

## ANALISA KERAGAMAN NILAI KEKERASAN BAJA ST-42 MELALUI PROSES KARBURASI MENGGUNAKAN KOMPOSISI $BaCO_3$ dan CARBON DENGAN VARIASI WAKTU PENAHANAN

**Nanse H. Pattiasina**

Dosen Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ambon  
e-mail: end\_3@yahoo.co.id

**Nevada J.M. Nanulaitta**

Dosen Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ambon  
e-mail: rio\_nevada@yahoo.co.id

**Steanly R.R. Pattiselanno**

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Ambon

### ABSTRAK

*Karburasi padat merupakan suatu proses perlakuan termokimia melalui cara melarutkan karbon pada permukaan baja yang berkisar 0,3% - 0,9% pada suhu sekitar  $825^{\circ}C - 925^{\circ}C$  kemudian dipertahankan beberapa waktu pada suhu yang sama dilanjutkan proses quenching menggunakan air, oli, udara maupun larutan garam.*

*Penelitian ini menguji kualitas kekerasan logam baja karbon rendah (ST-42) sebelum dan sesudah proses karburasi padat menggunakan 40% barium karbonat ( $BaCO_3$ ) dan 60% karbon, dalam waktu penahanan 15, 30, dan 50 menit. Hasil yang diperoleh menunjukkan peningkatan nilai kekerasan tertinggi dicapai melalui kombinasi terbaik dari proses karburasi dan waktu penahanan 50 menit. Pengujian lanjutan dengan pemanasan baja selama 2 jam menunjukkan adanya peningkatan nilai kekerasan sampai 365% dari kondisi semula, sehingga membuktikan kualitas dari kombinasi kedua perlakuan terbaik tersebut.*

**Kata kunci:** karburasi padat, baja karbon rendah, waktu penahanan

### ABSTRACT

*Pack carburizing is a method of thermo chemical treatment, when carbon dissolved in steel surfaces, revolve 0.3% - 0.9% with temperature between  $825^{\circ}C - 925^{\circ}C$ , and keep it at several time and then continued with quenching process using water, oil, air or salt.*

*This research had arranged to test the hardness of low carbon steel (ST-42) with 40% of  $BaCO_3$ , and 60% of Carbon, before and after carburizing process in 3 type of holding time: 15, 30, and 50 minutes. Based on results, the best combination to reach a higher value of hardness provides by combination of after carburizing process and 50 minutes of holding time. Later, an extensive experiment by 2 hours of burning had shown an increase level of hardness up to 365% from the initial condition which proves the quality of this best treatment combination.*

**Keywords:** pack carburizing, low carbon steel, holding time

### PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu dan teknologi dewasa ini menunjukkan suatu perubahan yang signifikan dalam menunjang peradaban umat manusia. Produk industri yang dihasilkan oleh orang-orang yang berkompeten di bidangnya mendorong setiap inovasi terbaru untuk menghasilkan daya saing yang lebih kompetitif di dunia usaha saat ini. Sifat-sifat khas bahan industri yang dihasilkan dari logam perlu dilihat secara baik karena bahan tersebut pada umumnya dipergunakan untuk berbagai macam keperluan dalam berbagai keadaan, misal sifat-sifat mekanik (kekuatan, kekerasan, kekakuan, keuletan, kepekaan terhadap takikan atau kekuatan impak), sifat-sifat fisik (ukuran, massa jenis, struktur) maupun sifat-sifat teknologi (mampu mesin, mampu keras) dan lain sebagainya. Proses perlakuan panas pada logam sangatlah

bermanfaat untuk mendapatkan logam yang memiliki sifat mekanis maupun fisik yang lebih baik terutama dalam hal kekerasan, kekenyalan dan pengerjaan dari sifat asal.

Salah satu proses perlakuan panas logam adalah proses karburasi (*carburizing*) yang bertujuan meningkatkan kadar karbon pada baja. Proses pengkarbonan dilakukan untuk klasifikasi baja dengan kadar karbon di atas 0,2% melalui tahapan pemanasan bahan sampai temperatur 800-925°C dalam lingkungan yang dapat menyerahkan karbon (zat arang), kemudian dipertahankan beberapa waktu pada suhu yang sama setelah itu didinginkan menggunakan media pendingin berupa air, oli, udara maupun larutan garam.

