

## Efek Perbedaan Media Quenching pada Sifat Mekanik Baja Karbon Aisi 1045

Mohamad Agus Fhaizal<sup>1†</sup>, S. Sunyoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Teknik Mesin, Universitas Sangga Buana, Indonesia

<sup>2</sup> Teknologi Industri, Universitas Gunadarma, Indonesia

†korespondensi : mohamad.agus@usbypkp.ac.id

### ABSTRACT

*AISI1045 steel is widely used as an automotive component for example for gear components in motorized vehicles. In its application steel type AISI 1045 must have resistance and hardness to wear. This study aims to determine the effect of cooling media on hardness and depth of hardness and microstructure of Steel AISI 1045. The material is heat treated hardening Flame using oxy-acetylen gas with a holding time of 1 minute 30 seconds and quenching with a variety of cooling media (Water, Oil 10W40, and Oil 20W / 50) and holding time 1 hour. From the water cooling media produced the highest average hardness of 62.78 HRA, and the smallest was 52.34 HRA on oil cooling media 20W / 50. The results of the microstructure showed differences in grain size and number of porosity where the water cooling medium has a smaller grain size compared to 10W40 Oil cooling media, and 20W / 50 Oil and more porosity is found in water cooling media. From the results of the SEM test with 1000x magnification obtained the value of the depth of hardness using a mathematical approach with water cooling medium has the highest depth of 0.037 mm. This is because the water viscosity is lower compared to 10W / 40 Oil cooling media and 20W / 50 Oil so that the water cooling media produces a higher hardness value to Steel AISI 1045.*

*Keywords: AISI 1045 STEEL, Automotive, Component, Flame Hardening, Quenching.*

### ABSTRAK

*Baja AISI 1045 banyak digunakan sebagai komponen otomotif misalnya untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor. Dalam aplikasinya, Baja tipe AISI 1045 harus memiliki kekerasan dan ketahanan untuk dipakai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh media pendingin terhadap kekerasan dan kedalaman kekerasan serta struktur mikro Baja AISI 1045. Materi tersebut diberi perlakuan panas Flame hardening menggunakan gas oxy-acetylene dengan waktu penahanan 1 menit 30 detik dan quenching dengan berbagai macam media pendingin (Air, Oli 10W40, dan Oli 20W/50) dan waktu penahanan 1 jam. Media pendingin Air menghasilkan rerata kekerasan tertinggi 62,78 HRA, dan yang terkecil adalah 52,34 HRA pada media pendingin oli 20W/50. Hasil dari pengujian struktur mikrostruktur menunjukkan perbedaan dalam ukuran butir dan jumlah porositas di mana media pendingin air memiliki ukuran butiran yang lebih kecil dibandingkan dengan media pendingin Oli 10W40, dan Oli 20W / 50 dan lebih banyak porositas ditemukan dalam media pendingin air. Dari hasil uji SEM dengan perbesaran 1000x diperoleh nilai kedalaman kekerasan menggunakan pendekatan matematika dengan media pendingin air memiliki kedalaman tertinggi 0,037 mm. Ini karena viskositas air lebih rendah dibandingkan dengan media pendingin Oli 10W/40 dan Oli 20W/50 sehingga media pendingin air menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi untuk Baja AISI.*

*Kata Kunci: Baja AISI 1045, Otomotif, Komponen, Flame Hardening, Quenching*

### PENDAHULUAN

Baja adalah logam paduan, di mana sebagai unsur dasarnya logam besi dan beberapa elemen lainnya, termasuk karbon. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai *grade*-nya (1). Baja secara umum dikelompokkan menjadi dua, yaitu baja karbon dan baja paduan. Baja

karbon terdiri atas besi dan karbon. Karbon merupakan unsur penguat besi yang efektif dan murah oleh karena itu, umumnya sebagian besar baja mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lainnya (2). Baja karbon digolongkan menjadi tiga bagian, yaitu baja karbon rendah, baja karbon menengah, dan baja karbon tinggi. Baja karbon rendah

