

**PENGARUH SUHU PADA PROSES *TEMPERING* TERHADAP
SIFAT FISIS DAN SIFAT MEKANIK BAJA C55**

Erwan Defi Setiawan

S1 Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: erwanunesa@gmail.com

Aisyah Endah Palupi

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: aisyah2000@yahoo.com

Abstrak

Proses perlakuan panas (*heat treatment*) pada baja C55 pada dasarnya dilakukan dengan tujuan untuk mengubah sifat-sifat logam. Tujuan penelitian ini adalah (1) mengetahui pengaruh perbedaan suhu *tempering* terhadap nilai struktur mikro dan komposisi kimia pada baja C55. (2) mengetahui pengaruh perbedaan suhu *tempering* terhadap nilai kekerasan dan dampak pada baja C55. (3) mengetahui suhu pada proses *tempering* yang optimal pada baja C55 terhadap sifat fisis dan sifat mekanik. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan memvariasikan suhu pada proses *tempering*. Variasi suhu 150°C, 200°C dan 250°C dengan *holding time* 30 menit, 60 menit dan 90 menit. Dengan dimensi 5 mm x 5 mm, panjang 55 mm dan sudut takik 2 mm x 45°. Di *quenching* dengan media Oli Mesran 20W-50. Selanjutnya pengujian struktur mikro, komposisi kimia, kekerasan dan dampak. Spesimen uji kekerasan mengacu pada standart DIN 50103 dan spesimen dampak mengacu pada standart ASTM E23 02a. Hasil penelitian menunjukan bahwa suhu *tempering* mempunyai perbedaan yang signifikan terhadap nilai struktur mikro spesimen setelah proses *tempering*, tetapi untuk nilai komposisi kimia tidak ada perbedaan yang signifikan. Sedangkan suhu *tempering* mempunyai perbedaan yang signifikan terhadap nilai kekerasan dan nilai dampak. Hasil *tempering* yang optimal adalah pada suhu *tempering* 100°C dengan *holding time* 30 menit nilai rata-rata kekerasan sebesar 61,3 HRC. Sedangkan nilai optimal dampak pada suhu *tempering* 250°C dengan *holding time* 90 menit dengan nilai rata-rata ketangguhan sebesar 0,52 J/mm².

Kata kunci: *heat treatment*, suhu *tempering*, sifat fisis, sifat mekanik.

Abstract

The process of heat treatment (*heat treatment*) on the C55 steel is basically done with the aim to change the properties of the metal. The purpose of this study is (1) the effect of tempering temperature difference to the value of the microstructure and chemical composition of the steel C55. (2) determine the effect of tempering temperature difference of the value and impact of violence on C55 steel. (3) determine the temperature at the optimum tempering process on the physical properties of C55 steel and mechanical properties. This study is an experiment by varying the temperature of the tempering process. Variations in the temperature of 150°C, 200°C and 250°C with a holding time 30 minutes, 60 minutes and 90 minutes. With dimensions of 5 mm x 5 mm, length 55 mm and corner notches 2 mm x 45°. In quenching media Mesran Oil 20W-50. Further testing of the microstructure, chemical composition, hardness and impact. The test specimen hardness refers to the standard DIN 50 103 and the specimen impact refers to the standard ASTM E23 02a. The results of the study addressed that tempering temperature has a significant difference to the value of the microstructure of specimens after tempering process, but for the value of the chemical composition significant no difference. While tempering temperature has a significant difference to the value of hardness and impact value. The results are optimal tempering tempering temperature of 100°C with a holding time 30 minutes average value of 61.3 HRC hardness. While the impact on the optimal value of tempering temperature of 250°C with a holding time of 90 minutes with an average value of 0.52 J/mm² toughness. Keywords : *heat treatment*, tempering temperature, physical properties, mechanical properties

PENDAHULUAN

Baja adalah bahan dasar yang vital bagi perindustrian, adapun beberapa klasifikasi baja yaitu baja karbon dan baja paduan. Baja karbon merupakan logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utama, sedangkan untuk baja paduan adalah baja yang mengandung sebuah unsur atau lebih dengan kadar yang berlebih daripada karbon biasanya dalam karbon.

Baja yang digunakan penelitian ini adalah baja C55, baja ini sering juga disebut baja Buderus. Kadungan unsur-unsur baja C55 antara lain Karbon (C), Silicon (Si), Mangan (Mn), Fosfor (P), Sulfur (S), Krom (Cr), Molibdenum (Mo) dan Nikel (Ni) (Sumber: *Stahlschlusse*, 2004:37). Masing-masing unsur memiliki persentase yang berbeda-beda, baja ini diproses dengan pencampuran dari unsur-unsur tersebut dengan prosentase yang sesuai dengan kebutuhan baja tersebut. Persentase dari masing-masing unsur tersebut berpengaruh terhadap sifat fisis dan sifat mekanik baja C55, diantaranya sifat komposisi kimia, struktur mikro, dampak, dan kekerasannya.

