukkan sangat tingginya laju perpindahan panas. Selanjutnya perpindahan panas pada pendinginan tahap ini dapat ditingkatkan dengan peningkatan agitasi [Totten, GE, Bates, CE,1993].

3. Metodologi Penelitian

3.1. Diagram Alir Penelitian

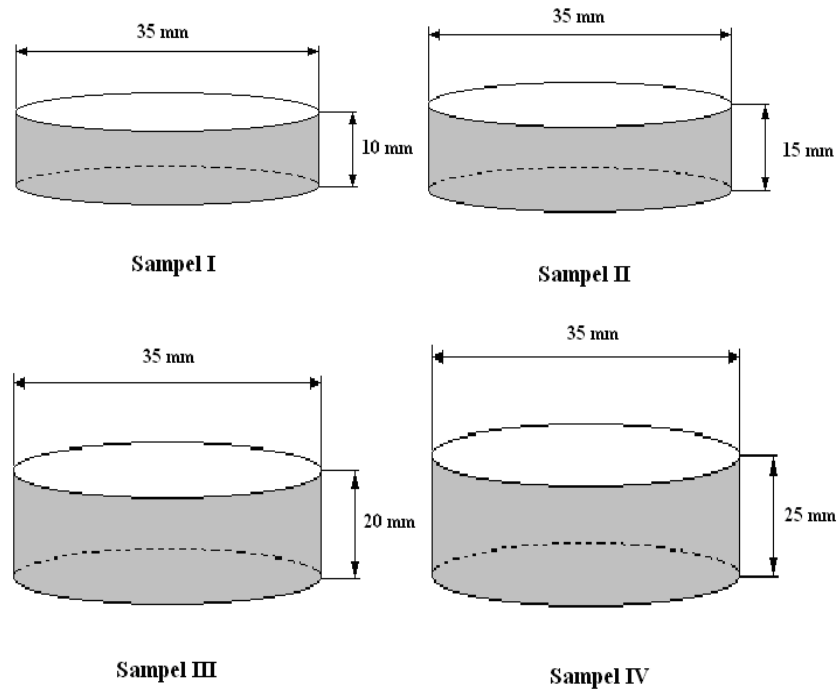


Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

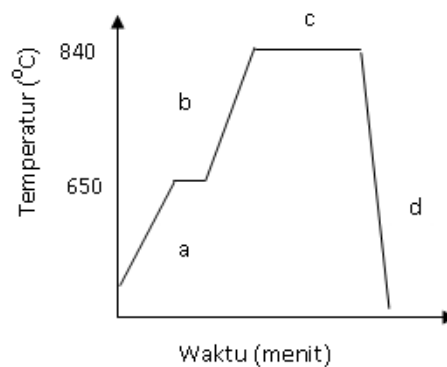
3.2. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian awal yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi beberapa tahapan diantaranya:

1. Memotong baja AISI 1045 terdiri dari 4 buah sampel dengan dimensi ukuran 10 mm, 15 mm, 20 mm dan 25 mm.
2. Melakukan pengujian awal terhadap komposisi kimia, kekerasan dan pengamatan metalografi baja AISI 1045 sebelum dilakukan proses *hardening*.
3. Menyiapkan air dan alat uji *quenching* agitasi.
4. Proses pemanasan pada baja AISI 1045 dalam *muffle furnace*. Pada proses ini baja AISI 1045 dipanaskan hingga temperatur austenisasi (untuk baja AISI 1045 temperatur austenisasinya berkisar 840 °C), kemudian ditahan dengan waktu penahanan yang disesuaikan ketebalan masing-masing spesimen. Setelah ditahan sampel tersebut kemudian didinginkan ke dalam media pendinginan yang teragitasi dengan variasi volume air 10 liter, 15 liter, 20 liter dan 25 liter. Dengan kecepatan agitasi 600 rpm.
5. Melakukan pengujian dan pengamatan metalografi baja AISI 1045 sesudah dilakukan proses *quenching* agitasi.