memiliki kandungan karbon kurang dari 0,30% C, baja karbon rendah digunakan untuk plat strip dan keperluan badan kendaraan. Baja karbon menengah mengandung karbon 0,03% – 0,6% C, biasanya digunakan untuk roda gigi, poros, dan keperluan industri. Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon antara 0.70% - 1.40% C. biasanya digunakan untuk pembuatan pegas, perkakas, mata gergaji, dan bantalan mesin (2). Baja karbon menengah merupakan salah satu jenis baja yang banyak digunakan adalah tipe AISI 1045, yang mana baja karbon ini mempunyai kandungan karbon sekitar 0,43% - 0,50% C (3). Baja spesifikasi ini banyak digunakan sebagai komponen automotif misalnya untuk komponen roda gigi pada kendaraan bermotor. Dalam aplikasinya baja tipe AISI 1045 harus mempunyai sifat tahan aus yang baik. Ketahanan aus didefinisikan sebagai ketahanan terhadap abrasi atau ketahanan terhadap pengurangan dimensi akibat suatu gesekan (4).

Untuk mendapatkan ketahanan dan kekerasan terhadap aus maka bahan tersebut dilakukan perlakuan panas. Perlakuan panas (*heat treatment*) adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat mekaniknya (5).

Proses perlakuan panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dengan pemanasan sampai ke temperatur tertentu, lalu diikuti dengan penahanan selama beberapa saat, baru kemudian dilakukan pendinginan dengan kecepatan tertentu (6). Salah satu

proses perlakuan panas adalah *hardening*. *Hardening* ialah perlakuan panas terhadap baja dengan sasaran meningkatkan kekerasan alami baja. Perlakuan panas menuntut pemanasan benda kerja menuju suhu pengerasan dan pendinginan secara cepat dengan kecepatan pendinginan kritis (7). Faktor penting yang dapat mempengaruhi proses *hardening* terhadap kekerasan baja, yaitu oksidasi oksigen udara. Selain berpengaruh terhadap besi, oksigen udara berpengaruh terhadap karbon yang terikat sebagai sementit atau yang larut dalam austenit (8,9).

*Surface hardening* atau pengerasan permukaan merupakan salah satu proses *hardening* dengan mengeraskan permukaan dari material yang digunakan untuk meningkatkan ketahanan aus dan ketangguhan dari material tersebut (10). Metode yang dapat digunakan untuk pengerasan permukaan salah satunya adalah metode flame hardening. Metode flame hardening merupakan metode pengerasan permukaan yang dilakukan dengan cara memanaskan permukaan komponen baja secara cepat menggunakan nyala api langsung yang dihasilkan dari gas *oxy-acetylen*. Kemudian dilanjutkan dengan proses *quenching* di atas temperatur titik kritis (*critical point*) untuk membentuk fasa austenite. Selanjutnya struktur austenite dirubah menjadi martensit dengan cara di *quenching* secara cepat dengan menggunakan media *quenching* yang ditentukan sehingga bahan tersebut memiliki sifat keras (11–13).

Berdasarkan uraian di atas maka perlu adanya penelitian untuk membuktikan bahwa pengerasan baja AISI 1045 dapat dilakukan melalui proses pemanasan memakai nyala api (*flame hardening*) dengan waktu penahan 1 menit 30 detik, selanjutnya dilakukan quenching dimana hal ini digunakan untuk mengetahui kekerasan, kedalaman kekerasan, dan struktur mikro pada benda kerja dengan variable media pendinginan.

## METODE

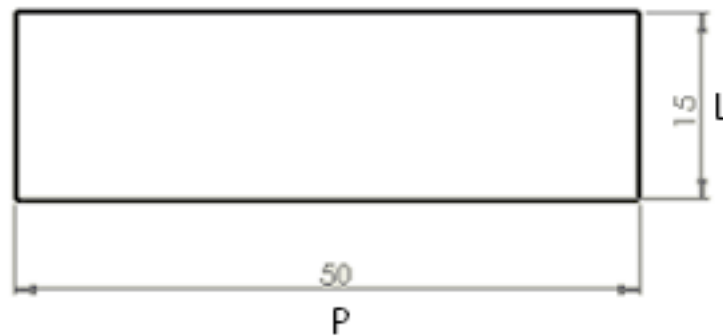
Pada Penelitian ini terdapat tiga variabel media pendingin yaitu Air, Oli 10W40, dan

Oli 20W/50 dan satu variabel tanpa perlakuan panas.

## Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan dan Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Sebelum pengujian dilakukan, persiapan pembuatan *specimen* beserta preparasinya dilakukan terlebih dahulu. Baja AISI 1045 yang masih berbentuk pelat dipotong menjadi 4 buah dengan dimensi panjang 5 cm, lebar 1,5 cm, dan tebal 1,5 cm menggunakan mesin *cutting*. dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1: Dimensi Spesimen



Gambar 2: Spesimen Uji Baja AISI 1045

2. Air, Oli SAE 10w/40, dan Oli SAE 10w/40



Gambar 3: 3 Media Pendingin *Quenching* Oli SAE 10w/40, Oli SAE 20w/50, dan Air

### Proses *Flame Hardening*

Dalam proses ini Baja AISI 1045 yang sudah dipotong dengan dimensi (50 × 15 × 15 mm) diletakan di alas berupa bata tahan api dan langsung di *hardening* menggunakan nyala api karburasi di permukaan *specimen* dengan metode *progressive flame hardening* di mana

nyala api digerakan di atas permukaan *specimen* dengan waktu 1 menit 30 detik dihitung dari api mulai menyentuh permukaan *specimen* uji. Pengujian ini menggunakan 3 *specimen* material baja AISI 1045. Proses *flame hardening* dapat dilihat pada Gambar 5



Gambar 4: Proses *Flame Hardening*

### Proses *Quenching*

Setelah *specimen* baja AISI 1045 dipanaskan dan mencapai suhu austenisasi, baja langsung didinginkan menggunakan media pendingin air, oli SAE 10W/40, dan oli SAE 20W/50,

dengan waktu pendinginan yaitu 1 jam bertujuan untuk mendapatkan perubahan struktur pada baja AISI 1045 dari fasa austenite menjadi fasa martensit.

### Pengujian Kekerasan *Rockwell*

Setelah *specimen* baja AISI 1045 dilakukan perlakuan panas (*flame hardening* serta *quenching*) selanjutnya *specimen* dilakukan pengujian kekerasan. Pengujian kekerasan merupakan pengujian untuk mengetahui nilai kekerasan yang terdapat pada material. *Specimen* yang diujikan sebanyak 4 buah *specimen* uji. 3 *spesimen* dengan perlakuan panas dan 1 *spesimen* tanpa perlakuan panas.

Sebelum dilakukan uji kekerasan *rockwell* benda kerja di amplas menggunakan kertas amplas yang bertujuan untuk membersihkan dan meratakan permukaan *specimen* untuk memudahkan pengambilan data pada saat pengujian kekerasan.

Setelah proses pengamplasan, langkah pertama pengujian kekerasan adalah memasang indenter terlebih dahulu sesuai dengan jenis pengujian yang diperlukan, pada pengujian kali ini indenter yang digunakan adalah kerucut intan 120°. Setelah indenter terpasang, lalu letakkan spesimen yang akan diuji kekerasannya di anvil (Dudukan) dan menyetel beban yang digunakan untuk proses penekanan, beban yang diberikan adalah 150 Kgf karena baja yang digunakan adalah ferro. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan beban yang sama pada lima titik yang berbeda dengan skala HRA dan akan dihasilkan lima nilai yang berbeda-beda agar didapatkan hasil yang maksimal.

### **Pengujian Metallography**

Pengujian metalografi bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dan kedalaman kekerasan pada *specimen* setelah dilakukan

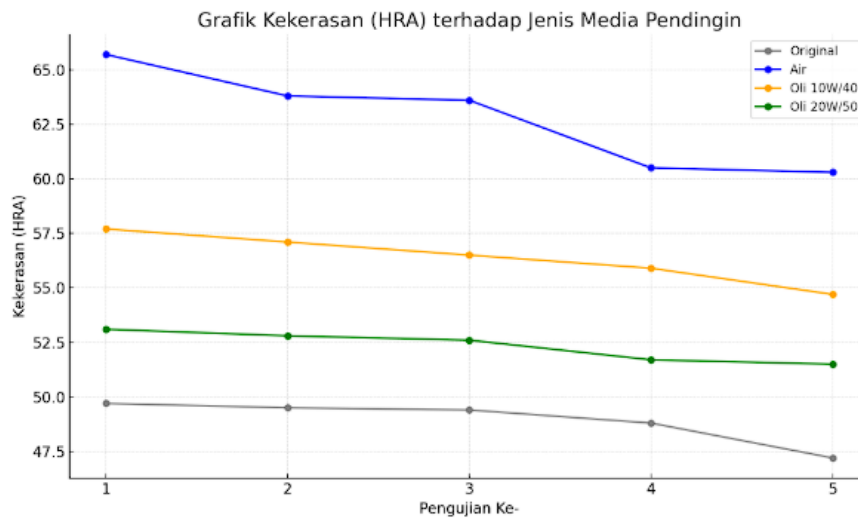
perlakuan panas. Alat dan bahan yang akan digunakan pada pengujian ini seperti mesin uji metalografi, amplas, autosol, pipa pvc, alcohol, kompresor, resin, larutan etsa nital (HNO<sub>3</sub>), dan kain bludru. Terdapat beberapa langkah penting dalam pengujian metalografi, diantaranya pemotongan, penyalutan (*mounting*), pengamplasan, pemolesan, dan pengetsaan.