Baja ini sangat penting kaitannya dengan produksi produk utama dari PT. PINDAD (Persero) Turen-Malang. Baja ini digunakan sebagai bahan baku untuk salah satu produk pendukung PT. PINDAD (Persero) Turen-Malang, yaitu "stemple merk". Produk ini difungsikan sebagai "stemple merk" untuk produk utama dari PT. PINDAD (Persero) Turen-Malang, sehingga diperlukan baja yang memiliki sifat fisis dan sifat mekanik yang nilai kekerasannya lebih tinggi daripada produk utama. Proses pelakuan panas (*heat treatment*) pada bahan ini adalah salah satu upaya untuk mendapatkan sifat bahan yang sesuai dengan aplikasinya.

Penelitian mengenai analisa perbaikan sifat fisis dan mekanik material baja 2436 dengan variasi suhu tempering yang akan diaplikasikan sebagai stempel merk PT. PINDAD (Persero) Turen-Malang oleh Raras Ayuswanti (UNAIR:2011), menghasilkan kesimpulan bahwa semakin besar variasi suhu yang diberikan, maka kekerasan material baja 2436 semakin menurun pula, hal tersebut dipengaruhi oleh kadar karbon pada material baja 2436, selain itu terbentuknya fasa martensit temper memberikan pengaruh pada sifat ketangguhan baja 2436.

Penelitian Gunawan Dwi Haryadi (UNDIP:2006), mengenai proses *tempering* dengan variasi suhu telah merubah kekerasannya. Kekerasan baja K-460 setelah pemanasan menurun ketika suhu *tempering* dinaikan. Perubahan suhu *tempering* juga mempengaruhi nilai kekuatan tarik. Pada suhu 100°C kekuatan tarik maksimumnya 2014,8 MPa, dan pada suhu 200°C, 300°C, dan 400°C masing-masing kekuatan tarik maksimumnya adalah 1671,1 MPa, 1444,6 MPa dan 1023,3 MPa. Pengujian tersebut menunjukkan bahwa nilai kekerasan, kekuatan tarik dan struktur mikro dipengaruhi oleh suhu *tempering*. Ketika suhu *tempering* dinaikan kekerasan dan kekuatan tarik akan menurun.

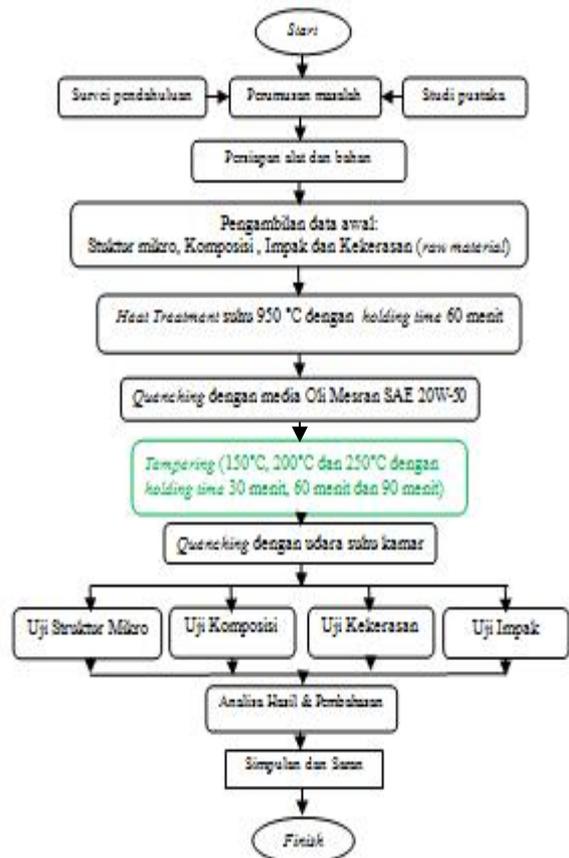
Berdasarkan uraian hasil penelitian di atas, maka perlu pengembangan penelitian yang berkaitan dengan parameter-parameter berpengaruh dalam proses *tempering*, yaitu pengaruh suhu pada proses *tempering* terhadap sifat fisis dan sifat mekanik baja C55.

Tujuan dari penelitian ini pengaruh perbedaan suhu *tempering* terhadap nilai struktur mikro dan komposisi kimia baja C55, pengaruh perbedaan suhu *tempering* terhadap nilai kekerasan dan nilai ketangguhan baja C55 dan mengetahui suhu pada proses *tempering* yang optimal pada baja C55 terhadap sifat fisis dan sifat mekanik.

Manfaat yang dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai literatur pada penelitian yang sejenisnya dalam rangka pengembangan teknologi khususnya pengujian dalam bidang metalurgi. Sebagai informasi bagi jurusan metalurgi untuk meningkatkan kualitas hasil pengujian bahan. Sebagai informasi penting guna meningkatkan pengetahuan bagi peneliti dalam bidang pengujian bahan, *heat treatment* dan bahan teknik.

METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian



Gambar 1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di:

- Laboratorium Bengkel Perkakas PT. PINDAD (Persero) Turen-Malang untuk memotong spesimen dan membentuk spesimen.
- Laboratorium Heat Treatment PT. PINDAD (Persero) Turen-Malang untuk melakukan eksperimen proses *hardening*, *quenching*, dan *tempering*.
- Laboratorium Pengujian Bahan PT. PINDAD (Persero) Turen-Malang untuk uji komposisi dan kekerasan.
- Laboratorium Pengujian Bahan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang (POLINEMA) untuk uji impak.
- Laboratorium Pengujian Fatigue Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya (UB) Malang untuk Scanning Elekron Mikroscope (SEM).

