

## ANALISA VARIASI WAKTU PENAHANAN KARBURISASI DAN PERLAKUAN CRYOGENIC TERHADAP SIFAT MEKANIS BAJA ST37

David Satya Hartanto, Agus Suprpto\*, Ike Widyastuti

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang

\*Email corresponding author:

### Abstrak

Baja ST37 adalah baja yang memiliki nilai kekerasan yang cukup rendah, dengan kadar karbon sekitar 0,06% sehingga memiliki mampu keras yang tergolong rendah. Untuk meningkatkan mampu keras baja ST37 harus ada peningkatan kadar karbon dengan cara proses karburisasi. Proses karburisasi akan menghasilkan difusi karbon dimulai dari permukaan hingga ke dalam baja. Perlakuan *cryogenic* berguna untuk mengubah austenite sisa (*retained austenite*) menjadi martensit. Dalam penelitian ini dilakukan proses karburisasi pada suhu 900 °C dan *cryogenic* selama dua jam dengan sampel berupa plat baja ST37 berjumlah 12 buah dengan variasi waktu 15, 30, 45, 60, 75, 90 menit. Berdasarkan hasil penelitian, ditemukan bahwa semakin lama waktu penahanan karburisasi, semakin banyak karbon yang terdifusi pada spesimen, sehingga meningkatkan mampu keras spesimen, yang dapat dilihat dari hasil kekerasan spesimen. Kekerasan paling rendah adalah pada spesimen karburisasi penahanan 15 menit dengan harga kekerasan 72,05 HRA, sementara kekerasan tertinggi adalah pada spesimen karburisasi penahanan 90 menit + *cryogenic* 2 jam dengan harga kekerasan 80,45 HRA. Adapun spesimen non-*cryogenic* terkeras adalah spesimen penahanan karburisasi 75 menit dengan 80,2 HRA. Berdasarkan perhitungan garis regresi diperoleh fungsi kekerasan sebelum *cryogenic* adalah  $HRA = 0,091333t + 72,04667$  dan pasca *cryogenic* 2 jam adalah  $HRA = 0,04419t + 75,29667$  dengan  $t$  sebagai fungsi waktu penahanan karburisasi (menit). Adapun perbedaan kekerasan spesimen karburisasi dibanding spesimen karburisasi dengan perlakuan *cryogenic*, diketahui sebagai  $\Delta HRA = 3,25 - 0,04714t$ . Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu penahanan proses karburisasi, semakin keras spesimen tetapi semakin tidak signifikan penambahan kekerasan saat diberikan perlakuan *cryogenic*.

**Kata Kunci:** *Cryogenic*, karburisasi, ST37

### Abstract

*ST37 steel is steel that has a fairly low hardness value, with a carbon content of around 0.06% so that it has a relatively low hardness. To increase the hard steel capacity of ST37 there must be an increase in carbon content by means of the carburization process. The carburization process will produce carbon diffusion from the surface to the steel. Cryogenic treatment is useful for converting retained austenite to martensite. In this study the carburization process was carried out at 900 ° C and cryogenic for two hours with a sample of ST37 steel plates totaling 12 pieces with time variations of 15, 30, 45, 60, 75, 90 minutes. Based on the results of the study, it was found that the longer the carburization holding time, the more carbon is diffused in the specimen, thereby increasing the hardness of the specimen, which can be seen from the hardness of the specimen. The lowest hardness was in the 15 minute detention carburization specimen at 72.05 HRA, while the highest hardness was in the 90 minute detention carburization specimen + 2 hour cryogenic with a hardness price of 80.45 HRA. The hardest non-cryogenic specimen is a 75 minute carburization holding specimen with 80.2 HRA. Based on the calculation of the regression line the hardness function before cryogenic is obtained  $HRA = 0.091333t + 72.04667$  and post-cryogenic 2 hours is  $HRA = 0.04419t + 75.229667$  with  $t$  as a function of carburization holding time (minutes). The difference in hardness of the carburization specimen compared to the carburization specimen with cryogenic treatment, is known as  $\Delta HRA = 3.25 - 0.04714t$ . This shows that the longer the holding time of the carburization process, the harder the specimen is but the insignificant increase in violence when given cryogenic treatment.*

