

# **Analisa Pengaruh Temperatur dan Waktu Pemanasan, serta Cara Pendinginan pada Proses *Carburizing* Terhadap Kekerasan Baja Karbon Rendah**

**Ninda Noviatiningrum<sup>1</sup>, Pranowo Sidi<sup>2</sup>, dan Hendri Budi K<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

<sup>3</sup>Dosen Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

Email: ninda.noviatiningrum@yahoo.co.id

## **Abstrak**

*Jika dilihat seksama, segala kebutuhan manusia tidak lepas dari unsur logam. Karena hampir semua alat yang digunakan manusia terbuat dari unsur logam. Di mana aplikasinya digunakan pada alat-alat potong, alat-alat pahat, roda gigi, atau kontruksi mesin yang sering mengalami kontak antara bahan satu dengan bahan lainnya. Muncul usaha manusia untuk memperbaiki sifat mekanik dan sifat fisik dari logam tersebut. Salah satu sifat mekanik dari logam yaitu kekerasan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter proses carburizing terhadap kekerasan baja karbon rendah.*

*Carburizing adalah suatu proses penambahan kandungan unsur karbon pada permukaan baja. Baja yang dikarburisasi adalah baja karbon rendah dengan kandungan kurang dari 2% dan dilakukan dengan memanaskan baja disekitar temperatur transformasi austenit antara (816-983)°C tergantung kadar karbon (C) material. Pada penelitian ini menggunakan metode carburizing padat (pack carburizing). Serta, analisa data penelitian dengan menggunakan metode Taguchi.*

*Dari penelitian ini, diperoleh nilai kekerasan yang tertinggi sebesar 919,4520 HV dan 910,62 HV pada eksperimen ke 7 dengan temperatur pemanasan 850°C, waktu pemanasan 2 jam, dan cara pendinginan dengan double quenching. Selain itu menurut analisa dan pengolahan data menggunakan metode Taguchi, parameter yang optimal dalam proses carburizing ini yaitu temperatur pemanasan 800°C dan cara pendinginan dengan double quenching.*

**Kata kunci:** *carburizing, kekerasan, metode Taguchi, pack carburizing, sifat mekanik*

## **1. PENDAHULUAN**

Segala kebutuhan manusia tidak lepas dari unsur logam. Karena hampir semua alat yang digunakan manusia terbuat dari unsur logam. Logam mempunyai peranan aktif dalam kehidupan manusia dan menunjang teknologi di jaman sekarang. Di mana aplikasinya digunakan pada alat-alat potong, alat-alat pahat, roda gigi, atau kontruksi mesin yang sering mengalami kontak antara bahan satu dengan bahan lainnya. Oleh sebab itu, muncul usaha manusia untuk memperbaiki sifat mekanik dan sifat fisik dari logam tersebut. Salah satu sifat mekanik dari logam yaitu kekerasan. Sedangkan sifat fisiknya yaitu dimensi, konduktivitas listrik, struktur mikro, densitas, dan lain-lain. Karena banyaknya kebutuhan yang bermacam-macam maka diadakan pemilihan bahan. Pemilihan bahan tersebut dapat dipersempit sesuai kegunaannya, seperti pada baja karbon. Baja karbon mudah diperoleh, mudah dibentuk atau sifat permesinannya baik, dan harganya relatif murah. Karena baja karbon mendapat prioritas utama maka dituntut untuk memodifikasi atau memperbaiki sifatnya seperti kekerasan pada permukaannya. Karena hal tersebut maka perlu diadakan proses perlakuan panas guna menambah kekerasan dari bahan tersebut.