### **Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM-EDX)**

Pengujian SEM dilakukan dengan instrument Scanning Electron Microscopy tipe JEOL JSM-6390A yang dilengkapi dengan EDX. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui bentuk struktur mikro pada permukaan *specimen* tanpa perlakuan panas dan sesudah perlakuan panas. Pengujian ini dilakukan pada *specimen* yang sudah di mounting dan di etsa pada pengujian mikroskop optik.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pengujian kekerasan *rockwell*, dapat dilihat pada Tabel 1. Tabel tersebut merupakan hasil pengujian dari 4 jenis *spesimen*, yaitu 1 *spesimen* tanpa perlakuan panas (Original) dan 3 *specimen* yang telah melalui proses perlakuan panas *flame hardening* dengan media pendingin yang berbeda yaitu Air, oli 10W/40, dan Oli 20W/50. Pengujian kekerasan *rockwell* dilakukan sebanyak lima kali titik penekanan secara garis lurus dari ujung *specimen* yang terkena nyala api langsung dengan jarak masing-masing titik 0.5 cm.

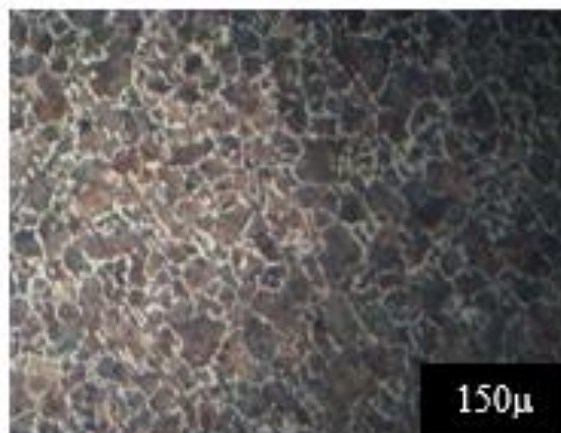


Gambar 5: Grafik Hasil Pengujian Kekerasan *Rockwell*

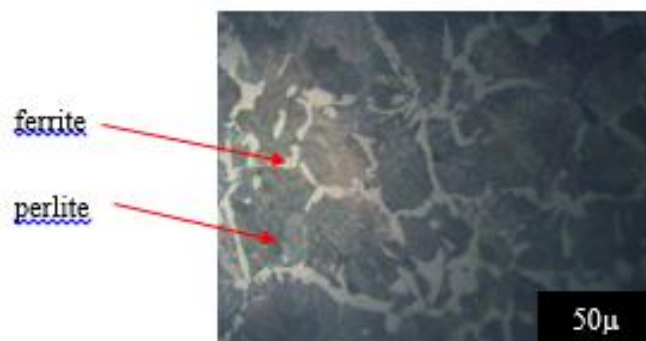
### Hasil Uji Metalografi dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Pada Pengujian metalografi dilakukan pembesaran 100x untuk skala kecil dan pembesaran 400x untuk skala besar. Analisa uji metalografi dilakukan dengan cara

membandingkan hasil gambar yang diperoleh dari tiap *specimen* dan menghitung panjang kedalaman kekerasan pada *specimen* yang melalui proses perlakuan panas dengan media pendingin yang berbeda.



