

## PENGARUH SUHU TEMPER TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN, DAN KETAHANAN AUS BAJA KARBON HQ 709

Surahman, Budi Harjanto, & Suharno

Prodi. Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Pendidikan Teknik dan Kejuruan, FKIP, UNS  
Kampus UNS Pabelan, Jl. Ahmad Yani 200, Surakarta, Tlp/Fax 0271 718419  
email : surahman\_k2510062@yahoo.com

### ABSTRACT

*The use of carbon steel HQ 709 as gears, crank shaft, shaft, and engine components in addition to requiring hardness properties also require wear resistance and toughness properties. To get the properties of carbon steel with a combination of hardness, plasticity, ductility, strength, wear resistance, and stable crystalline structure necessary tempering process. Tempering is an attempt to reduce the residual stress of materials with a decrease hardness material. The purpose of the study were : to investigate how the effect of tempering temperature variations to changes in the carbon steel microstructure HQ 709, to investigate the effect of tempering temperature variation to changes in carbon steel hardness HQ 709, to investigate the effect of tempering temperature variation to changes in wear resistance of carbon steel HQ 709, to investigate the interaction between changes in the microstructure, hardness and wear resistance due to the tempering temperature variations. Research using experimental methods and techniques of data analysis using descriptive analysis is to directly observe and then experimental results and determine the results of the study concluded. Based on the results of the study concluded that: there is the effect of tempered temperature variations on the microstructure of steel HQ 709, there is the effect of tempered temperature variation of the hardness levels steel HQ 709. Based on the results of hardness testing, heat treatment specimens obtained average level of the highest hardness at 870 ° C quenched specimens with holding time is 30 minutes for 560.97 VHN and the lowest average hardness of the specimen tempering 650 ° C with a holding time of 30 min 287.4 VHN, there is the effect of tempered temperature variations on the wear resistance of steel HQ 709. Based on the results of testing the wear resistance, heat treatment specimens obtained an average rate of wear of the highest numbers of specimens tempered at 650 ° C with a holding time 30 min at  $0.873 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{Kg}$  and the average wear rate lowest in quenching the specimen 870 ° C with a holding time of 30 minutes  $0.3 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{Kg}$ , there is an interaction between changes in the microstructure, hardness, and wear resistance of steel 709 HQ. Such changes have a certain pattern of interaction or relationship.*

**Keywords:** heat treatment, tempering temperature, steel HQ 709

### A. PENDAHULUAN

Baja karbon adalah bahan logam yang banyak digunakan dalam dunia industri. Baja memiliki sifat kuat dan dapat dibentuk baik dengan mesin maupun konvensional, sehingga digemari oleh kalangan industri untuk

membuat berbagai macam peralatan. Dari survey didapati bahwa jumlah konsumsi baja suatu negara merupakan indikator tingkat kemajuan dan kesejahteraan negara tersebut.

Menurut data dari Kementerian Perdagangan Indonesia tahun 2012

yang dikutip oleh Republika.co.id pada 20 Oktober 2012, Indonesia sebagai negara berkembang yang saat ini menuju pada negara industri baru mengkonsumsi baja sekitar 48 Kg perkapita per tahun yang ditargetkan akan naik pada tahun 2013 dan 2014 menjadi 500 Kg perkapita per tahun. Dengan target konsumsi 500 Kg perkapita per tahun setidaknya Indonesia membutuhkan 120 juta ton baja per tahun. Untuk itu para pakar terus melakukan penelitian dan pengamatan untuk mendapatkan sifat-sifat baja yang paling menguntungkan.

Sifat bahan yang dimaksud adalah sifat fisis dan sifat mekanis. Sifat fisis mencakup kondisi fisik, komposisi kimia, dan struktur mikro. Sedangkan sifat mekanis mencakup kekuatan tarik, modulus elastisitas, kemampuan muai, kekuatan tekan, kekuatan torsi, kekerasan, keuletan, kegetasan, kehandalan, dan ketahanan aus.