Untuk mendapatkan baja dengan kekerasan tertentu agak sulit, dan walaupun ada harganya cukup mahal. Baja karbon rendah (ST-42) dengan kadar karbon 0,25% memiliki sifat kekerasan yang kurang baik untuk disepuh namun dapat disementir. Oleh karena itu, diperlukan penambahan karbon pada material tersebut melalui proses *carburizing*.

Dari aspek manfaat, baja merupakan logam besi yang banyak digunakan baik untuk kepentingan industri, kebutuhan rumah tangga, bidang otomotif, konstruksi bangunan atau bidang-bidang kerja lain. Dalam bidang perbengkelan sebagian besar peralatannya terbuat dari baja misal mata pahat butut, bor dan lainnya yang dalam penggunaan sehari-hari juga dapat mengalami penumpulan (keausan) atau kerusakan akibat bersentuhan dengan benda keras. Pengrajin-pengrajin tradisional (*forging*) di daerah seringkali membuat produk-produk mereka dengan menggunakan material baja yang telah mengalami proses kekerasan seperti pegas ayun mobil. Dampak dari jumlah pengrajin besi yang banyak, maka kebutuhan akan material atau bahan baku untuk diproduksi semakin meningkat, sehingga untuk mendapatkan material tersebut sangatlah terbatas dan sukar. Untuk itu diharapkan proses peningkatan kekerasan baja karbon rendah dapat menjadi salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan bahan baku bagi pengrajin besi tradisional dengan harga yang lebih murah sehingga lebih menunjang pengoperasian dan hasil produksi dengan kualitas produk yang lebih baik.

Proses penyerapan karbon dari lingkungan sekitar memerlukan waktu kurang lebih 9 jam dengan temperatur yang tinggi yaitu 900°C. Untuk mempercepat proses penyerapan karbon maka perlu dilakukan perubahan komposisi dari baja tersebut dengan menggunakan medium karburasi yang padat atau disebut *pack carburizing* dengan ditambahkan energizer/katalisator yaitu barium karbonat ( $\text{BaCO}_3$ ). Energizer/katalisator ini berfungsi mempercepat laju reaksi pengarbonan, sehingga penyerapan kadar karbon akan terjadi semakin cepat. Melalui suatu tahapan penelitian maka akan dilakukan pengujian perlakuan panas untuk jenis material baja karbon rendah (ST-42), menggunakan komposisi 40% barium karbonat ( $\text{BaCO}_3$ ) dan 60% bubuk karbon dengan waktu penahanan 15 menit, 30 menit dan 50 menit sehingga dapat diperoleh nilai kekerasannya menggunakan metode Rockwell.

Penelitian ini ditujukan untuk mengkaji dampak proses karburasi dalam durasi waktu penahanan yang berbeda terhadap tingkat kekerasan baja karbon rendah (ST-42) sebagai salah satu indikator kualitas produk tersebut.

## LANDASAN TEORI

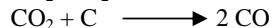
Proses perlakuan yang diterapkan untuk mengubah sifat/karakteristik logam pada permukaannya (bagian permukaan logam disebut “proses perlakuan permukaan (laku permukaan/*surface treatment*)”). Proses perlakuan permukaan dilakukan bertujuan meningkatkan ketahanan aus dengan cara memperkeras (memberikan lapisan yang keras) pada permukaan logam, meningkatkan ketahanan korosi tanpa merubah karakteristik sifat-sifat logam dan meningkatkan performance logam dari suatu komponen untuk tujuan fabrikasi.

Salah satu cara untuk memperkeras permukaan logam adalah proses pengerasan permukaan. Pengerasan permukaan pada baja meliputi:

- a. *Induction Hardening*: memanaskan permukaan baja hingga temperatur austenite sesuai kualifikasi baja tersebut, kemudian dilakukan pendinginan sehingga permukaan menjadi keras.
- b. *Thermo Chemical Treatment*: menambahkan unsur karbon ke dalam baja untuk mengeraskan bagian permukaan baja tersebut.

Untuk baja dengan kadar karbon di bawah 0,3% dapat dilakukan pengerasan permukaan dengan cara thermo chemical treatment, tanpa menimbulkan fasa martensit yang keras dan getas.