Variabel Penelitian

- Variabel bebas
Variabel bebas adalah variabel yang mendahului atau variabel penyebab. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu variasi suhu temper (150°C, 200°C, 250°C) dengan *holding time* (30 menit, 60 menit dan 90 menit) pada proses laku panas *tempering*.
- Variabel Terikat
Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu struktur mikro, komposisi kimia, impak, dan kekerasan baja C55.
- Variabel Kontrol
Variabel kontrol dalam penelitian ini antara lain:
 - Temperatur pada proses *hardening*, yaitu pada temperatur 950 °C dengan *holding time* selama 60 menit.
 - Spesimen dengan dimensi 5 mm x 5 mm, P= 55 mm dan sudut takik 2 mm x 45°.
 - Jumlah volume larutan esta sama untuk setiap pengujian.
 - Media pendingin menggunakan Oli Mesran SAE 20W-50 untuk proses *hardening*, sedangkan untuk proses *tempering* menggunakan media pendingin udara yang sesuai dengan suhu kamar.
 - Beban pengujian kekerasan sama untuk setiap spesimen uji

Bahan, Peralatan, dan Instrumen Penelitian

- Bahan
Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:
 - Baja C55
 - Kawat
 - HNO₃ (Asam Nitrad) dengan kosentrasi 10%)

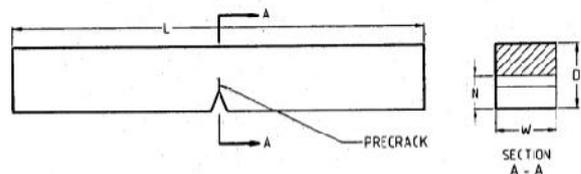
- Peralatan
Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:
 - Jangka sorong
 - Gergaji potong
 - Mesin bubut
 - Mesin frais
 - Mesin asah
 - Oven *heat treatment*
 - Bak oli
 - Oven *tempering*
 - *Stopwacth*
- Instrumen Penelitian
Instrumen penelitian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:
 - Spektrometer Arcmet 8000 untuk menguji komposisi.
 - Phenom G2 Pro untuk menguji struktur mikro.
 - Rockwell Tester untuk menguji kekerasan.
 - Charpy Impact Test untuk menguji ketangguahan.

Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini diperoleh dengan cara melakukan percobaan terhadap objek yang akan diteliti dan mencatat data-data yang diperlukan. Data-data yang diperlukan adalah komposisi, struktur mikro, kekerasan dan ketangguhan yang sesuai pada baja C55. Pengujian karakteristik dari baja C55 tersebut di lakukan di laboratorium bengkel perkakas, *heat treatment* dan pengujian bahan PT Pindad (Persero) Turen-Malang, Laboratorium pengujian bahan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang dan Laboratorium pengujian Fatigue Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

Ukuran Spesimen

Ukuran dan profil spesimen disesuaikan seperti bentuk spesimen uji impak dengan menggunakan standart ASTM E23 02a



Keterangan:

- L = 55 mm
- D = 10 mm
- N = 2 mm
- W = 45°

Gambar 2. Spesimen Uji Impak

Prosedur Penelitian

- Persiapan Penelitian
 - Persiapan Bahan
 - Persiapan Alat-alat
- Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen dilakukan sebelum proses laku panas *tempering* dimulai, maka dilakukan pembuatan spesimen yang nantinya akan diuji tingkat komposisi kimia, struktur mikro, kekerasan dan dampak langkah-langkahnya sebagai berikut:

 - Bahan di bentuk sesuai dengan gambar 2 menggunakan mesin frais dan mesin asah sudut.
- Persiapan Sebelum Perlakuan Panas (*heat treatment*)
 - Merangkai spesimen pada kawat.
 - Spseimen yang sudah disiapkan dimasukkan kedalam oven dengan Suhu hardening 950 °C selama enam puluh menit.
- Tahap mesin pancar dan mesin polish
 - Spesimen yang sudah heat treatment dimasukan kedalam mesin pancar pasir dan mesin polish untuk menghilangkan kerak pada spesimen.
- Tahap *Quenching*
 - Spseimen yang sudah disiapkan dimasukkan kedalam media pendingin yang sudah ditentukan yaitu Oli Mesran 20W-50.
- Pengujian Awal sebelum Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)
 - Pengukuran komposisi kimia raw material spesimen sebelum proses Heat Tretment menggunakan spectrometer Arcmet 8000.
 - Pengukuran struktur mikro raw material spesimen sebelum proses Perlakuan Panas (*Heat Treatment*) menggunakan alat Scaning Elektron Mikroscope (SEM).
 - Pengukuran kekerasan raw material spesimen sebelum proses Perlakuan Panas (*Heat Treatment*) menggunakan alat rockwell.
 - Pengukuran dampak raw material spseimen sebelum proses Perlakuan Panas (*Heat Treatment*) menggunakan alat uji dampak.
- Tahap laku panas *tempering*
 - Spesimen yang sudah disiapkan dimasukkan kedalam oven garam dengan variasi suhu yang sudah ditentukan yaitu 150°C, 200°C, dan 250°C.
 - Masing-masing lama waktu *tempering* adalah 30 menit, 60 menit dan 90 menit.
 - Setelah selesai proses *tempering* dilakukan media pendinginya adalah suhu kamar dan pembilasan air bersih.