Gambar 4. Bentuk dan ukuran sampel yang digunakan



Gambar 5. Skema proses laku panas yang digunakan

Keterangan

- a = pemanasan awal diikuti dengan penahanan
- b = pemanasan lanjutan sampai temperatur austenisasi
- c = waktu penahanan pada temperatur austenisasi
- d = proses pendinginan atau *quench*

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Komposisi Sampel Uji Baja AISI 1045

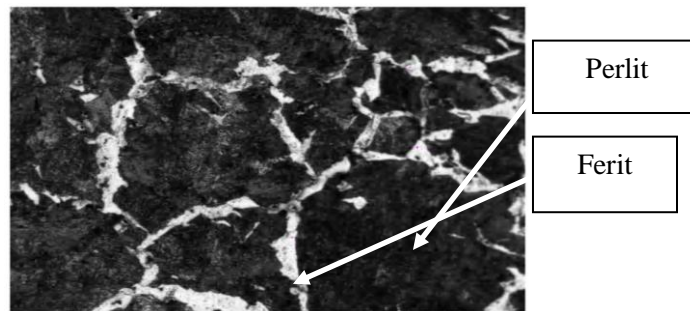
Dari hasil pengujian komposisi kimia terhadap sampel awal yang digunakan dalam penelitian ini masih dalam batas Spek komposisi Material, proses pengujian kimia dilakukan dengan standar DIN 50049/EN 10204/2.3.

Tabel 3. Komposisi Kimia Hasil Pengujian dan Standar Baja AISI 1045

Komposisi (%)	Standar AISI 1045	Hasil Pengujian
C	0,43-0,50	0,45
Si	0,10-0,30	0,9
Mn	0,60-0,90	0,8
P	0,04 maks	0,01
S	0,05 maks	0,02
Mo	0,025	0,018

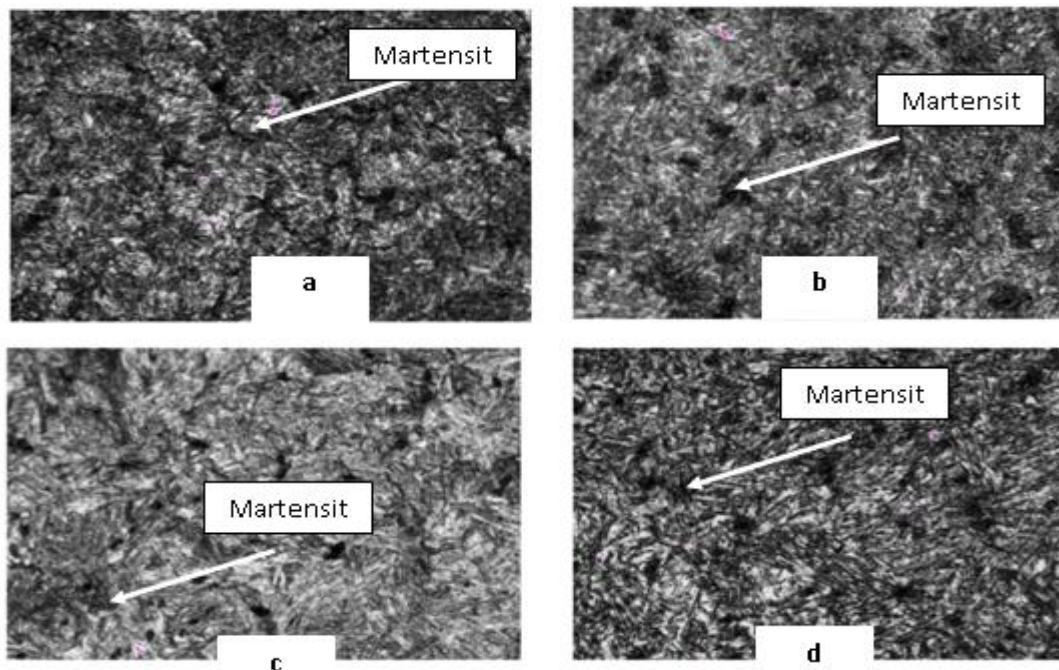
4.2. Pengaruh Tebal Sampel dan Volume Air *Quenching* terhadap Struktur Mikro

Dari hasil pengamatan struktur mikro yang dilakukan diperoleh gambar struktur mikro dari masing-masing sampel seperti yang terlihat pada hasil metalografi berikut ini. Dari gambar-gambar struktur mikro tersebut terlihat bahwa untuk sampel yang belum diberi proses laku panas atau struktur awal sampel yang ditunjukkan pada Gambar 6. terlihat struktur ferit dan perlit. Sedangkan sampel hasil proses laku terlihat struktur martensit sehingga sampel hasil proses laku panas lebih keras dari sampel yang belum dilaku panas.