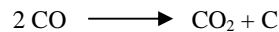
Karbon yang diperlukan dalam proses ini diperoleh dari medium yang berbentuk padat (karburasi padat), sehingga pada waktu pemanasan oksigen dari udara bereaksi dengan karbon dari medium membentuk  $\text{CO}_2$ .  $\text{CO}_2$  ini akan bereaksi dengan karbon menghasilkan persamaan:



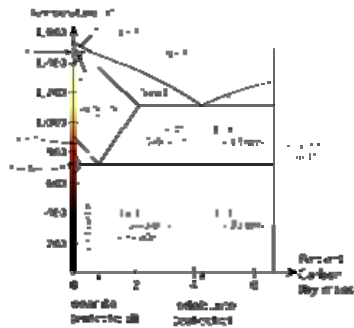


Karbon (C)

Pada proses pemanasan, temperatur akan bertambah tinggi sehingga kesetimbangan reaksi bergeser ke sebelah kanan menghasilkan kadar gas CO yang banyak. Pada permukaan baja, CO mengurai sebagai berikut:



Atom karbon yang dihasilkan dari reaksi di atas akan larut ke dalam fasa austenite dan berdifusi. Semakin tinggi suhu karburasi maka semakin tebal lapisan karburasi karena kecepatan difusi makin besar.

Diagram Fasa Fe<sub>3</sub>C

Tebal lapisan karburasi (*depth of carburization*) sangat bergantung pada faktor suhu, waktu proses, konsentrasi karbon medium dan kadar karbon yang dimiliki baja.

Unsur CO<sub>2</sub> yang dihasilkan akan bereaksi kembali dengan karbon yang terdapat pada medium diikuti penguraian CO pada permukaan logam. Untuk mempercepat reaksi kimia tersebut maka ke dalam medium ditambahkan katalisator atau activator yaitu Barium Karbonat (BaCO<sub>3</sub>).

Reaksi yang terbentuk:

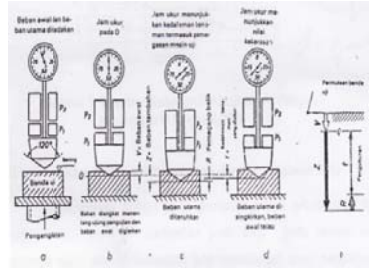
Barium Karbonat (BaCO<sub>3</sub>)

Dalam suatu proses perlakuan panas, setelah pemanasan mencapai temperatur yang ditentukan dan diberi waktu penahanan panas (*holding time*) secukupnya maka dilakukan pendinginan (*quenching*) dengan laju tertentu. Pendinginan yang dilakukan adalah langsung (*direct quenching*) dengan cara pendinginan dari medium karburasi. Struktur mikro yang terjadi setelah pendinginan akan tergantung pada laju pendinginan. Karena sifat mekanik dari baja setelah akhir suatu proses perlakuan panas akan ditentukan oleh laju pendinginan.

Proses *quench* ke dalam air sangat umum digunakan untuk mengeraskan baja dengan mampu keras yang rendah seperti baja-baja karbon, baja paduan rendah, logam-logam non ferro dan baja tahan karat. Medium oli sebagai pendingin memiliki karakteristik *quenching* yang homogen sehingga menghasilkan laju pendinginan pada tahap pembentukan lapisan uap yang terkontrol dengan baik. Faktor-faktor yang mengatur penyerapan panas dari benda kerja adalah panas spesifik, konduktivitas

termal, panas laten, penguapan dan viskositas oli yang digunakan. Makin rendah viskositas, makin cepat laju pendinginannya.

Metode uji kekerasan menggunakan cara Rockwell. Pada sebagian besar mesin, penunjuk pada dial menunjukkan kekerasan Rockwell secara langsung. Pengujian kekerasan Rockwell HRC telah terbukti sebagai cara yang paling tepat pada pengujian bahan keras berdasarkan kesederhanaannya dan kecepatan prosesnya. Cara ini sering diterapkan pada pengujian kekerasan dalam jumlah besar pada kondisi pabrik karena tingkat kekerasannya dapat dibaca langsung pada mesin uji tanpa menggunakan tabel.