**Keywords :** *Cryogenic, carburization, ST37*

### PENDAHULUAN

Baja ST37 adalah salah satu klasifikasi baja yang ditentukan dari nilai kekuatan tarik baja tersebut. Baja ST37 sendiri memiliki sifat lunak karena kadar karbon rendah, dengan nilai 0,06%. Kadar karbon tersebut

menghasilkan baja dengan mampu keras yang rendah. Secara praktis, baja tersebut tidak dapat diperkeras dengan cara konvensional. Untuk meningkatkan kekerasan pada baja tersebut, diperlukan proses untuk meningkatkan mampu kerasnya. Proses

karburisasi adalah salah satu proses peningkatan kadar karbon terlarut pada baja dengan memanaskan spesimen pada lingkungan karbon, baik dalam bentuk padat, cair maupun gas. Pasca proses karburisasi, logam dapat menerima perlakuan *cryogenic* untuk mengubah austenite sisa menjadi martensit, yang pada konsepnya dapat meningkatkan kekerasan spesimen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar pengaruh proses karburisasi dan *cryogenic* pada specimen baja.

### **Rumusan Masalah**

Masalah yang akan diteliti pada penelitian ini ada dua, yakni:

1. Pengaruh waktu penahanan karburisasi terhadap kekerasan dan struktur mikro.
2. Pengaruh perlakuan *cryogenic* terhadap kekerasan dan struktur mikro.

### **Batasan Masalah**

Adapun peneliti akan membatasi permasalahan pada tiga bagian saja, yakni:

1. Suhu karburisasi dibatasi pada 900 °C atau 1173 K.
2. Variasi waktu penahanan karburisasi 15, 30, 45, 60, 75, 90 menit.
3. Pengujian kekerasan dan pengamatan struktur mikro.
4. Perlakuan *cryogenic* dibatasi pada perendaman 2 jam pada nitrogen cair.

### **KAJIAN PUSTAKA**

Baja karbon adalah unsur (Fe) yang mengandung unsur karbon (C) sebagai unsur paduan utama. Baja karbon dapat memiliki unsur-unsur lain sebagai paduan dalam jumlah sedikit untuk mendapatkan sifat tertentu. Baja karbon berdasarkan kandungan karbon yang terlarut pada logam dapat dibagi menjadi empat, yaitu:

#### **1. Baja karbon rendah**

Memiliki kadar karbon terlarut dari 0,05% hingga 0,3%. Karakteristik baja secara umum lunak. Memiliki ketangguhan dan mampu las yang baik, namun mampu keras yang rendah. Biasanya digunakan untuk panel kendaraan, pipa maupun kerangka bangunan.

#### **2. Baja karbon sedang**

Memiliki kadar karbon antara 0,3% - 0,6% juga bisa ada tambahan seperti Mangan (Mn) sebesar 0,6% - 1,65%. Baja karbon sedang memiliki mampu las dan ketangguhan yang baik, biarpun tidak sebaik baja karbon rendah biarpun lebih keras. Baja kategori ini biasa digunakan pada aplikasi seperti poros, gandar, roda gigi, kopling karena memiliki karakteristik yang relatif seimbang.

### 3. Baja karbon tinggi

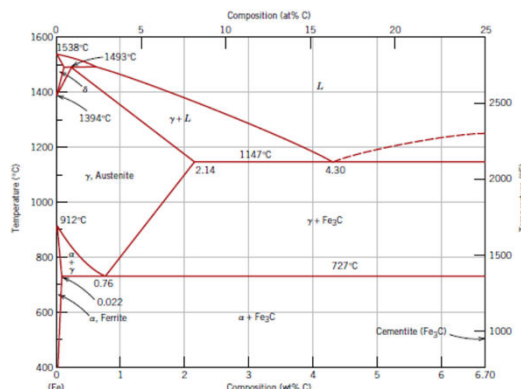
Memiliki kadar karbon sebesar 0,6% - 1% yang juga dapat dipadu dengan Mangan sebesar 0,3% - 0,9%.