- Tahap uji akhir setelah proses laku panas *tempering*
 - Pengujian komposisi menggunakan alat Arcmet 8000, cara dengan cara menempelkan sensor pada permukaan spesimen yang ingin diketahui nilai unsur-unsur kandungan baja akan ditampilkan pada layar.
 - Pengujian struktur mikro menggunakan alat Scaning Elektron Mikroscope (SEM), caranya dengan menempelkan sensor pada permukaan spesimen yang ingin diketahui nilai struktur mikro akan ditampilkan pada layar.
 - Pengujian dampak menggunakan impact, dengan cara meletakkan posisi spesimen uji pada tumpuan dengan posisi horizontal atau mendatar, dan arah pembebanan berlawanan dengan arah takikan.
 - Pengujian kekerasan menggunakan alat Rockwell, cara dengan cara menempelkan sensor pada permukaan spesimen yang ingin diketahui nilai kekerasan baja akan ditampilkan pada layar.

Teknik Analisis Data

Data dikumpulkan dengan metode eksperimen dengan tujuan untuk memperoleh data yang valid. Data studi literatur untuk mengetahui teori-teori yang berkaitan dengan spss.

Teknik Analisis Data

- Pengujian Dampak

$$E_{p1} = m \cdot g \cdot H_1 \quad (1)$$

$$E_{p2} = m \cdot g \cdot H_2 \quad (2)$$

$$E_{p1} - E_{p2} = m \cdot g \cdot (H_1 - H_2) \quad (3)$$

$$\text{Harga Dampak HI} = \frac{E_{p1} - E_{p2}}{A} \quad (4)$$

Keterangan:

E_{p1} =Energi Sebelum tumbukan (J)

E_{p2} = Energi Setelah Tumbukan (J)

m = masa pendulum (Kg)

g = gravitasi ($m \cdot s^{-2}$)

H_1 = tinggi pendulum sebelum tumbukan terhadap acuan (m)

H_2 = tinggi pendulum sebelum tumbukan terhadap acuan (m)

A = Luas Penampang

- Analisis Metode SPSS

One way ANOVA untuk mengetahui variabel bebas mana yang berpengaruh secara signifikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tingkat Komposisi Baja C55

Tabel 1. Uji Komposisi Baja C55 Raw Material

| Komposisi Kimia | | | |
|-----------------|----------------|-------|----------------|
| Unsur | Persentase (%) | Unsur | Persentase (%) |
| Fe | 98,100 | S | 0,030 |
| C | 0,543 | Cr | 0,253 |
| Si | 0,279 | Mo | 0,000 |
| Mn | 0,708 | Ni | 0,046 |
| P | 0,022 | | |

Dari tabel di atas dijelaskan bahwa pada kolom dua dan empat adalah hasil pengujian komposisi kimia.

Tabel 2. Uji komposisi Baja C55 Setelah *Tempering*

| Komposisi Kimia | | | |
|-----------------|----------------|-------|----------------|
| Unsur | Persentase (%) | Unsur | Persentase (%) |
| Fe | 98,100 | S | 0,030 |
| C | 0,543 | Cr | 0,253 |
| Si | 0,279 | Mo | 0,000 |
| Mn | 0,708 | Ni | 0,046 |
| P | 0,022 | | |

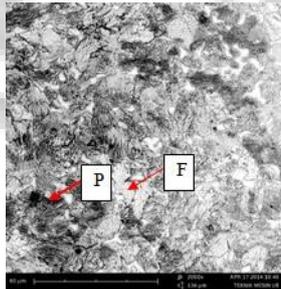
Dari tabel di atas dijelaskan bahwa pada kolom dua dan empat adalah hasil pengujian komposisi kimia.

Dari tabel 1 dan 2 dapat kita simpulkan bahwa sifat-sifat yang dimiliki oleh baja dipengaruhi komposisi kimia dan klasifikasi uji komposisi kimia ini ditentukan oleh kadar karbon dalam suatu material. Pada penelitian ini tidak terjadi proses penambahan unsur karbon.

Struktur Mikro

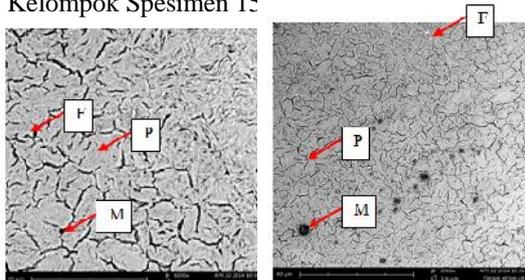
Foto struktur mikro pada spesimen uji merupakan hasil pengamatan dengan *Scanning elektron Mikroscope* (SEM) sehingga dapat terlihat batas-batas butir yang terlihat. Struktur mikro pada hasil penelitian ini diambil dengan menggunakan *Scanning elektron Mikroscope* (SEM) merek Phenom G2 Pro dengan pembesaran 2000X dan 6000X pada beberapa spesimen.