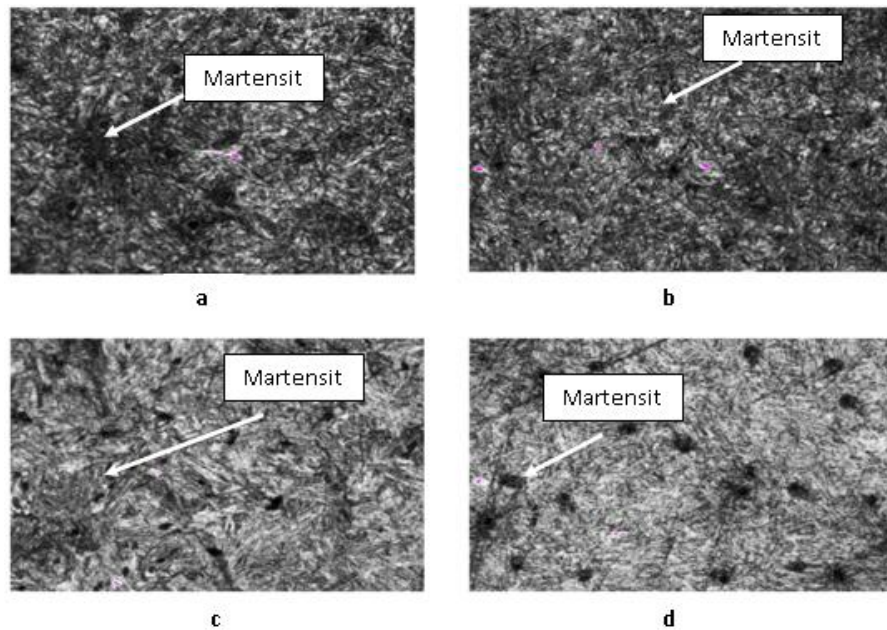
Gambar 6. Struktur mikro awal sampel pembesaran 500X etsa nital 3%

Metalografi menghasilkan gambar-gambar seperti gambar 7- 10. dimana fasa tersebut hasil dari pengetsaan menggunakan larutan HNO_3 dan pembesaran yang diambil adalah 500x dari pembesaran 10 garis yang terdapat dalam foto mewakili jarak 50 μm .



Gambar 7. Struktur mikro spesimen tebal sampel 10, 15, 20, dan 25 mm dengan volume air *Quenching* 10 liter pada pembesaran 500X etsa nital 3%

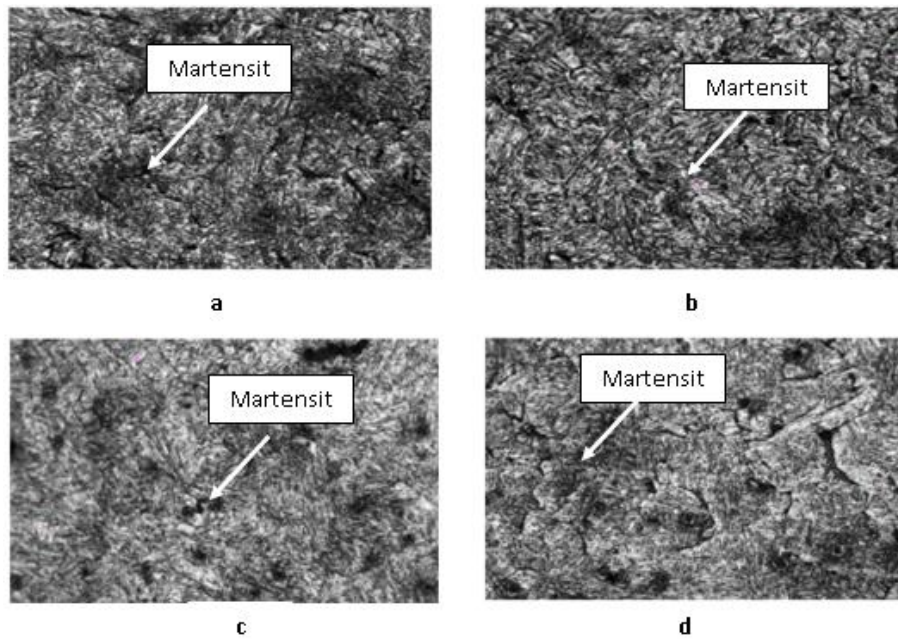
Pada volume air *quenching* 10 liter, sampel dengan tebal 10 mm dan 15 mm distribusi martensit tersebar merata dapat dilihat pada Gambar 7.(a) dan (b). Pada sampel dengan tebal 20 mm fasa martensit sangat jarang dan fasa ferit lebih dominan dapat dilihat pada Gambar 7. (c). Sedangkan sampel dengan tebal 25 mm distribusi martensit lebih banyak dan tersebar merata dengan nilai kekerasan yang tinggi sebesar 60,25 HRC. Jadi dengan holding time yang cukup dapat menghasilkan distribusi martensit yang merata dapat dilihat pada Gambar 7.(d).