Kandungan karbon yang tinggi membuat baja memiliki mampu keras yang tinggi. Karena nilai tegangan tarik yang tinggi, baja karbon tinggi cocok untuk material-material yang menerima pembebanan tinggi atau rentan aus seperti pegas, atau mata pisau industri.

### 4. Baja karbon sangat tinggi

Memiliki kandungan antara 1,25% - 2%, baja karbon sangat tinggi memiliki mampu keras yang sangat baik. Kelemahannya yaitu mampu las dan ketangguhan yang rendah. Karena itu, penggunaannya terbatas pada aplikasi selain alat-alat berat tapi memerlukan kekerasan tinggi seperti pisau, alat punch dan pahat tangan.

Adapun kandungan karbon pada baja dan suhu juga menentukan fasa yang terbentuk pada logam. Fasa yang terbentuk pada baja dapat diketahui dari diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C.



Gambar 1 Diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C (sumber: chegg.com)

Secara garis besar berdasarkan diagram fasa, baja karbon dapat dikelompokkan menjadi:

1. Baja hipoeutektoid  
(C = 0,008% - 0,76%)
2. Baja eutektoid (C = 0,76%)
3. Baja hipereutektoid  
(C = 0,76% - 2%)

Adapun fasa-fasa yang terbentuk pada baja berdasarkan diagram dapat dibagi menjadi 4, yaitu:

#### 1. Ferit

Ferit adalah besi fasa alpha ( $\alpha$ -Fe) adalah fasa baja karbon yang terbentuk pada suhu di bawah 912 °C atau lebih rendah seiring meningkatnya kadar karbon hingga titik eutektoid atau 0,76% karbon, di mana ferit terbentuk pada suhu di bawah 727 °C. Ferit memiliki struktur kristal BCC (*body centered cubic*). Struktur kristal BCC memiliki sedikit titik yang dapat disisipi atom karbon sehingga ferit memiliki mampu larut karbon yang

rendah atau maksimum 0,021% massa. Ferit memiliki sifat lunak (80 Brinell) dan ferromagnetik. Karena ini, ferit memiliki daya hantar listrik yang baik.

## 2. Austenit

Austenit atau besi fasa gamma ( $\gamma$ -Fe) adalah fasa yang terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C), terbentuk pada proses pemanasan baja karbon. Suhu pembentukan austenit tergantung pada kadar karbon terlarut dalam paduan. Austenit memiliki struktur kristal FCC (*face centered cubic*) sehingga mampu melarutkan lebih banyak atom karbon dalam satu kristal hingga 2,03% massa. Austenit memiliki sifat lunak dan ulet. Hal ini dimanfaatkan pada proses penempaan, yaitu dengan memanaskan baja hingga suhu terbentuknya austenite agar lebih mudah dibentuk. Proses ini disebut pengerjaan panas atau *hot working*.

## 3. Sementit

Sementit adalah senyawa besi dan karbon berupa karbida logam dengan formula  $Fe_3C$ . Proporsi massa  $Fe_3C$  terdiri dari 6,67% (C) dan 93,33% (Fe) dengan menggunakan hitungan massa atom relatif karbon dan besi ( $Ar\ Fe = 55,845$  ;  $Ar\ C = 12,001$ ). Sementit merupakan senyawa yang sangat keras, akan tetapi sangat rapuh, sehingga terbatas penggunaannya.