- Raw Material

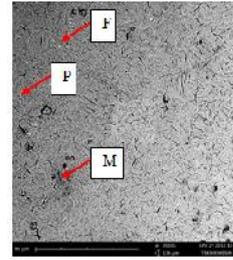


Gambar 3. Raw material

- Kelompok Spesimen 150°C



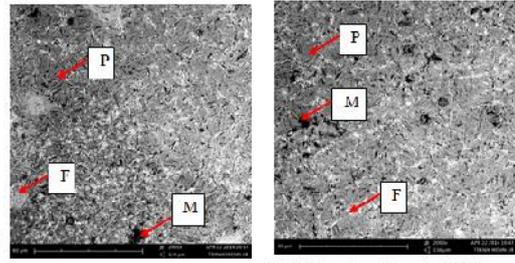
(a) Holding Time 30 menit (6000X) (b) Holding Time 60 menit (2000X)



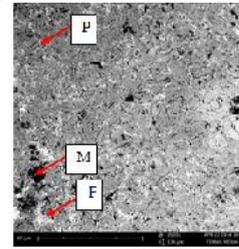
(c) Holding Time 90 menit (2000X)

Gambar 4. Spesimen 150°C

- Kelompok Spesimen 200°C



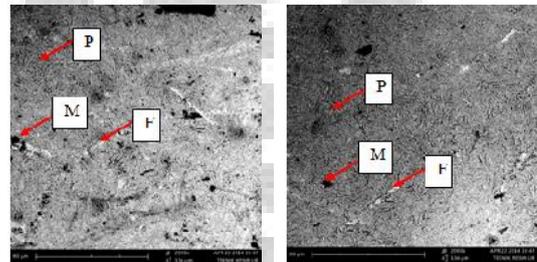
(a) Holding Time 30 menit (2000X) (b) Holding Time 60 menit (2000X)



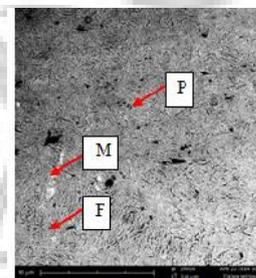
(c) Holding Time 90 menit (2000X)

Gambar 5. Spesimen 200°C

- Kelompok Spesimen 250°C



(a) Holding Time 30 menit (2000X) (b) Holding Time 60 menit (2000X)



(c) Holding Time 90 menit (2000X)

Gambar 6. Spesimen 250°C

Keterangan:
 P = Pearlite
 F = Ferrite
 M = Martensit

Pada hasil pengamatan struktur mikro pada spesimen perlakuan panas kecuali *raw material* terdapat tiga struktur yaitu pearlite, ferrite dan martensit. Sedangkan pada *raw material* hanya terdapat dua struktur yaitu pearlite dan ferrite. Dimana pearlite berwarna gelap, ferrite berwarna putih dengan sifat lunak dan martensit berwarna coklat dan berbentuk jarum dengan sifat keras. Struktur pearlite dan ferrite sendiri pada *raw material* terbentuk dari hasil pengecoran baja yang didinginkan dengan udara sampai suhu kamar sehingga menyebabkan pembentukan fasa pearlite dan ferrite dengan ukuran butiran kristal besar-besar (kasar) menandakan bahwa kekerasan sedang (karbon 0,52%).

Dari foto struktur mikro pada setiap spesimen perlakuan didapat pula pembentukan struktur mikro baru yaitu struktur martensit. Struktur dengan bentuk seperti jarum dan agak kecoklatan ini merupakan struktur ini nanti yang akan berperan pada sifat mekanis baja khususnya kekerasan. Untuk memperoleh struktur martensit yang keras maka saat pada pemanasan harus dapat terjadi pada struktur austenit (temperatur 760°C), karena hanya austenit yang dapat bertansformasi menjadi martensit. Bila pada pemanasan masih terdapat struktur lain maka setelah didinginkan akan diperoleh struktur yang tidak seleurnya martensit. Penentuan temperatur dan lamanya holding time berperan penting terhadap pembentukan martensit.

Struktur martensit dapat terbentuk karena pada suhu 760°C, material sudah berada pada suhu austenit tidak stabil yang pada proses pendinginan akan kembali kedalam austenit, sedangkan ferrite hanya mampu melarutkan 0,025% karbon, maka terbentuklah struktur ferrite dipelebar atau karbon dipaksa masuk atau larut dalam ferrite.

Martensit merupakan fasa metastabil terbentuk dengan laju pendinginan cepat. Semua unsur paduan masih larut dalam keadaan padat. Pemasakan harus dilakukan secara bertahap (*preheating*) dan perlahan-lahan untuk memperkecil deformasi ataupun resiko retak. Setelah temperatur pengerasan tercapai, ditahan dalam selang waktu tertentu kemudian didinginkan cepat.