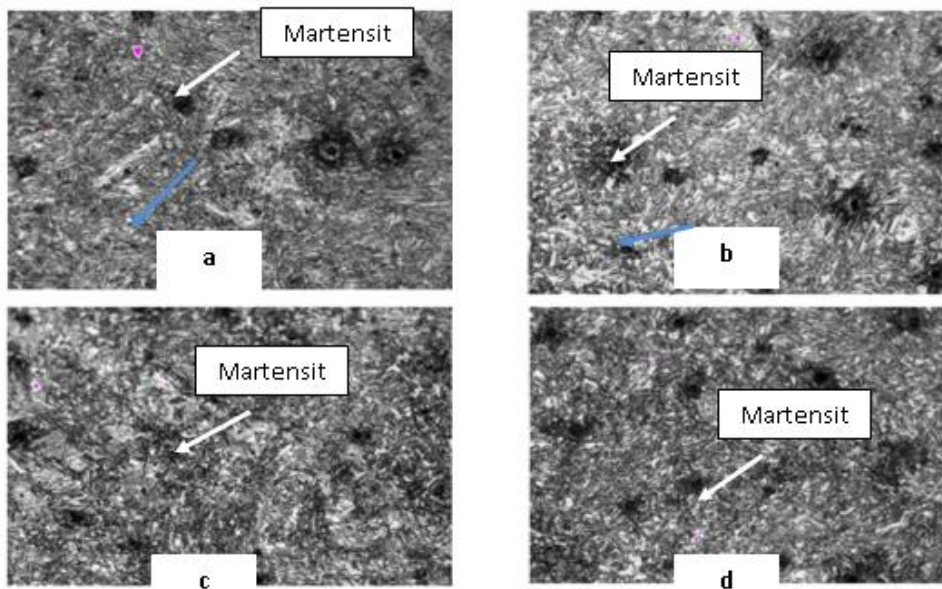
Gambar 8. Struktur mikro spesimen tebal sampel 10, 15, 20, dan 25 mm dengan volume air *quenching* 15 liter pada pembesaran 500X etsa nital 3%

Pada volume air *quenching* 15 liter, pada sampel dengan tebal 15 mm distribusi martensit tersebar merata dengan nilai kekerasan 59,5 HRC dapat dilihat pada Gambar 8.(b) . Pada sampel dengan tebal 10 mm distribusi martensit tersebar merata dapat dilihat pada Gambar 8.(a). Sampel dengan tebal 20 mm dan 25 mm fasa martensit terbentuk sangat jarang dapat dilihat pada Gambar 8. (c) dan (d).

Pada gambar 9 dengan volume air 20 liter, pada tebal sampel 10 mm menunjukkan distribusi martensit yang merata, dengan nilai kekerasan 58,25 HRC dapat dilihat pada gambar 9.(a). Pada sampel dengan tebal 20 mm dan 25 mm distribusi martensit sedikit dapat dilihat pada gambar 9.(c) dan (d). Dan pada sampel dengan tebal 15 mm menunjukkan distribusi martensit merata dibandingkan tebal 20 mm dan 25 mm dapat dilihat pada Gambar 9.(b).