## 4. Perlit

Perlit merupakan struktur fasa berlapis (*lamellar*) selang-seling antara ferit ( $\alpha$ -Fe) dan sementit ( $Fe_3C$ ) sehingga perlit mempunyai notasi ( $\alpha + Fe_3C$ ). Proses pembentukan perlit terjadi berdasarkan reaksi eutektoid. Pada baja hipoeutektoid, ada beberapa ferit yang tidak ikut bereaksi pada reaksi tersebut, sehingga tidak ikut pembentukan perlit. Hal yang sama juga berlaku pada baja hipereutektoid, di mana baja akan membentuk sementit terlebih dahulu sebelum titik eutektoid tercapai.

Adapun kekerasan pada baja karbon rendah dapat ditingkatkan dengan meningkatkan kadar karbon. Peningkatan kadar karbon ini meningkatkan mampu keras suatu baja yang dapat dilakukan dengan proses karburisasi, di mana logam diletakkan pada lingkungan penuh karbon, baik dalam serbuk karbon aktif, maupun fluida pembawa karbon seperti molten salt maupun gas. Pada proses ini, karbon mengalami difusi pada permukaan logam menuju ke bagian dalam, sehingga kadar karbon pada permukaan logam lebih tinggi dibandingkan bagian dalam. Hal ini menyebabkan logam memiliki permukaan yang relatif keras sementara bagian inti tetap lunak. Fenomena ini dinamakan sebagai pengerasan permukaan atau *case hardening*. Pengerasan permukaan berguna pada aplikasi yang memerlukan ketahanan aus dan beban kejutan yang tinggi, sementara baja perlakuan konvensional tidak memenuhi keduanya.

Untuk mengetahui harga kekerasan logam, perlu dilakukan uji kekerasan logam. Salah satu uji kekerasan logam yaitu uji kekerasan Rockwell, di mana benda yang diuji mengalami pembebanan titik atau luas area yang kecil, menggunakan media penekan (indenter) untuk mengetahui kedalaman indentasi yang dihasilkan indenter pada beban tertentu. Kedalaman cacat menunjukkan besar tahanan benda untuk melawan deformasi plastis. Semakin lunak suatu benda, semakin rendah nilai kekerasan yang terbaca. Pengujian kekerasan Rockwell mempunyai beberapa skala yang dapat digunakan. Salah satunya adalah skala A, dengan beban minor sebesar 10 kg dan beban mayor sebesar 60 kg. Indentor berupa intan *spheroconical* 120 derajat, atau dalam bentuk kerucut. Kekerasan benda yang diuji dengan skala ini dinyatakan dalam notasi HRA.

Pengujian kekerasan sendiri tidak dapat mengetahui perubahan fisik pada benda, sehingga diperlukan pengamatan struktur mikro untuk melihat komposisi struktur logam atau kristal logam. Dengan mengetahui struktur mikro logam, dapat diketahui hubungan sebab akibat dari hasil akhir sifat mekanik suatu logam dengan proses yang telah dilakukan.

## METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, ada beberapa proses yang akan digunakan peneliti, yakni:

1. Karburisasi
2. Perlakuan *cryogenic*

### 3. Pengamatan struktur mikro

Pada proses-proses di atas, ada beberapa parameter yang akan digunakan sebagai pembatas.

Parameter karburisasi:

1. Suhu dapur pemanas 900 °C
2. Variasi waktu penahanan berupa 15, 30, 45, 60, 75, 90 menit
3. Pendinginan menggunakan oli SAE 20

Parameter perlakuan *cryogenic*:

1. Nitrogen cair
2. Waktu perendaman 2 jam

Pengujian kekerasan:

1. Menggunakan skala A uji kekerasan Rockwell, beban minor 10 kg, beban mayor 60 kg, indenter intan *spheroconical* dan waktu tahan 1 detik.
2. 10 titik pada tiap specimen

Pengamatan struktur mikro

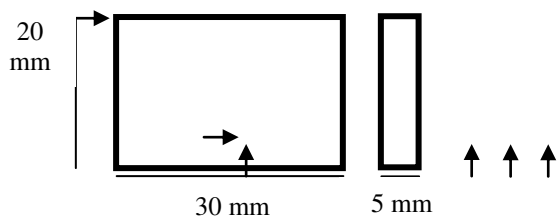
1. Etsa Nital 4,7%
2. Perendaman 30 detik
3. Perbesaran mikroskop variasi 325, 650, 1300, 2600 kali.