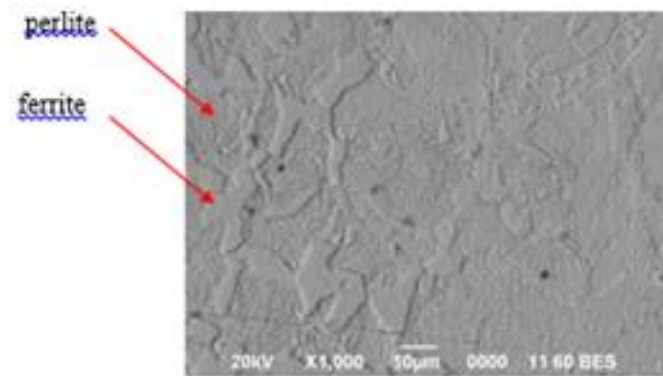
Gambar 6: Spesimen 1, Pembesaran 100x



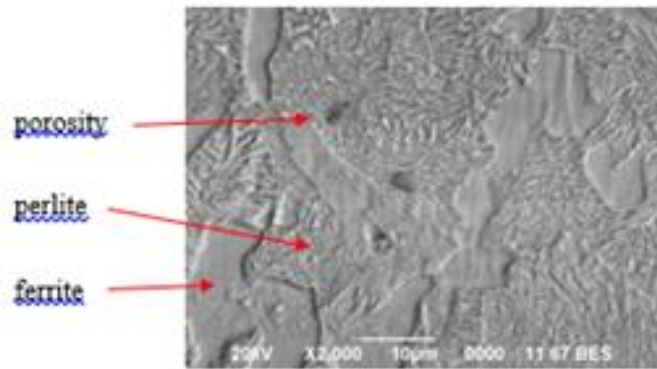
Gambar 7: *Spesimen 1*, Pembesaran 400x

Pada hasil Pengujian SEM untuk *specimen* tanpa perlakuan dilakukan dengan

pembesaran 1000x (Gambar 8) dan pembesaran 2000x (Gambar 9)