Pengujian Rockwell

Permukaan benda uji harus rata dan bebas dari benda asing, pelumas, dan lainnya. Proses persiapan benda uji harus dilakukan sesuai dengan ketentuan sebab hal tersebut akan berpengaruh terhadap kondisi benda uji dan kekerasannya.

Temperatur benda uji berpengaruh terhadap sifat bahan dalam hal ini adalah ketahanan bahan tersebut untuk menahan penetrasi dan hambatan aliran bahan yang merupakan dasar pengukuran kekerasan. Untuk menghasilkan validitas pengujian yang saling dapat diperbandingkan, maka temperatur pengujian ditentukan antara 10°C sampai dengan 35°C. Temperatur yang disarankan untuk menjadi acuan adalah 23±5°C. Kecepatan pemberian beban berpengaruh terhadap sifat elastisitas bahan yang akan diuji. Waktu yang diperlukan untuk mencapai gaya pembebanan terhitung dari kondisi awal tanpa pembebanan adalah 5-8 detik.

$$\Delta \text{Nilai Kekerasan} = \text{Nilai kekerasan sesudah karburasi} - \text{Nilai kekerasan sebelum karburasi} \quad (1)$$

$$\text{Laju pengarbonan} = \frac{\Delta \text{Nilai Kekerasan}}{\text{Waktu pengarbonan}} \quad (2)$$

## METODOLOGI PENELITIAN

### Penyiapan Bahan

Bahan untuk karburasi padat dipergunakan komposisi 40% BaCO<sub>3</sub> dan 60% Karbon untuk setiap variasi waktu penahanan 15 menit, 30 menit dan 50 menit. Bahan baja ST-42 dipotong sebagai benda uji dengan dimensi panjang : 50 mm, lebar 25 mm dan tebal 5 mm berjumlah 5 buah untuk setiap variasi waktu penahanan. Selanjutnya, permukaan benda uji di amplas secara bertahap mulai dari amplas nomor 120, 220, 400, 600, 800, 1000 dan 1200, sehingga diperoleh permukaan yang bersih dan halus.

### Prosedur Pengujian

#### Proses Uji Kekerasan

1. Persiapkan anvil (landasan uji) pada dudukannya.
2. Pasangkan penetrator berbentuk piramida intan.
3. Pilih beban pada angka 150 Pa.
4. Letakan benda uji pada anvil (landasan uji).
5. Atur jarum penunjuk dan kencangkan hingga posisi jarum utama dan jarum bantu menunjukkan angka 0.
6. Tekan tombol start dan biarkan mesin berproses selama beberapa detik hingga lampu menyala.
7. Baca harga kekerasan bahan yang diuji pada dial dan angka yang ditunjukkan oleh jarum utama yang tertulis dengan tinta hitam, satuan pengukuran kekerasan adalah HRC.
8. Putar kembali handwheel perlahan-lahan ke posisi semula dan atur benda pada tempat yang belum mengalami pengujian.
9. Ulangi langkah 6 – 9 sebanyak 10 kali.
10. Catat data hasil pengukuran sebagai data nilai kekerasan.

#### Proses Karburasi

1. Persiapkan bubuk karbon dengan persentase 40% barium karbonat dan 60% bubuk karbon.

2. Masukkan barium karbonat dan bubuk karbon ke dalam kotak sementasi, kemudian aduk berulang-ulang sehingga kedua bahan katalisator tersebut tercampur secara merata.
3. Benda uji yang telah diambil nilai kekerasan awal kemudian diletakkan dalam kotak sementasi, ditimbun dengan barium dan bubuk karbon aktif seluruhnya sampai seluruh bagian benda uji tidak terlihat setelah itu kotak ditutup.
4. Masukkan kotak sementasi kedalam oven pemanas dan oven ditutup kemudian hidupkan.
5. Atur temperatur yang ingin dicapai ( $\pm 900^\circ\text{C}$ )
6. Setelah tercapai temperatur yang diinginkan dipertahankan dalam beberapa variasi waktu penahanan.
7. Keluarkan kotak sementasi dari dalam oven dan oven dimatikan, kemudian tutup kotak sementasi dibuka dan benda uji diangkat satu per satu.
8. Celupkan ke dalam media quenching (pendingin) yang telah disediakan.
9. Angkat benda uji dari media pendingin, bersihkan permukaannya dengan kain lap kemudian diamlas kembali sampai halus dan bersih.
10. Ukur nilai kekerasannya.
11. Lakukan untuk variasi waktu penahanan 15 menit, 30 menit dan 50 menit berdasarkan butir 1-10.