Adapun spesimen yang akan digunakan pada penelitian ini adalah baja ST37.

Tabel 1. Hasil Uji Komposisi

Unsur	Persen Massa %
Fe	98,4256
C	0,06248
Mn	0,75501
Si	0,19661
Cr	0,21645
Cu	0,13139
Ni	0,10035
Unsur lain	0,11211

Adapun dimensi spesimen ditentukan sebesar 30 x 20 x 5 (mm).

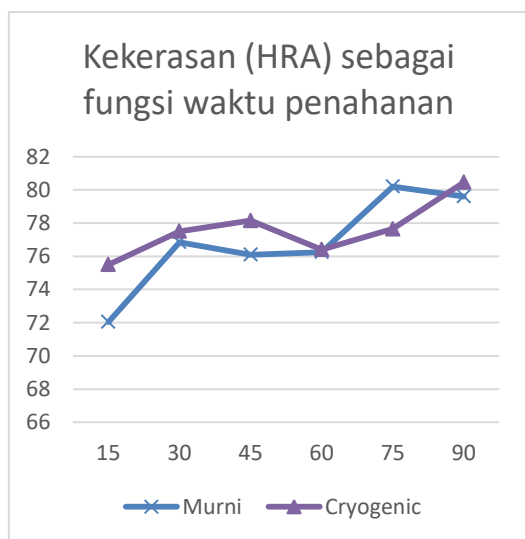


### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari penelitian di atas, dapat diketahui hasil kekerasan spesimen pasca proses karburisasi sebagai berikut:

Tabel 2. Rata-rata Kekerasan Spesimen

Waktu Penahanan (menit)	Kekerasan (HRA)	
	Non Cryogenic	Cryogenic
15	72,05	75,5
30	76,85	77,5
45	76,1	78,15
60	76,25	76,4
75	80,2	77,65
90	79,6	80,45


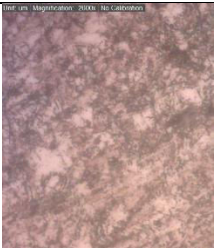


Gambar 2. Grafik Hasil Uji Kekerasan

Pada pengamatan struktur mikro, didapatkan juga struktur dan susunan kristal baja yang dihasilkan dari eksperimen di atas.

Tabel 3. Pengamatan Struktur Mikro

Gambar	Deskripsi
<p>Perbesaran: 1300 x</p>	Spesimen karburisasi 15 menit. Pada spesimen ini, terbentuk struktur ferit dan perlit. Tidak terjadi pembentukan martensit pada waktu penahanan ini, sehingga diketahui bahwa karbon yang terlarut masih rendah.
<p>Perbesaran: 2600 x</p>	Spesimen karburisasi 15 menit dan cryogenic 2 jam. Terbentuk martensit, ferit dan perlit. Pembentukan martensit pada spesimen ini menandakan adanya austenit sisa yang berubah menjadi martensit setelah perlakuan cryogenic.
<p>Perbesaran: 2600 x</p>	Spesimen karburisasi penahanan 75 menit. Pada spesimen ini dapat diketahui terbentuk ferit, perlit dan martensit. Pada waktu penahanan ini, martensit lebih mudah ditemukan.
<p>Perbesaran: 2600 x</p>	Spesimen karburisasi penahanan 75 menit dan cryogenic 2 jam. Pada spesimen ini, diketahui bahwa ferit dan perlit yang terbentuk lebih banyak dibandingkan spesimen sebelum cryogenic dengan martensit yang lebih banyak dibandingkan spesimen karburisasi