Gambar 9. Struktur mikro spesimen tebal sampel 10, 15, 20, dan 25 mm dengan volume air *quenching* 20 liter pada pembesaran 500X etsa nital 3%



Gambar 10. Struktur mikro spesimen tebal sampel 10, 15, 20, dan 25 mm dengan volume air *quenching* 25 liter pada pembesaran 500X etsa nital 3%

Pada gambar di atas dengan volume air 25 liter, pada tebal sampel 25 mm menunjukkan distribusi martensit yang merata, dengan nilai kekerasan 59,5 HRC dapat dilihat pada gambar 10.(d). Pada sampel dengan tebal 10 mm, 15 mm dan 20 mm distribusi martensit sedikit dapat dilihat pada gambar 10.(a), (b) dan (c). Dari keempat volume air yang digunakan pada proses *quenching* dapat diperoleh hasil kekerasan rata-rata tertinggi pada volume air 10 liter dengan nilai kekerasan 59,62 HRC. Dari grafik Gambar 7. dapat dilihat adanya penurunan nilai kekerasan volume air 15 liter sampai ke volume air 25 liter.

Dari gambar di atas selain bentuk martensit yang dihasilkan pada masing-masing sampel berbeda faktor lain yang mempengaruhi terjadinya perbedaan kekerasan pada masing-masing sampel yaitu jumlah martensit yang terbentuk hasil proses laku panas. Yang dipengaruhi oleh tebal sampel dan volume air *quenching* yang mempengaruhi banyaknya martensit. Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya perbedaan kekerasan pada masing-masing sampel pada jumlah martensit yang terbentuk hasil proses laku panas yaitu apabila dilihat secara visual, tampak terlihat adanya bintik-bintik hitam

pada tiap sampel yang merupakan *void* atau kotoran yang terbentuk saat *polishing* yang tidak sempurna, tetapi terlihat jarum yang agak besar yang strukturnya tidak beraturan sebagai adanya indikasi terbentuknya struktur martensit (Dian, Syahril.1999).

5. Simpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Pada volume air 10 liter diperoleh distribusi martensit tersebar merata dibandingkan dengan volume air 15, 20, dan 25.
2. Peningkatan karakteristik struktur mikro akan meningkatkan ketahanan aus pada baja AISI 1045.
3. Peningkatan struktur mikrom (martensit) akan berbanding lurus dengan meningkatnya ketahanan aus pada baja AISI 1045.

5.2 Saran

Kecepatan pendinginan dapat ditingkatkan lagi dengan pengadukan atau agitasi yang divariasikan kecepatannya, karena proses agitasi akan membantu laju pendinginan.

6. Daftar Pustaka

- [1] Avner, H, S. 1974. *Introduction to Physical Metallurgy*. 2nd edition, New York; McGraw-Hill International Editions.
- [2] Blackwood, R.R.*et.al*. *Conditions Leading To Quench Cracking Other Than Severity Of Quench*. Diakses tahun 2009 (On Line)
- [3] *Carbon Steel*, Diakses tahun 2009. (On Line) Available at <http://en.wikipedia.org> (On Line)
- [4] *Chemical Composition of AISI 1045*. Diakses tahun 2009. (On Line) Available at <http://www.strindustries.com>
- [5] Glyn, *et.al*. 2001. *Physical Metallurgy of Steel*. Class Notes and lecture material. For MSE 651.01
- [6] *Heat Treatment Of Tool Steel*. Diakses tahun 2009 (On Line) Available at <http://www.uddeholm.com>
- [7] *Iron Carbon Equilibrium Phase Diagram*. Diakses Januari 2009. (On Line) Available at <http://www.dfoggknives.com>
- [8] Krauss, G. 1986. *Principles of Heat Treatment of Steel*. American Society for Material, Metal Park Ohio
- [9] Prayitno,*et.al*.1999. *Pengaruh Perbedaan Waktu Penahanan Suhu Stabil (Holding Time) Terhadap Kekerasan Logam*, Jurnal Natur Indonesia
- [10] Thelning, K.E. 1984. *Steel and It's Heat Treatment*. 2nd editon. Butterworths. London.
- [11] Totten, GE, Bates, CE, Clinton, NA, *Handbook of Quenchant and Quenching Technology*, ASM International, USA, 1993
- [12]Dian, Syahril.1999. *Pengaruh Media Quencing Air Tersirkulasi Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Baja AISI 4337*. Diakses tahun 2009 (On Line) Available at www.geocities.com/syahril_dian/Makalah.pdf.
- [13] Mubarak, Fahmi 2008. *Crystal Structures of Iron Fe – Fe₃C Phase Diagram Steels Cast Iron*. Diakses tahun 2009 (On Line) Available at <http://www.its.ac.id/personal/material.php?id=fahmi>
- [14] *Metastable Fe-C Phase Diagram*. Diakses tahun 2009 (On Line) Available at <http://www.calphad.com>