Baja sendiri dapat didefinisikan sebagai suatu campuran antara besi (Fe) dan karbon (C), dimana unsur C menjadi dasar pencampurannya dengan kandungan 0.1-1.7%. Selain itu, baja karbon juga mengandung unsur bawaan lainnya seperti sulfur (S), fosfor (P), silicon (Si), dan mangan (Mn) yang persentasenya dikontrol (Hari Amanto dan Daryanto, 1999:22).

Berdasarkan jumlah kandungan karbonnya, baja karbon terdiri atas tiga macam, yaitu baja karbon rendah dengan kandungan karbon kurang dari 0.3%, baja karbon sedang dengan kandungan karbon 0.3-0.6%, dan baja karbon tinggi dengan kandungan karbon 0.6-1.5% (Hari Amanto & Daryanto, 1999:22).

Baja karbon sedang HQ 709 digunakan untuk sejumlah peralatan mesin seperti roda gigi otomotif, poros bubungan, poros engkol, sekrup sungkup, dan alat angkat presisi.

Penggunaan baja karbon sedang HQ 709 sebagai suku cadang, alat dan komponen mesin lambat laun akan mengalami keretakan, distorsi, luka gesekan, dan keausan. Hal tersebut diakibatkan oleh komponen mesin atau alat mengalami perlakuan berat akibat adanya gesekan, puntiran, dan tekanan tinggi.

Perbaikan struktur mikro dan peningkatan sifat mekanis material baja karbon sedang dengan jalan perlakuan panas (*Heat Treatment*) merupakan solusi tepat untuk menghasilkan produk baja karbon sedang yang memiliki kemampuan menerima perlakuan berat lebih baik sehingga meningkatkan usia pakai komponen atau peralatan mesin lainnya.

Perlakuan panas sebagai usaha perbaikan struktur mikro untuk meningkatkan sifat mekanik material dapat dilakukan dengan berbagai cara diantaranya, dengan variasi temperatur pemanasan awal (*preheating*), waktu tahan (*holding time*), temperatur austenit, laju pendinginan, dan proses tempering.

Baja karbon yang telah mengalami *hardening* bersifat keras akan tetapi rapuh, sehingga tidak cocok untuk beberapa penggunaan. Sifat rapuh pada baja tersebut disebabkan oleh terbentuknya martensit yang berlebihan yang mengakibatkan struktur kristal atom menjadi tidak stabil (Nyenjep Sriwardani, 2009: 68).

Penggunaan baja karbon HQ 709 sebagai roda gigi, poros engkol, poros, dan komponen mesin selain membutuhkan sifat keras juga membutuhkan sifat ketahanan aus dan keuletan. Untuk mendapatkan baja karbon dengan sifat kombinasi antara kekerasan, keliatan, keuletan, kekuatan, ketahanan aus, dan berstruktur kristal stabil perlu dilakukan proses *tempering*.

*Tempering* adalah proses lanjutan dari *hardening* dengan cara memanaskan kembali baja karbon yang telah di *quenching*, pada temperatur antara 550 - 675 °C dengan *holding time* 2.5 x *thickness in mm* (satuan menit), akan tetapi *holding time* minimal ialah 30 menit (TA STEEL HQ 709, 2013:2). Media pendingin pada proses *tempering* ialah udara bebas.

Penelitian dijalankan dan mengarah pada tujuan yang hendak dicapai, adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