	penahanan 15 menit.
 <p>Perbesaran: 2600 x</p>	Spesimen karburisasi penahanan 90 menit. Pada spesimen ini, struktur martensit sudah muncul di beberapa bagian dan lebih sedikit pembentukan ferit dibandingkan spesimen dengan waktu penahanan yang lebih rendah, yang menandakan lebih banyak karbon yang terlarut sehingga memudahkan terbentuknya martensit.
 <p>Perbesaran: 2600 x</p>	Spesimen karburisasi penahanan 90 menit dan <i>cryogenic</i> 2 jam. Ferit yang terbentuk lebih sedikit dibandingkan spesimen karburisasi penahanan yang lebih singkat, dan martensit yang terbentuk lebih banyak dibandingkan dengan spesimen non- <i>cryogenic</i> . Hal ini menandakan adanya perubahan austenit sisa pada spesimen waktu penahanan karburisasi yang sama.

Berdasarkan tabel di atas, dapat diketahui bahwa harga kekerasan terendah pada spesimen karburisasi *non-cryogenic* adalah pada spesimen penahanan karburisasi selama 15 menit, dengan harga kekerasan 72,05 HRA dan harga kekerasan tertinggi ada pada spesimen karburisasi penahanan 75 menit dengan

harga kekerasan 80,2 HRA. Secara umum, dapat diketahui bahwa semakin lama waktu penahanan karburisasi, semakin tinggi harga kekerasan logam. Hal ini disebabkan karena pada karburisasi dengan penahanan yang lebih lama, lebih banyak karbon yang terdifusi sehingga terjadi lebih banyak pembentukan struktur perlit dan martensit dibandingkan struktur ferit. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan **Gambar 3**. nomor 2 di tabel pengamatan struktur mikro di mana struktur ferit masih dominan sementara pada gambar nomor 4 dan nomor 6 hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa struktur perlit dan struktur martensit sudah lebih dominan.

Pada spesimen karburisasi yang mengalami proses *cryogenic*, dapat diketahui bahwa secara umum spesimen memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan spesimen yang hanya menerima proses karburisasi. Hal ini disebabkan karena proses *cryogenic* menyebabkan perubahan austenit sisa menjadi martensit, yang dapat ditunjukkan pada **Gambar 3** nomor 6 dan 7 di tabel pengamatan struktur mikro. Pada gambar nomor 6 dapat dilihat adanya keberadaan martensit selain keberadaan perlit dan ferit. Akan tetapi pada gambar 7, keberadaan martensit terlihat lebih jelas. Mengingat struktur martensit hanya dapat terbentuk dari transformasi austenit, dapat diketahui bahwa austenit yang tersisa pada

proses tersebut mengalami transformasi menjadi martensit.

Untuk regresi linier proses karburisasi, dapat diketahui melalui fungsi regresi linier (sumber, www.datasciencecentral.com)

$$fHR = Bt + A$$

Sementara nilai A dan B dapat diketahui dari fungsi regresi linier sebagai berikut:

$$A = \frac{(\Sigma y * \Sigma(x^2)) - (\Sigma x * \Sigma xy)}{(n * \Sigma(x^2)) - (\Sigma x)^2}$$

$$= \frac{(4610,5 * 204750) - (3150 * 245647,5)}{(60 * 204750) - 3150^2}$$

$$= 72,04667$$

$$B = \frac{(n * \Sigma xy) - (\Sigma x * \Sigma y)}{(n * \Sigma(x^2)) - (\Sigma x)^2}$$

$$= \frac{(60 * 245647,5) - (3150 * 4610,5)}{(60 * 204750) - 3150^2}$$

$$= 0,091333$$

Diketahui:

x= waktu penahanan karburisasi (menit)

y = harga kekerasan spesimen

n = jumlah spesimen

Dari regresi linier, dapat diketahui bahwa harga kekerasan spesimen dapat dinyatakan sebagai:

$$HRA = 0,091333t + 72,04667$$

HRA = Harga kekerasan Rockwell Skala A

t = waktu penahanan karburisasi (menit)