Pembentuk struktur keras martensit dan peningkatan kekerasan baja memiliki hubungan erat, apabila pembentukan martensit merata akibat homogenya austenit dan terjadinya kelarutan karbida serta adanya difusi karbon yang tepat, maka tingkat kekerasan bertambah begitu pula sebaliknya. Hubungan erat martensit dan tingkat kekerasan ini tergantung dari pengaruh *preheating*, penetapan temperatur, *holding time*, dan media *quenching*.

Tingkat kekerasan pada baja hasil perlakuan panas juga tergantung pada pembentukan struktur martensit, dimana semakin kompleks dan merata penyebaran struktur martensit pada baja karena penentuan temperatur dan lama *holding time* yang tepat akan membiarkan austenit menjadi homogen dan terjadi difusi karbon yang tepat akan memaksimalkan peningkatan kekerasan sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin dominan jumlah pertumbuhan butir-butir martensit yang terbentuk, maka kekerasan yang dihasilkan akan semakin meningkat

pula namun baja akan bersifat rapuh dan getas karena ketangguhan baja menurun.

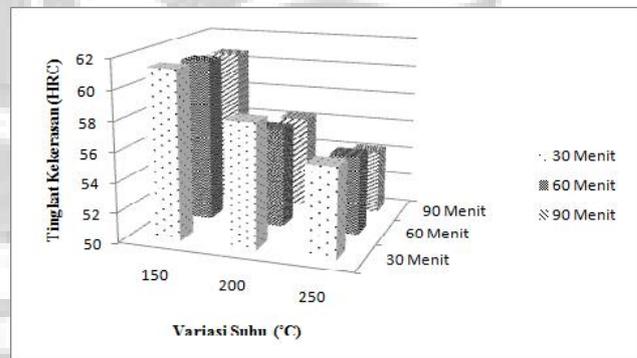
Kegetasan dan kerapuhan pada baja juga tergantung pada media *quenching* yang digunakan. Media *quenching* sangat berpengaruh terhadap laju pembentukan struktur martensit dan tingkat kekerasan. Penggunaan media pendingin dengan laju cepat akan menghasilkan tingkat kekerasan yang tinggi tetapi ketangguhan baja akan menurun. Penggunaan media oli Mesran SAE 20W-50 yang merupakan pendinginan sedang juga berpengaruh terhadap tingkat kekerasan baja, sehingga baja mengalami peningkatan kekerasan yang cukup signifikan pada setiap spesimen perlakuan panas pada penelitian ini tanpa mengurangi ketangguhan secara drastis.

Tingkat Kekerasan

Tabel 3. Hasil Uji Kekerasan Baja C55 Setelah proses *Tempering*

| NO | Kode Material | Suhu Tempering (°C) | Holding Time (Menit) | Hasil Uji Kekerasan Spesimen, 3 titik (HRC) | | | Rata-rata (HRC) |
|----|---------------|---------------------|----------------------|---|----|----|-----------------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | Raw Material | | | 22 | 24 | 24 | 23,3 |
| 2 | A1 1 | 150 | 30 | 61 | 61 | 67 | 61,3 |
| 3 | A1 2 | 150 | 60 | 63 | 53 | 37 | 61 |
| 4 | A1 3 | 150 | 90 | 61 | 62 | 59 | 60,7 |
| 5 | B2 1 | 200 | 30 | 60 | 58 | 57 | 58,3 |
| 6 | B2 2 | 200 | 60 | 57 | 56 | 57 | 56,7 |
| 7 | B2 3 | 200 | 90 | 57 | 57 | 55 | 56,3 |
| 8 | C3 1 | 250 | 30 | 52 | 56 | 60 | 56 |
| 9 | C3 2 | 250 | 60 | 55 | 55 | 56 | 55,3 |
| 10 | C3 3 | 250 | 90 | 50 | 53 | 60 | 54,3 |

Dari tabel di atas dijelaskan bahwa pada kolom lima sampai tujuh adalah hasil pengujian tiga titik pada setiap spesimen. Pada kolom delapan adalah hasil rata-rata pada setiap spesimen uji kekerasan.



Gambar 7. Pengaruh suhu pada proses *tempering* terhadap nilai kekerasan Baja C55

- Kelompok spesimen 150°C
 - Nilai kekerasan pada spesimen 30 menit = 61.3 HRC
 - Nilai kekerasan pada spesimen 60 menit = 61.0 HRC
 - Nilai kekerasan pada spesimen 90 menit = 60.7 HRC

- Kelompok spesimen 200°C
 - Nilai kekerasan pada spesimen 30 menit = 58.3 HRC
 - Nilai kekerasan pada spesimen 60 menit = 56.7 HRC
 - Nilai kekerasan pada spesimen 90 menit = 56.3 HRC
- Kelompok spesimen 250°C
 - Nilai kekerasan pada spesimen 30 menit = 56.0 HRC
 - Nilai kekerasan pada spesimen 60 menit = 55.3 HRC
 - Nilai kekerasan pada spesimen 90 menit = 54.3 HRC