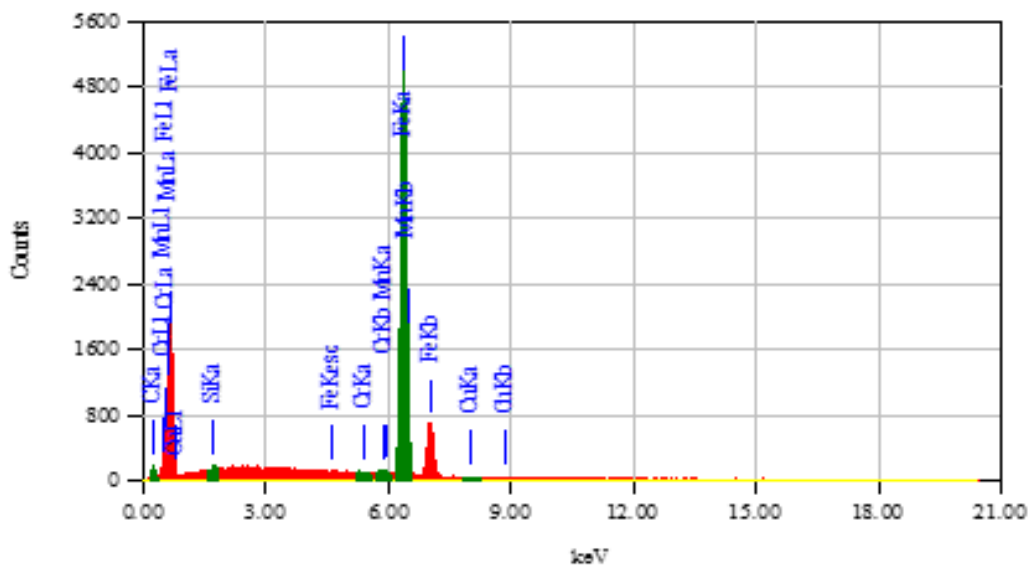


Gambar 8: *Specimen 1*, Pembesaran 1000x

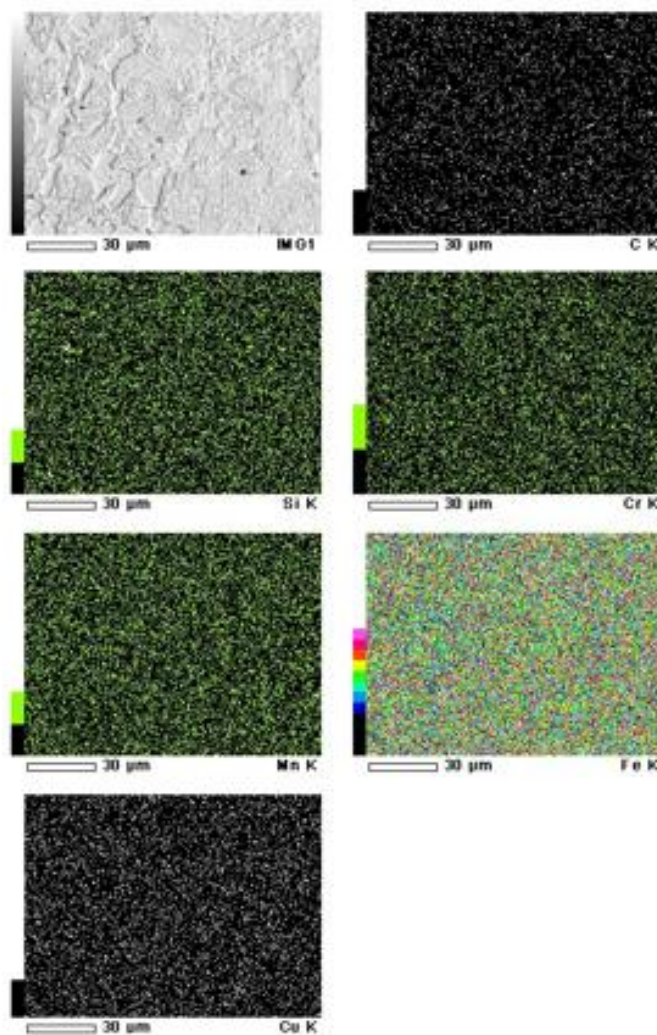


Gambar 9: *Specimen 1*, Pembesaran 2000x

Hasil Uji mapping SEM-EDX pada *Specimen* tanpa perlakuan panas dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10: Hasil Uji SEM-EDX *Specimen 1*, Tanpa Perlakuan Panas



Gambar 11: Hasil Uji Mapping SEM-EDX pada *Specimen* tanpa Perlakuan Panas

## Pembahasan

### Pengujian kekerasan *rockwell*

Dari Hasil pengujian kekerasan Rockwell pada Tabel 1 terlihat peningkatan nilai kekerasan pada *specimen* yang telah melalui proses *flame hardening* dengan media pendingin yang berbeda. Di mana pada *specimen* tanpa perlakuan panas nilai rata-rata kekerasannya sebesar 48.92 HRA. Di antara 3 *specimen* dengan media pendingin air lah yang mempunyai nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu 62.78 HRA. Hal ini disebabkan karena viskositas dari air yang lebih rendah dibandingkan dengan oli tipe 10W/40 dan oli

tipe 20W/50 membuat laju pendinginan lebih cepat(14), dan *specimen* dengan media pendingin oli tipe 20W/50 yang memiliki nilai kekerasan paling rendah karena viskositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan media pendingin air dan oli 10W/40, di mana hal ini karena viskositas yang tinggi membuat laju pendingin lebih lambat (14).

### Pengujian Metalografi dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Pada *Specimen* tanpa Perlakuan Panas

Pembahasan pengamatan Struktur Mikro adalah sebagai berikut:

1. *Specimen 1* (tanpa perlakuan panas)

Dari hasil uji metalografi pada *specimen 1* tanpa perlakuan panas terlihat bahwa jelas fasa yang terbentuk adalah perlite yang merupakan kandungan karbon yang terlarut dalam ferrite ( $\text{Fe}_3\text{C} + \alpha$ ) (berwarna gelap atau hitam) dan ferrit yang merupakan fasa dari besi atau besi  $\alpha$  (berwarna terang)(15). Jika dilihat dari hasil uji SEM, perlite pada *specimen* tanpa perlakuan panas memiliki jarak lapisan (*lamellar spacing*) lebih jauh antara perlite dan ferrite. Dengan jarak lapisan yang jauh menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang lebih lunak dibandingkan dengan *specimen* yang diberlakukan perlakuan panas yang di mana memiliki jarak lapisan lebih dekat antara martensite dan ferrite. Jika dilihat dari Hasil Mapping SEM-EDX pada *specimen* tanpa perlakuan panas terlihat jelas persebaran unsur kimia yang menyebar ke seluruh permukaan *specimen* dimana unsur Fe yang mendominasi sebagai unsur utama pada baja AISI 1045 dengan presentase 95.97%, unsur selanjutnya adalah karbon C dengan presentase 3.49% dan yang memiliki presentase terkecil adalah Mn dengan presentase 0.01%.