Sementara itu, kekerasan setelah proses karburisasi dan *cryogenic* dapat dinyatakan dengan dengan fungsi yang sama:

$$A = \frac{(\Sigma y * \Sigma(x^2)) - (\Sigma x * \Sigma xy)}{(n * \Sigma(x^2)) - (\Sigma x)^2}$$

$$= \frac{(4657 * 204750) - (3150 * 246232,5)}{(60 * 204750) - 3150^2}$$

$$= 75,29667$$

$$B = \frac{(n * \Sigma xy) - (\Sigma x * \Sigma y)}{(n * \Sigma(x^2)) - (\Sigma x)^2}$$

$$= \frac{(60 * 246232,5) - (3150 * 4657)}{(60 * 204750) - 3150^2}$$

$$= 0,04419t$$

$$HRA = 0,04419t + 75,29667$$

t = waktu penahanan karburisasi (menit)

Dari kedua fungsi di atas, dapat diketahui bahwa perbedaan kekerasan setelah proses *cryogenic* berupa fungsi pengurangan polinomial yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta HRA = (0,04419t + 75,29667) - (0,091333t + 72,04667)$$

$$= 3,25 - 0,04714 t$$

Dapat diketahui bahwa proses *cryogenic* dapat meningkatkan kekerasan spesimen. Akan tetapi, peningkatan kekerasan spesimen akibat perlakuan *cryogenic* menjadi berkurang pengaruhnya pada spesimen dengan harga kekerasan yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena pada spesimen yang lebih keras



mempunyai lebih sedikit austenit sisa, sehingga tidak banyak austenit sisa yang dapat diubah menjadi martensit.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan pada proses karburisasi dengan temperatur 900 °C dan *cryogenic* selama 2 jam pada baja ST37 yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Proses karburisasi memiliki kekerasan yang dapat dinyatakan dengan fungsi:  $HRA = 0,091333t + 72, 04667$  yang menandakan bahwa semakin lama waktu penahanan karburisasi maka kekerasan spesimen semakin meningkat, yang ditunjukkan dengan lebih banyak terbentuknya martensit dan perlit dibanding ferit.
2. Proses *cryogenic* meningkatkan kekerasan spesimen karburisasi, yang dapat diketahui dengan fungsi:  $\Delta HRA = 3,25 - 0,04714t$ , yang menandakan bahwa peningkatan kekerasan akibat perlakuan *cryogenic* menjadi tidak signifikan jika dilakukan pada spesimen karburisasi yang sudah keras, yang ditunjukkan pada terbentuknya lebih banyak martensit pada spesimen *cryogenic* dibandingkan spesimen *non-cryogenic*.

## DAFTAR PUSTAKA

Black, J. T.; Kohser, Ronald A. (2012), **DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing** 11<sup>th</sup> Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.

Bramfitt, Bruce L.; Benschoter Arlan O. (2002), **Metallographer's Guide, Practices and Procedures for Iron and Steels**, ASM International

Callister, William D. (2001). **Fundamentals of Materials Science and Engineering**, 5<sup>th</sup> Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.

Hafni (2016), **Pengaruh Variasi Komposisi Arang Tempurung Kelapa dan Proses Pack Carburizing Pada Baja Karbon Rendah Ditinjau Dari Struktur Mikro**, Jurnal Momentum, Vol.18 ISSN: 1693-752X, Institut Teknologi Padang

Heru Suryanto (2007), **Pengaruh Suhu Karburasi Terhadap Ketebalan, Kekerasan dan Struktur Mikro Lapisan Karburasi Baja ST37**, Seminar Nasional Pascasarjana ITS, Vol.VII, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, Indonesia.

International Organization for Standardization (2016), **Metallic Materials – Rockwell Hardness Test**, ISO 6508 – 1

Smith, William F.; Hashemi, Javad (2001), **Foundations of Material Science and Engineering** 4<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, ISBN 0-07-295358-6