### ANOVA

Analisis terhadap pengaruh perlakuan proses karburasi terhadap kualitas baja karbon rendah (ST-42) dilakukan dengan cara menguji keragaman nilai kekerasan untuk setiap waktu penahanan (15, 30, atau 50 menit) pada kondisi sebelum dan sesudah proses karborasi. Uji ini menggunakan pendekatan analisis varian (ANOVA) dengan model Rancangan Acak Kelompok (RAK).

Dalam pengujian ini, proses karburasi dan waktu penahanan merupakan perlakuan (faktor), sedangkan titik uji sebagai replikasinya. Penelitian ini menggunakan model percobaan faktorial dengan 2 faktor pada rancangan acak kelompok (RAK), dimana analisisnya menggunakan bantuan SAS versi 9.

### PEMBAHASAN

Hasil analisa nilai kekerasan sebelum dan sesudah mengalami proses karburasi dengan variasi waktu penahanan, disajikan pada tabel 1 – tabel 5 dibawah ini.

Berdasarkan hasil pengujian tabel-1, untuk komposisi 40% barium karbonat dan 60% karbon dengan waktu penahanan 15 menit, sebagai berikut:

Data Input nilai kekerasan :

Sebelum Karburasi = 12.61 HRC

Sesudah Karburasi = 24.59 HRC

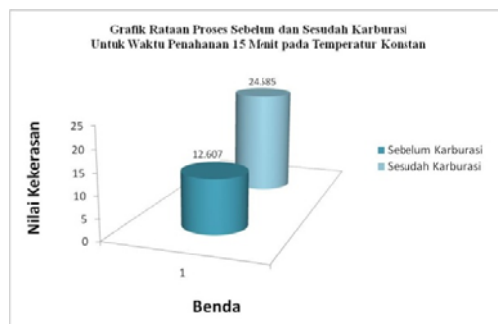
$\Delta$  Nilai kekerasan:  $24.59 - 12.61 = 11.98$  HRC

Laju pengkarbonan tiap menit :

$$\frac{\Delta \text{Nilai Kekerasan}}{\text{Waktu pengarbonan}} = \frac{11.98}{15} = 0.799 \frac{\text{HRC}}{\text{Menit}}$$

Nilai Pengujian Kekerasan untuk benda uji dengan waktu penahanan 15 menit

No	Titik Uji	Nilai kekerasan Sebelum Karburasi	Nilai kekerasan Sesudah Karburasi
1	I	10.7	23.65
2	II	11.1	23.15
3	III	13.75	24.1
4	IV	9.74	24.6
5	V	13.25	29
6	VI	14.05	22.2
7	VII	16.33	28.9
8	VIII	14.5	21.1
9	IX	11.5	27.4
10	X	11.15	21.75
<b>Rata-Rata</b>		<b>12.61</b>	<b>24.59</b>



Nilai kekerasan untuk waktu penahanan 15 menit

Berdasarkan hasil pengujian tabel-2, untuk komposisi 40% barium karbonat dan 60% karbon dengan waktu penahanan 30 menit, sebagai berikut:

Data Input nilai kekerasan :

Sebelum Karburasi = 12.98 HRC

Sesudah Karburasi = 29.72 HRC

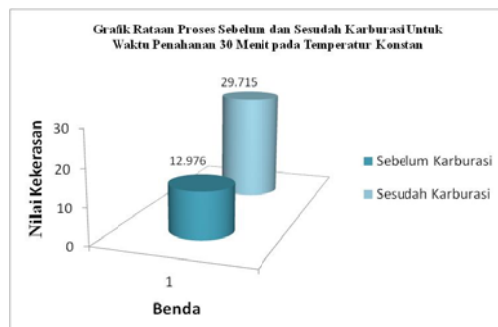
$\Delta$  Nilai kekerasan = 29.72 - 12.98 = 16.74 HRC