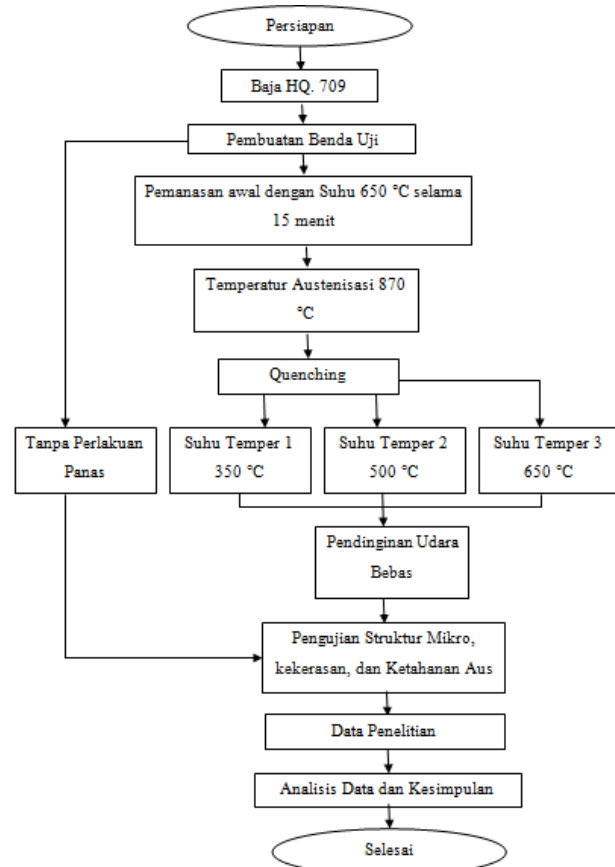
1. Menyelidiki pengaruh variasi suhu temper terhadap perubahan struktur mikro baja karbon HQ 709.
2. Menyelidiki pengaruh variasi suhu temper terhadap perubahan kekerasan baja karbon HQ 709.
3. Menyelidiki pengaruh variasi suhu temper terhadap perubahan ketahanan aus baja karbon HQ 709.
4. Menyelidiki interaksi antara perubahan struktur mikro, kekerasan, dan ketahanan aus yang disebabkan oleh variasi suhu temper.

## B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan menggunakan analisis deskriptif yaitu mengamati secara langsung hasil eksperimen kemudian menyimpulkan dan menentukan hasil penelitian. Data yang diperoleh dari hasil eksperimen berupa struktur mikro, nilai kekerasan, dan ketahanan aus baja HQ 709. Untuk mengetahui struktur mikro dari baja HQ 709 digunakan alat ukur struktur mikro (metalografi). Untuk mengetahui besar angka kekerasan digunakan alat uji kekerasan *Vickers*. Untuk mengetahui besar angka keausan dari baja HQ 709 digunakan pengujian keausan *Ogoshi*,

dimana benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disc*). Besarnya bekas gesekan cincin itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Data yang diperoleh dimasukkan ke dalam tabel untuk dianalisis dan ditarik kesimpulannya.

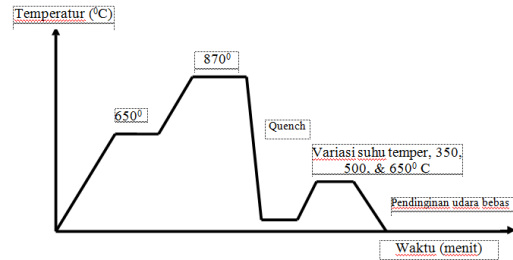
## Bagan Alur Proses Eksperimen



Gambar 1. Bagan Alur Proses Eksperimen

Bahan penelitian yang digunakan di dalam penelitian adalah baja karbon sedang HQ 709 yang dibuat spesimen 11 buah berbentuk pipih dengan ukuran 30 X 30 tebal 5 mm. Adapun pengelompokannya ialah: spesimen *raw material* 1 buah, spesimen *quenching* 1 buah, spesimen temper 350 °C 3 buah, spesimen temper 500 °C 3 buah, dan spesimen temper 650 °C 3 buah. Seluruh spesimen perlakuan panas mendapatkan

perlakuan *pre-heating*, *holding time*, dan pendinginan. Adapun siklus tempering yang dilakukan ditunjukkan pada skema sebagai berikut:



Gambar 2. Siklus Tempering dengan *Pre-Heating* (Sumber: Edih Supardi, 1999: 124)

### C. HASIL DAN PEMBAHASAN

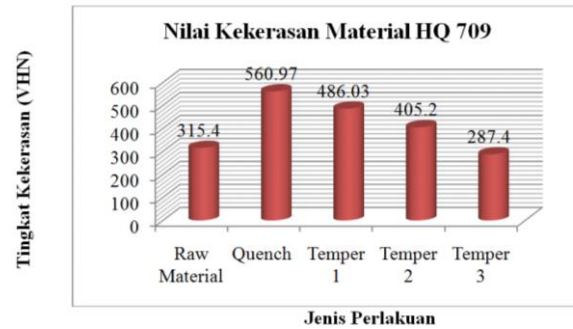
Dalam penelitian ini telah dilakukan pengujian terhadap spesimen baja HQ 709 dengan tujuan untuk mengetahui struktur mikro, kekerasan dan ketahanan aus sebelum maupun sesudah dilakukan perlakuan panas tempering. Data-data yang disajikan dalam penelitian ini merupakan data-data yang telah dideskripsikan dan data awal yang akan disajikan dalam penelitian ini ialah data komposisi kimia baja HQ 709. Data ini menunjukkan kandungan unsur kimia yang terdapat pada baja HQ 709.