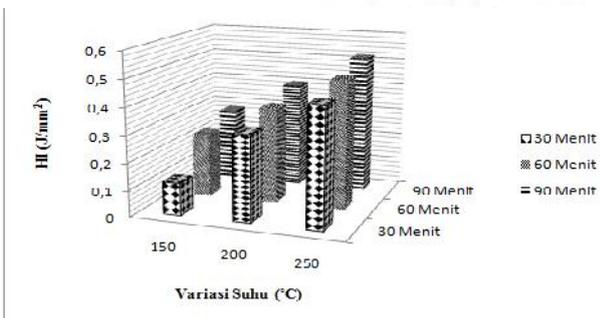
Dari diagram nilai kekerasan di atas hasil nilai kekerasan tertinggi yaitu 61.3 HRC pada suhu 150°C dengan *holding time* 30 menit. Sedangkan hasil nilai kekerasan terendah yaitu 54.3 HRC pada suhu 250°C dengan *holding time* 90 menit.

Tingkat ketangguhan

Tabel 4. Hasil Uji Impak Baja C55 Setelah proses *Tempering*

| No | Kode Material | T (°C) | E ₁ (J) | β (°) | II ₂ (m) | E ₂ (J) | ΔE = E ₁ - E ₂ (J) | HI = ΔE/A |
|----|---------------|--------|--------------------|-------|---------------------|--------------------|--|-----------|
| 1 | Raw Material | 0 | 70 | 13 | 0,70 | 18 | 5 | 0,08 |
| 2 | A1.1 | 150 | 15 | 12 | 0,60 | 12 | 3 | 0,12 |
| 3 | A1.2 | 150 | 15 | 12 | 0,40 | 9 | 6 | 0,24 |
| 4 | A1.3 | 150 | 15 | 12 | 0,30 | 8 | 7 | 0,28 |
| 5 | B2.1 | 200 | 15 | 12 | 0,62 | 7 | 8 | 0,32 |
| 6 | B2.2 | 200 | 15 | 12 | 0,20 | 6 | 9 | 0,36 |
| 7 | B2.3 | 200 | 15 | 12 | 0,10 | 5 | 10 | 0,4 |
| 8 | C3.1 | 250 | 15 | 12 | 0,40 | 4 | 11 | 0,44 |
| 9 | C3.2 | 250 | 15 | 12 | 0,60 | 3 | 12 | 0,48 |
| 10 | C3.3 | 250 | 15 | 12 | 0,50 | 2 | 13 | 0,52 |

Dari tabel di atas dijelaskan bahwa pada kolom tiga adalah variasi suhu pada proses *tempering*. Pada kolom empat adalah hasil energi sebelum tumbukan (1). Pada kolom lima adalah hasil sudut. Pada kolom enam adalah hasil tinggi pendulum setelah tumbukan terhadap acuan. Pada kolom tujuh adalah hasil energi setelah tumbukan (2). Pada kolom delapan adalah hasil delta E (3). Pada kolom sembilan adalah harga impact (4).



Gambar 8. Pengaruh suhu pada proses *tempering* terhadap nilai kekerasan Baja C55

- Kelompok spesimen 150°C
 - Nilai impact pada spesimen 30 menit = 0.12 J/mm²
 - Nilai impact pada spesimen 60 menit = 0.24 J/mm²
 - Nilai impact pada spesimen 90 menit = 0.28 J/mm²

- Kelompok spesimen 200°C
 - Nilai impact pada spesimen 30 menit = 0.32 J/mm²
 - Nilai impact pada spesimen 60 menit = 0.36 J/mm²
 - Nilai impact pada spesimen 90 menit = 0.4 J/mm²
- Kelompok spesimen 250°C
 - Nilai impact pada spesimen 30 menit = 0.44 J/mm²
 - Nilai impact pada spesimen 60 menit = 0.48 J/mm²
 - Nilai impact pada spesimen 90 menit = 0.52 J/mm²

Dari diagram nilai impact di atas hasil nilai impact tertinggi yaitu 0.52 J/mm² pada suhu 250°C dengan *holding time* 90 menit. Sedangkan hasil nilai kekerasan terendah yaitu 0.12 J/mm² pada suhu 150°C dengan *holding time* 30 menit.

Uji One Way ANOVA

Tabel 5. Hasil Analisa Varian Kekerasan

| ANOVA ^a | | | | | | |
|--------------------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| 1 | Regression | 53.542 | 2 | 26.771 | 57.400 | .000 ^b |
| | Residual | 2.798 | 6 | .466 | | |
| | Total | 56.340 | 8 | | | |

a. Dependent Variable: kekerasan
b. Predictors: (Constant), waktu, Suhu

Hasil uji *one way* ANOVA yang telah dilakukan mengindikasikan bahwa harga $F_{hitung} = 57.400$ dibandingkan dengan F_{tabel} , dk pembilang $m-1 = 3-1 = 2$; dk penyebut $N-m = 9-3 = 6$; dengan $\alpha = 0.05$ $F_{tabel} = 5.14$. Karena $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima. Disamping menggunakan perbandingan F hitung dan F tabel, dapat juga melakukan perbandingan sig dengan α . Sig. (0.000) $< \alpha$ 0.05 maka H_0 ditolak. Artinya terdapat perbedaan secara signifikan hasil nilai kekerasan dengan variasi suhu 100°C, 200°C dan 250°C dengan *holding time* 30 menit, 60 menit dan 90 menit.