Laju pengkarbonan tiap menit :

$$\frac{\Delta \text{ Nilai Kekerasan}}{\text{Waktu pengarbonan}} = \frac{16.74}{30} = 0.558 \frac{\text{HRC}}{\text{Menit}}$$

Nilai Pengujian Kekerasan untuk benda uji dengan waktu penahanan 30 menit

No	Titik Uji	Nilai Kekerasan Sebelum Karburasi	Nilai Kekerasan Sesudah Karburasi
1	I	18.75	42.2
2	II	17.65	46.2
3	III	13.92	36.15
4	IV	17	31.4
5	V	5.9	23.35
6	VI	11.45	29.3
7	VII	10.85	25.8
8	VIII	13.1	23.6
9	IX	7.74	19.15
10	X	13.4	20
<b>Rata-Rata</b>		<b>12.98</b>	<b>29.72</b>



Nilai kekerasan untuk waktu penahanan 30 menit

Nilai Pengujian Kekerasan untuk benda uji dengan waktu penahanan 50 menit

No	Titik Uji	Nilai Kekerasan Sebelum Karburasi	Nilai Kekerasan Sesudah Karburasi
1	I	11,4	58,15
2	II	14,9	59,1
3	III	13,2	36,1
4	IV	7,3	42,3
5	V	13,2	38,1
6	VI	9,5	31,8
7	VII	18	64,45
8	VIII	17,2	60,5
9	IX	12,5	48
10	X	11	29,4
<b>Rata-Rata</b>		<b>12,82</b>	<b>46,79</b>

Berdasarkan hasil pengujian tabel-3, untuk komposisi 40% barium karbonat dan 60% karbon dengan waktu penahanan 50 menit, sebagai berikut:

Data Input nilai kekerasan :

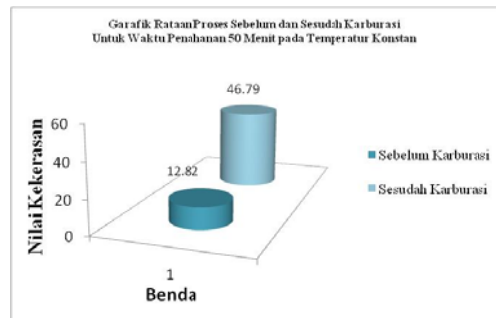
Sebelum Karburasi =12.82 HRC

Sesudah Karburasi = 46.79 HRC

Δ Nilai kekerasan = 46.79 - 12.82 =33.97 HRC

Laju pengkarbonan tiap menit :

$$\frac{\Delta \text{Nilai Kekerasan}}{\text{Waktu pengkarbonan}} = \frac{33,97}{50} = 0,679 \frac{\text{HRC}}{\text{Menit}}$$



Nilai kekerasan untuk waktu penahanan 50 menit

The ANOVA Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
W	3	W1 W2 W3
K	2	K1 K2
W*K	6	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Number of observations = 60

The ANOVA Procedure

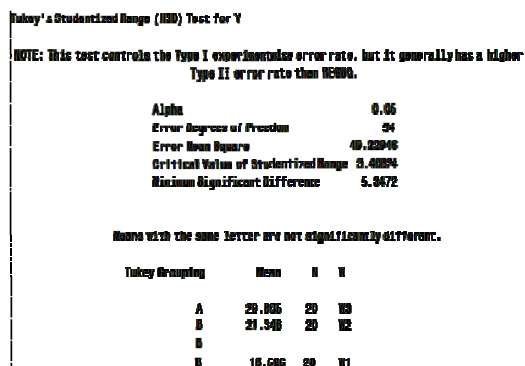
Dependent Variable: Y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	4	9259.23467	2314.80867	37.58	<.0001
Error	56	2026.90076	36.21251		
Corrected Total	60	11286.13544			

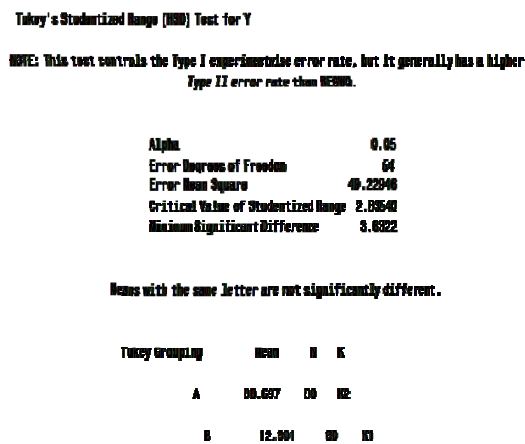
R-Square	Coeff Var	Root MSE	Y Mean
0.778824	30.17946	7.016371	23.24863