2. *Specimen 2* (media pendingin Air)

Dari pengamatan untuk melihat struktur mikro pada *specimen 2* yang menggunakan media *quenching Air*. Fasa yang terbentuk adalah martensit dan ferrite. Martensit terbentuk dari austenite stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat(15). Dengan jarak lapisan yang dekat dan ukuran butir yang

kecil menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan *lamellar spacing* yang lebih jauh. Material dengan ukuran butir yang kecil akan memiliki batas butir (*grain boundary*) yang lebih banyak. Batas butir merupakan penghambat gerakan dislokasi. Hal ini disebabkan karena dislokasi harus mengubah arah gerak karena orientasi yang berbeda butir, sehingga dislokasi menjadi sulit bergerak lagi. Dengan terhambatnya gerakan dislokasi tersebut menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang lebih tinggi(16). Dari hasil uji SEM pada *specimen 2* media pendingin air terlihat porositas yang cukup banyak pada batas butir, karena pada dasarnya, batas butir adalah bagian dari butiran yang paling tidak stabil dan memiliki energi yang besar. Korosi batas butir dapat terjadi karena adanya impuritas pada batas butir, terlalu banyaknya satu unsur atau penipisan salah satu elemen pada area batas butir(17,18).

2. *Specimen 3* (media pendingin Oli 10W/40)

Dari pengamatan untuk melihat struktur mikro pada *specimen 3* yang menggunakan media pendingin Oli 10W/40 Fasa yang terbentuk adalah martensit dan ferrite. Di mana ferrite merupakan besi alpha ( $\alpha$ ), ruang antar atomnya kecil dan rapat sehingga hanya sedikit menampung atom karbon(15), dan martensite yg terbentuk dari austenite stabil didinginkan dengan laju pendinginan cepat(15). Dengan jarak lapisan yang lebih jauh, menghasilkan kekuatan dan kekerasan

yang lebih lunak dibandingkan dengan *specimen 2* yang menggunakan media pendingin air.

4. *Specimen 4* (media pendingin Oli 20W/50)

Dari pengamatan untuk melihat struktur mikro pada *specimen 2* yang menggunakan media pendingin Oli 10W/40 Fasa yang terbentuk adalah martensit dan ferrite. Dengan jarak lapisan yang lebih jauh dan ukuran butir yang lebih besar dibandingkan *specimen 2* media pendingin air dan *specimen 3* media pendingin Oli 10W/40 menghasilkan kekuatan dan kekerasan yang lebih lunak jika dibandingkan dengan *lamellar spacing* yang lebih dekat(16).

#### **Pembahasan Hasil Perhitungan Kedalaman Kekerasan**

Dari hasil perhitungan kedalaman kekerasan menggunakan rumus perbandingan matematika dan hasil pengujian SEM didapatkan bahwa kedalaman kekerasan yang paling besar adalah *specimen 2* menggunakan media pendingin air dengan kedalaman 0.037 mm, karena viskositas air yang lebih rendah dibandingkan dengan media pendingin Oli 10W/40 dan media pendingin Oli 20W/50. Kedalaman kekerasan dari media pendingin Oli 10W/40 dan media pendingin Oli 20W/50 mempunyai perbedaan yang cukup kecil yaitu 0.002 mm karena viskositas dari kedua media pendingin tersebut tidak beda jauh. Namun memiliki perbedaan yang cukup tinggi dengan media pendingin air karena viskositas dari Oli

lebih besar sehingga laju pendinginannya lebih lambat (19).