Tabel 1. Data Komposisi Kimia Baja HQ 709

Unsur	Prosentase (%)
C	0.45 %
Cr	1.20 %
Mo	0.30 %

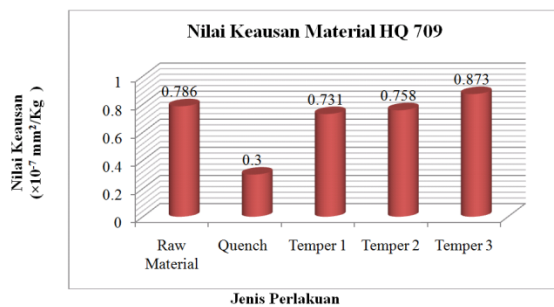
Data struktur mikro diperoleh dari uji metalografi, data nilai kekerasan diperoleh dari uji kekerasan *Vickers*, sedangkan data nilai ketahanan aus

diperoleh dari uji ketahanan aus tipe *Ogoshi*.



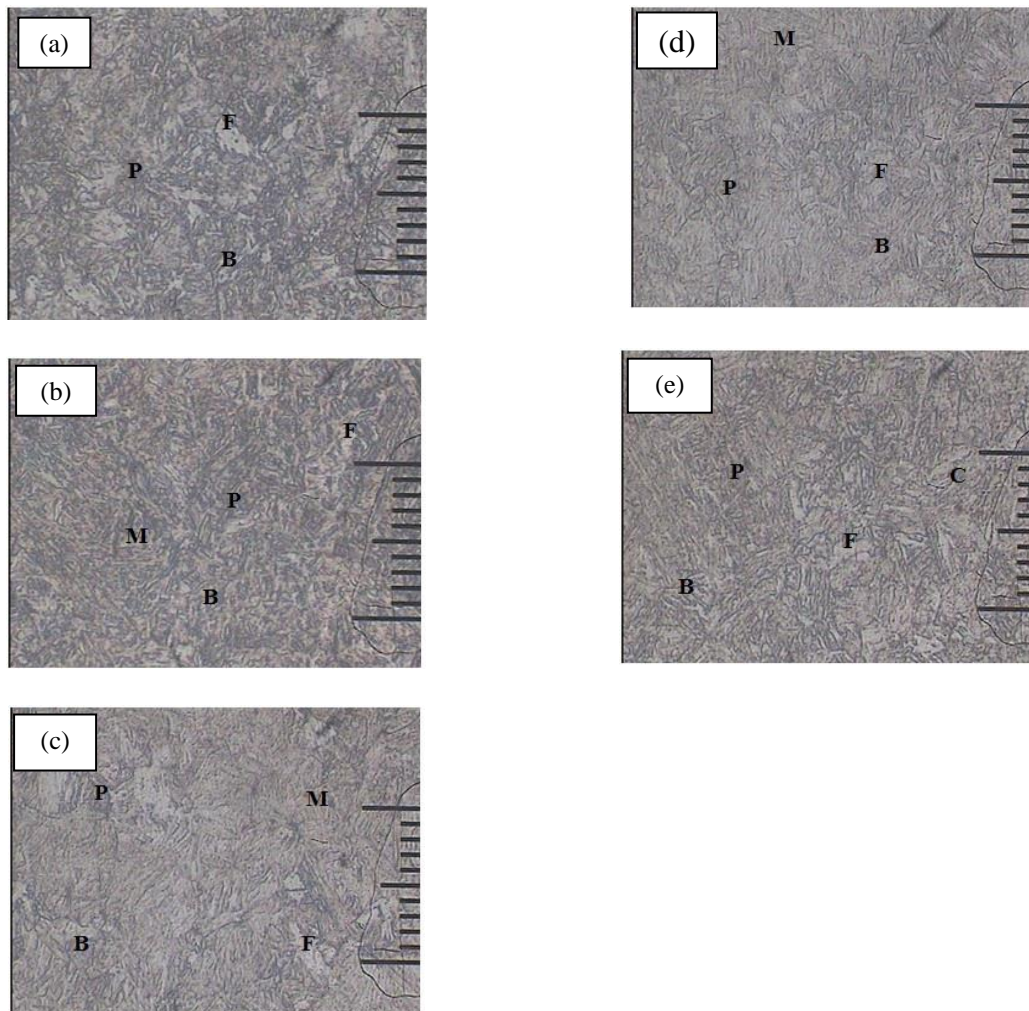
Gambar 3. Histogram Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Tingkat Kekerasan Baja HQ 709