Tabel 6. Hasil Analisa Varian Impact

| ANOVA ^a | | | | | | |
|--------------------|------------|----------------|----|-------------|---------|-------------------|
| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| 1 | Regression | .124 | 2 | .062 | 104.400 | .000 ^b |
| | Residual | .004 | 6 | .001 | | |
| | Total | .127 | 8 | | | |

a. Dependent Variable: impact
b. Predictors: (Constant), waktu, Suhu

Hasil uji *one way* ANOVA yang telah dilakukan mengindikasikan bahwa harga $F_{hitung} = 104.400$ dibandingkan dengan F_{tabel} , dk pembilang $m-1 = 3-1 = 2$; dk penyebut $N-m = 9-3 = 6$; dengan $\alpha = 0.05$ $F_{tabel} = 5.14$. Karena $F_{hitung} > F_{tabel}$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima. Disamping menggunakan perbandingan F hitung dan F tabel, dapat juga melakukan perbandingan sig dengan α . Sig. (0.000) $< \alpha$ 0.05 maka H_0 ditolak. Artinya terdapat perbedaan secara signifikan hasil nilai impact dengan variasi suhu 100°C, 200°C dan 250°C dengan *holding time* 30 menit, 60 menit dan 90 menit.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dari pengujian dan evaluasi data serta pembahasan pengaruh suhu pada proses *tempering* terhadap sifat fisis dan sifat mekanik baja C55, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Perubahan struktur mikro pada proses *raw material* mempunyai struktur *pearlite* dan *ferrite*, pada perlakuan *tempering* 150°C, 200°C, dan 250°C dengan *holding time* 30 menit, 60 menit dan 90 menit mempunyai struktur *pearlite*, *ferrite*, dan *martensit*, proses *quenching* dengan media oli mesran 20W-50 yang menyebabkan struktur kristal meningkat lebih banyak. Hasil pengujian komposisi kimia *raw material* Fe 98,100%, C 0,543%, Si 0,279%, Mn 0,708%, P 0,022%, S 0,030%, Cr 0,253, Mo 0,000%, dan Ni 0,046. Setelah proses *tempering* tidak terjadi perubahan dalam unsur-unsur baja C55.
- Hasil pengujian kekerasan *raw material* 23,3 HRC setelah proses *tempering* 150°C dengan *holding time* 30 menit nilai kekerasan 61,3 HRC yang paling optimal berdasarkan hasil analisis statistik suhu dan waktu mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan, karena nilai $0,00 < 0,05$. Hasil pengujian ketangguhan *raw material* 0,08 J/mm², Pada perlakuan *tempering* 250°C dengan *holding time* 30 menit nilai ketangguhan 0,44 J/mm² yang paling optimal berdasarkan hasil analisis statistik suhu dan waktu mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan, karena nilai $0,00 < 0,05$.

Saran

Saran yang peneliti sampaikan adalah sebagai berikut:

- Dimensi spesimen disesuaikan dengan kemampuan alat uji. Pemanasan spesimen dalam dapur harus memperhatikan jarak antar spesimen dan waktu penahanannya, saat mendinginkan dalam bak oli dicelupkan tegak lurus dan dibiarkan menggantung dalam media.
- Perlu adanya penelitian lanjutan yang variabel kontrol lebih lengkap dengan melihat tegangan dalamnya (*internal stress*).

DAFTAR PUSTAKA

- Anrinal. (2013). *Metalurgi Fisik*. Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- ASTM E23. *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Material*. Washington D.C: Approved.
- Ayuswanti, Raras. (2011). *Analisa Perbaikan Sifat Fisis dan Mekanik Material Baja 2436 Dengan Variasi Suhu Tempering*. Surabaya: Jurusan Fisika Fakultas Sains Teknologi Universitas Airlangga.
- Armanto, H dan Daryanto, Drs. (2003). *Ilmu Bahan*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Buderus Edelsthal D-090. (2004). *Heat Treable Steels*. Wetzlar: Stahlschlusse.
- Callister, Jr William., (2001). *Fundamentals of Materials Since and Engineering*. Department of Metallurgical Engineering The University of Utah.
- Dieter, George E. (1996). “*Metalurgi Mekanik* jilid 1”. Edisi 3. Diterjemahkan oleh Sriati Djaprie. Jakarta : Erlangga.
- George F. Vander voort. *Metal Handbook Eighth Edition*, ASM Voleme 7.
- Haryadi, Gunawan Dwi. (2006). *Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Nilai Kekerasan, Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Pada Baja K-460*. Semarang: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Sugiyono. (2011). *Statistika Untuk Penelitian*. Bandung: Alfabeta.
- Sunjoyo.(2013). *Aplikasi SPSS untuk Smart Riset*. Bandung: Alfabeta.
- Smallman, R.E. dan Bishop R.J. (2000). *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material. Edisi VI*. Jakarta: Erlangga.
- Surdia, Tata, Shinroku Saito. (2000). *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Wegst, Autotren C dan Wegst M. (2004). *Stahlschlusse*. ISBN 3-922599-20-6.