#### **Pembahasan Hasil Presentase Porositas**

Dari hasil presentase dengan menggunakan *software ImageJ* didapatkan presentase porositas pada tiap *specimen* yang menggunakan media pendingin berbeda. *Specimen 2* yang menggunakan media pendingin Air mempunyai tingkat porositas yang paling tinggi yaitu 43.368%. Untuk media pendingin Oli 10W/40 memiliki nilai 26.647% dan media pendingin Oli 20W/50 memiliki nilai paling kecil yaitu 24.827%. keberadaan porositas akan mempengaruhi tingkat kekerasan dari suatu produk begitupun sebaliknya di mana semakin keras *specimen* maka semakin banyak porositasnya(20). Di mana pada *specimen 2* yang menggunakan media pendingin air yang presentase porositasnya paling tinggi memiliki nilai kekerasan paling tinggi dibandingkan dengan *specimen* media pendingin Oli 10W/40 dan *specimen* media pendingin Oli 20W/50.

#### **SIMPULAN**

Penelitian ini menyimpulkan bahwa proses *flame hardening* dengan media pendingin berbeda dan waktu penahan *quenching* 1 jam meningkatkan kekerasan *rockwell specimen* dari rata-rata 48,92 HRA (tanpa perlakuan) menjadi tertinggi pada media air (62,78 HRA) berkat viskositas rendah yang mempercepat pendinginan, sementara oli 20W/50

menghasilkan kekerasan terendah karena viskositas tinggi yang memperlambatnya; analisis struktur mikro via metalografi dan SEM menunjukkan fasa martensit-ferit dengan lamellar spacing serta ukuran butir terkecil pada media air (*Spesimen 2*), meski porositasnya paling tinggi (43,368%), sehingga menghasilkan kekuatan dan kekerasan superior; serta kedalaman kekerasan terbesar (0,037 mm) juga tercapai pada media air akibat laju pendinginan tercepat.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Ashby, M.F.a.J., David R. H. Engineering Materials 2. Vol. 2.
2. Smallman RE. Metalurgie fisik modern. 1991.
3. Glyn e. a. Physical Metallurgy of Steel. Class Notes and lecture material For MSE. 2001;
4. Avner, H. S. Introduction to Physical Metallurgy 2nd edition. 1974.
5. William C. Materials Science and Engineering. 2007.
6. Sudarisman NH d. Pengaruh Perlakuan Panas Baja Aisi 1029 Dengan Metoda Quenching Dan Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanik Dan Makro Struktur. Jurnal Teknik Mesin. 2015;Vol.5, No.
7. Haryadi GD. Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Pada Baja K-460. 2006;
8. Love. HAR dan G. Teori dan Praktek Kerja Logam. Jakarta: Erlangga; 1986.
9. Edi Widodo MH. Optimasi Holding Time untuk mendapatkan kekerasan Baja S 45 C. Rekayasa Energi Manufaktur. 2016;
10. J. Schneider, t.t.c., and Madhu S. Chatterjee B. Introduction to Surface Hardening of Steels. 2013.
11. Amstead, B.H., Otstwald, P.F., Begeman ML. Teknologi Mekanik. Jilid 1 E ketujuh, editor. 1995.
12. Piyarto DS. Pengaruh Proses Quenching dan Tempering pada Material SCMnCr 2 untuk Memenuhi Standar JIS G 5111. Surakarta. 2004;
13. Haryadi GD. Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Pada Baja K-460. 2006;
14. Totten, G., Bates, CE, Clinton N. Handbook of Quenching and Quenching Technology, USA: ASM International. 1993.
15. Surdia, T., & Shinroku S. Pengetahuan Logam Cetakan ke-6. 1999.
16. Handbook A. Mechanical Testing and Evaluation. America: ASM International. Volume 8. 2000.
17. Wiyoko J. Studi Korosi Batas Butir Inconel 625 Weld Overlay Clading Pada Pipa Api 51 X52 Dengan Media Larutan Ferrit (Iii) Sulfat 75% + Asam Sulfat 98%. 2014;
18. Ridluwan M. Pengaruh Temperatur Pencelupan terhadap Kekerasan, Laju Korosi dan Struktur Mikro pada Baja Karbon Rendah dengan Pelapisan Metode Hot DipGalvanizing. (Dissertation), Universitas Negeri Semarang. 2007;
19. Aksten, F.W. dkk. ASM Metal Handbook. Volume 01. 1990.
20. Arianata A. Pengaruh Variasi Media Pendinginan (Air Sumur,Udara Dan Oli Sae40) Terhadap Hasil Pengecoran Aluminium (Al) Menggunakan Cetakan Pas R Co2. 2017;