Pada spesimen kelompok *quenching* 870 °C dengan waktu tahan 30 menit memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 560.97 VHN atau meningkat 77.86 % terhadap *raw material*. Nilai kekerasan rata-rata pada spesimen tempering pada suhu 350 °C dengan waktu tahan 30 menit ialah 486.03 VHN meningkat 54.1 % terhadap *raw material*, serta menurun 15.42 % terhadap spesimen kelompok *quenching* 870 °C. Nilai kekerasan rata-rata pada spesimen tempering pada suhu 500 °C dengan waktu tahan 30 menit ialah 405.2 VHN meningkat 28.47 % terhadap *raw material*, menurun 38.44 % terhadap spesimen kelompok *quenching* 870 °C, serta menurun 19.95 % terhadap spesimen kelompok tempering pada suhu 350 °C. Nilai kekerasan rata-rata pada spesimen tempering pada suhu 650 °C dengan waktu tahan 30 menit ialah 287.4 VHN menurun 9.74 % terhadap *raw material*, menurun 95.19 % terhadap spesimen kelompok *quenching* 870 °C, menurun 69.11 % terhadap spesimen kelompok tempering pada suhu 350 °C, serta menurun 40.99 % terhadap spesimen kelompok tempering pada suhu 500 °C.



Gambar 4. Histogram Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Tingkat Keausan Baja HQ 709

Manfaat dari pengamatan struktur mikro adalah untuk mempelajari hubungan antara sifat-sifat bahan dengan struktur dan cacat pada bahan serta memperkirakan sifat bahan jika hubungan tersebut sudah diketahui. Berikut gambar struktur mikro baja HQ 709:



Gambar 5. Foto Struktur Mikro Spesimen: (a) *Raw Material*; (b) *Quenching*; (c) *Tempering 350 °C*; (d) *Tempering 500 °C*; (e) *Tempering 650 °C*

*Raw material* adalah material uji yang tidak mengalami perlakuan apapun sehingga didapat data awal

spesimen uji yang digunakan sebagai pembandingan dengan spesimen yang mengalami atau dikenakan perlakuan.

Berdasarkan hasil pengamatan gambar 5.a menunjukkan bahwa *raw material* memiliki struktur mikro yang terdiri dari ferrite, pearlite kasar, dan bainite. Struktur yang tampak pada *raw material* gambar 5 sesuai dengan kadar karbon yang terkandung baja HQ 709 yaitu 0.45 % C yang sebelumnya telah mendapatkan perlakuan *prehardened* dalam proses produksi awal material. Bentuk kristal yang besar dan hampir berimbang mengindikasikan kekerasan *raw material* liat dan lunak tetapi lebih keras dari baja karbon rendah. Hal ini dapat dilihat pada pengujian kekerasan dengan hasil tingkat kekerasan rata-rata 315.4 VHN sesuai dengan spesifikasi baja HQ 709 pada lampiran yang memiliki kekerasan *Brinell* antara 270-330 BHN (*Brinell Hardness Number*). Berdasarkan pengujian ketahanan aus baja HQ 709 yang memiliki struktur mikro yang terdiri dari ferrite, pearlite kasar, dan bainite ialah  $0.786 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{Kg}$ .