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
W	2	1365.087143	682.543572	18.88	<.0001
K	1	8548.453282	8548.453282	139.04	<.0001
W*K	2	1393.704249	696.852122	18.89	<.0001

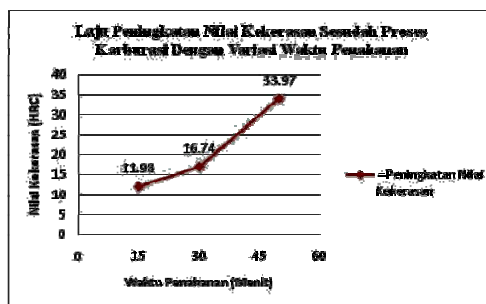
Pemeriksaan terhadap distribusi nilai kekerasan menunjukkan adanya keragaman nilai setelah dikenakan perlakuan. Berdasarkan output SAS diatas, proses karborasi (K) signifikan mampu meningkatkan level kekerasan besi karbon ST-42 dibandingkan sebelum proses tersebut. Hal ini juga selaras dengan dampak dari perlakuan waktu penahanan (W). Bahkan kombinasi kedua perlakuan ini (W\*K) juga menyajikan pola peningkatan yang sama.



Untuk mendapatkan peningkatan yang lebih nyata, maka diperlukan jarak yang cukup lebar antar waktu penahanan. Perbedaan nilai kekerasan yang dihasilkan pada waktu penahanan 15 dan 30 menit tidak berbeda nyata dibandingkan peningkatannya pada waktu 50 menit.



Hasil perpaduan antar kedua perlakuan itu menunjukkan adanya peningkatan nilai kekerasan yang sangat nyata yang diperoleh ketika secara bersamaan besi baja ST-42 mengalami proses karborasi (K2) dan diberi waktu penahanan selama 50 menit (W3) dengan hasil 33.97 HRC dibandingkan variasi waktu 15 menit dan 30 menit yaitu 11.98 HRC dan 16.74 HRC.



Grafik Laju Peningkatan Nilai Kekerasan Sesudah Proses Karborasi Dengan Variasi Waktu Penahanan



Pemanasan material selama 2 jam untuk proses difusi karbon dengan waktu penahanan 50 menit mampu meningkatkan nilai kekerasan baja karbon ST-42 sampai 365%. Hal ini mendukung hasil analisis sebelumnya diatas dan menyatakan K2 dan W3 sebagai kombinasi perlakuan terbaik

#### **KESIMPULAN**

Hasil penelitian ini menyatakan bahwa kombinasi karburasi padat (*pack carburizing*, komposisi 40% BaCO<sub>3</sub> dan 60 %) dan waktu penahanan yang lebih lama cenderung lebih efektif untuk meningkatkan tingkat kekerasan baja karbon rendah (ST-42) dibandingkan dengan tanpa proses karborasi dan/atau waktu penahanan yang lebih singkat

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Beumer, B. J. M., 1994., "**Ilmu Bahan Logam**", Bhratara., Jakarta
- Boyer, H. E., 2002., "**Practical Heat Treating, American Society for Metal**", ASM International
- Mattjik, A. A. dan Sumertajaya, I M., 2002, Perancangan percobaan dengan aplikasi SAS dan Minitab, Jilid I, Edisi Ke-dua, Jurusan Statistika FMIPA IPB, Bogor
- Purwadi, W. dan Hanaldi, K., 1999, "**Modul Pengujian Bahan**", Politeknik Manufaktur Bandung, Bandung
- Schonmetz., A., dan Gruber, K, 1990, "**Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam**", Angkasa., Bandung
- Suratman, R., 2004., "**Panduan proses Perlakuan Panas**", Lembaga penelitian Institut Teknologi Bandung., Bandung
- Surdia, T. dan Saito, S., 2005., "**Pengetahuan Bahan Teknik**", Pradnya Paramitha., Jakarta