Terbentuknya struktur martensite yang lebih dominan dari ketiga struktur yang ada membuat spesimen kelompok *quenching* 870 °C (gambar 5.b) dengan *holding time* 30 menit memiliki tingkat kekerasan yang tinggi atau maksimum. Hal ini dapat dilihat berdasarkan hasil pengukuran tingkat kekerasan *Vickers* sebesar 560.97 VHN, meningkat 77.86 % terhadap tingkat kekerasan *raw material*. Pada spesimen ini dapat dikatakan tingkat kekerasan mencapai titik maksimum akan tetapi masih meninggalkan tegangan dalam akibat proses *quenching*.

Berdasarkan hasil pengujian ketahanan aus gambar 4 diketahui spesimen ini memiliki angka keausan  $0.3 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{Kg}$ , menurun 162 % terhadap angka keausan *raw material*. Angka ini merupakan nilai keausan terkecil dari seluruh kelompok

spesimen yang ada. Hal ini berarti spesimen *quenching* 870 °C merupakan spesimen yang paling tahan aus diantara seluruh spesimen yang diteliti. Jadi terdapat hubungan antara tingkat kekerasan dengan angka keausan material. Semakin tinggi tingkat kekerasan material maka angka keausannya semakin kecil (semakin tahan aus), namun material ini masih memiliki tegangan dalam yang bersifat getas.

Terbentuknya struktur martensite pada spesimen tempering 350 °C (gambar 5.c) yang lebih halus mengindikasikan turunnya tingkat kekerasan material, berkurangnya tegangan dalam, dan meningkatnya keuletan material. Hal ini dapat dilihat berdasarkan hasil pengukuran tingkat kekerasan *Vickers* sebesar 486.03 VHN, meningkat 54.1 % terhadap tingkat kekerasan *raw material*, serta menurun 15.42 % terhadap spesimen kelompok *quenching* 870 °C. Pada spesimen ini dapat dikatakan tingkat kekerasan memang menurun dibandingkan dengan spesimen *quenching* 870 °C, akan tetapi tegangan dalam pada material telah berkurang dan material masih memiliki tingkat kekerasan yang tinggi.

Berdasarkan hasil pengujian ketahanan aus gambar 4 diketahui spesimen ini memiliki angka keausan  $0.731 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{Kg}$ , menurun 7.52 % terhadap angka keausan *raw material*, serta meningkat 143.67 % terhadap angka keausan spesimen *quenching* 870 °C. Angka ini merupakan nilai keausan terkecil kedua setelah spesimen *quenching* 870 °C. Angka keausan yang kecil mengartikan bahwa spesimen ini masih memiliki ketahanan aus yang tinggi, dengan keuletan yang bertambah akibat proses tempering yang diberikan.

Perubahan bentuk struktur martensite temper menjadi *spheroidal shape* pada spesimen tempering 500 °C

(gambar 5.d) mengindikasikan turunnya tingkat kekerasan material, berkurangnya tegangan dalam, dan meningkatnya keuletan material. Hal ini dapat dilihat berdasarkan hasil pengukuran tingkat kekerasan *Vickers* sebesar 405.2 VHN, meningkat 28.47 % terhadap *raw material*, menurun 38.44 % terhadap spesimen kelompok *quenching* 870 °C, serta menurun 19.95 % terhadap spesimen kelompok tempering 350 °C.

Berdasarkan hasil pengujian ketahanan aus gambar 4 diketahui spesimen ini memiliki angka keausan  $0.758 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{Kg}$ .

Struktur carbides yang terdapat pada spesimen tempering 650 °C (gambar 5.e) terlihat berbentuk *spheroidal shape*, hal ini disebabkan oleh dinaikkannya suhu tempering yang diberikan menjadi 650 °C dan pendinginan dengan udara bebas secara perlahan. Perubahan bentuk struktur martensite temper menjadi carbides mengindikasikan turunnya tingkat kekerasan material, berkurangnya tegangan dalam, dan meningkatnya keuletan material. Hal ini dapat dilihat berdasarkan hasil pengukuran tingkat kekerasan *Vickers* sebesar 287.4 VHN. Pada spesimen ini dapat dikatakan memiliki tingkat kekerasan terendah dibandingkan dengan seluruh spesimen yang ada, akan tetapi spesimen ini memiliki tingkat keuletan tertinggi diantara seluruh spesimen yang diteliti.

Berdasarkan hasil pengujian ketahanan aus gambar 4 diketahui spesimen ini memiliki angka keausan  $0.873 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{Kg}$ . Angka keausan yang meningkat bila dibandingkan dengan seluruh spesimen yang diteliti mengartikan bahwa ketahanan aus yang dimiliki spesimen tempering 650 °C menurun dibandingkan dengan seluruh spesimen yang diteliti. Spesimen tempering 650 °C dikatakan sebagai

spesimen yang memiliki ketahanan aus paling rendah, akan tetapi keuletan yang dimiliki spesimen tempering 650 °C paling tinggi diantara seluruh spesimen yang diteliti.

#### D. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data dengan mengacu pada perumusan masalah, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Ada pengaruh variasi suhu temper terhadap struktur mikro baja HQ 709 mulai dari keadaan *quenching* 870 °C, tempering 350 °C, tempering 500 °C, dan tempering 650 °C.
2. Ada pengaruh variasi suhu temper terhadap tingkat kekerasan baja HQ 709 mulai dari keadaan *quenching* 870 °C, tempering 350 °C, tempering 500 °C, dan tempering 650 °C.
3. Ada pengaruh variasi suhu temper terhadap ketahanan aus baja HQ 709 mulai dari keadaan *quenching* 870 °C, tempering 350 °C, tempering 500 °C, dan tempering 650 °C.
4. Ada interaksi antara perubahan struktur mikro, tingkat kekerasan, dan ketahanan aus baja HQ 709.

#### E. DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, H. & Daryanto. (1999). *Ilmu Bahan*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Amstead, B. H., Ostwald, P. F. & Begeman, M. L. (1997). *Teknologi Mekanik*. Alih bahasa: Sriati Djaprie. Edisi ke-8. Jakarta: Erlangga.
- Andrianto. (2007). *Pengaruh Variasi Temperatur Tempering dan Waktu Tahan Tempering pada Proses Perlakuan Panas Terhadap Nilai Impak Baja EMS-45*. Skripsi Tidak Dipublikasikan, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Bangsawan, I.G. (2012). *Pengaruh Variasi Temperatur dan Holding*

- Time Dengan Media Quenching Oli Mesran SAE 40 Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Baja ASSAB 760*. Skripsi Tidak Dipublikasikan, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sebelas Maret. (2012). *Pedoman Penulisan Skripsi*. Surakarta: UNS Press.
- Haryadi, G. D. (2006). *Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik, dan Struktur Mikro pada Baja K-460*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Rotasi, UNDIP, Volume 8 no.2 April 2006.
- LI Hong-ying, HU Ji-dong, LI Jun, CHEN Guang, & SUN Xiong-jie. (2013). Effect of tempering temperature on microstructure and mechanical properties of AISI 6150 steel. *The Journal of Central South University*, 20, 4.
- Narang, B. S. (1982). *Material Science*. Delhi: CBS Publisher and Distributors.
- Polman Ceper. (2014). *Mikroskop Metallografi*. Klaten: Polman Ceper.
- PT Tira Andalan Steel. (2013). *HQ 709*. Jakarta: PT Tira Andalan Steel.
- Rachman, T. (2012). Jadi Negara Industri, Konsumsi Baja Perkapita Minimal 500 Kg. *Republika Online*. Diperoleh 20 Januari 2014, dari <http://www.republika.co.id>.
- Schonmetz, A. & Gruber, K. (1997). *Pengetahuan Bahan Dalam Pengerjaan Logam*. Bandung: Angkasa.
- Smallman, R. E. & Bishop, R. J (2000). *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.
- Sriwardani, N. (2009). *Heat Treatment Process*. Surakarta: UNS Press.
- Sugiyono, (2010). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Supardi, E. (1999). *Pengujian Logam*. Bandung: Angkasa.
- Surdia, T. & Saito, S. (1992). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Wardana, P. F. (2012). *Pemanfaatan Serbuk Bambu Sebagai Alternatif Material Kampas Rem Non-Asbestos Sepeda Motor*. Skripsi Tidak Dipublikasikan, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.