Nanulaitta (2011) dalam penelitian “Analisa nilai kekerasan baja karbon rendah (S35C) dengan pengaruh waktu penahanan (*holdind time*) melalui proses pengarbonan padat (*pack carburizing*) dengan pemanfaatan cangkang kerang sebagai katalisator”, menyimpulkan bahwa laju penyerapan karbon paling cepat terjadi pada pada proses dengan waktu penahanan 45 menit dengan komposisi dari 1 kg campuran yang terdiri 60% karbon (arang kayu nani) dan 40% cangkang kerang ( $\text{CaCO}_3$ ) yaitu sebesar 123,38 HRC. Arma, dkk (2012) dalam penelitian “Pengerasan baja ST 37 dengan metode *carburizing* menggunakan arang limbah kelapa sawit sebagai bahan *carburizing* padat”, menyimpulkan bahwa temperatur terbaik untuk *carburizing* menggunakan limbah arang kelapa sawit adalah 900°C dengan waktu tahan 2 jam menghasilkan kekerasan maksimum 37 HRC. Zuchry (2011) dalam penelitian “Pengaruh suhu *carburizing* dan waktu tahan terhadap kekuatan tarik baja karbon dengan variasi media pendingin”, menyimpulkan bahwa proses *carburizing* mempengaruhi kekuatan tarik spesimen, dimana semakin tinggi suhu *carburizing* yang diberikan akan menurunkan kekuatan tarik spesimen tersebut. Kemungkinan ini terjadi karena proses pengarbonan pada suhu yang lebih tinggi menjadikan spesimen tersebut menjadi getas. Kuswanto (2010) dalam “Perlakuan *pack carburizing* pada baja karbon rendah sebagai material alternative untuk pisau potong pada penerapan teknologi tepat guna”, menyimpulkan bahwa telah terjadi difusi atom karbon (C) ke dalam struktur baja. Hal ini ditunjukkan dengan adanya kenaikan pada kekerasan permukaan material dan terlihat pada gambar struktur mikro. Dengan demikian baja karbon rendah setelah diproses *pack carburizing* mempunyai potensi untuk dikeraskan. Oleh sebab itu, penelitian ini disusun untuk mengidentifikasi pengaruh parameter pada proses *carburizing* seperti temperatur pemanasan, waktu pemanasan, dan cara pendinginan yang optimal terhadap kekerasan baja karbon rendah. Apabila baja karbon rendah yang telah melewati proses *carburizing* dapat menjadi material alternatif dan untuk meminimalisir pengeluaran pada saat proses produksi.

## 2. METODOLOGI

- Pembuatan spesimen. Dalam penelitian ini material dibentuk terlebih dahulu dengan ukuran 30 x 30 x 12 mm dengan menggunakan wire cut.
- Pengujian struktur mikro. Dalam pengujian struktur mikro dilakukan sebanyak 3 kali pengujian yaitu sebelum proses *carburizing*, setelah proses *carburizing*, dan pada saat pengujian konfirmasi. Untuk jumlah spesimen yang akan di uji struktur mikro sebanyak 11 spesimen, yaitu 1 spesimen untuk sebelum proses *carburizing*, 9 spesimen untuk setelah proses *carburizing*, dan 1 spesimen untuk pengujian konfirmasi. Larutan yang digunakan untuk etsa adalah 2%  $\text{HNO}_3$  dan 98% alkohol 96%.
- Pengujian komposisi kimia. Dalam pengujian komposisi kimia dilakukan sebanyak 3 kali pengujian yaitu spesimen sebelum proses *carburizing*, spesimen dengan nilai kekerasan yang tertinggi dan spesimen pengujian konfirmasi menggunakan alat spectro.
- Pengujian *hardness*. Dalam pengujian *hardness* ini menggunakan metode Vickers. Dilakukan sebanyak 3 kali pengujian yaitu sebelum proses *carburizing*, setelah proses *carburizing*, dan pada saat pengujian konfirmasi. Untuk jumlah spesimen yang akan di uji *hardness* sebanyak 31 spesimen, yaitu 1 spesimen untuk sebelum proses *carburizing*, 18 spesimen untuk setelah proses *carburizing*, dan 2 spesimen untuk pengujian konfirmasi. Untuk pengujian kali ini menggunakan beban 0.5 kgf dengan dwell time-nya 15 detik.
- Proses *carburizing*. Menurut perhitungan matrik orthogonal, perlakuan yang akan dilakukan pada proses *carburizing* sebanyak 9 kali dengan 2 kali replikasi. Sehingga banyaknya spesimen uji adalah 27 spesimen. Bahan yang digunakan adalah campuran 96% karbon arang batok kelapa dengan 4%  $\text{BaCO}_3$ .

Dalam penelitian ini pengolahan dan analisa data menggunakan metode Taguchi. hal pertama yang harus dilakukan adalah menentukan derajat kebebasan. Derajat kebebasan adalah sebuah konsep yang mendiskripsikan seberapa besar eksperimen yang mesti dilakukan dan seberapa banyak informasi yang didapatkan dari eksperimen tersebut. Derajat kebebasan merupakan suatu konsep yang sangat tepat dalam menentukan banyaknya faktor dan levelnya dan sangat membantu dalam menentukan dan mendesain matriks orthogonal. Dalam memilih matriks orthogonal yang cocok

atau sesuai, diperlukan suatu persamaan dari matriks orthogonal tersebut yang mempresentasikan jumlah faktor, jumlah level dan jumlah pengamatan yang akan dilakukan. Bentuk umum dari model matriks orthogonal adalah :

$$La (b^c) \dots\dots\dots (4)$$

Analisa varians dua arah pada metode Taguchi adalah data eksperimen yang terdiri dari dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih. Analisa varians terdiri dari jumlah kuadrat total ( $SS_T$ ), jumlah kuadrat karena rata-rata (*mean*) ( $SS_m$ ), jumlah kuadrat faktor A ( $SS_A$ ), dan jumlah kuadrat error ( $SS_e$ )

$$SS_T = \sum y^2 \dots\dots\dots(5)$$

$$SS_m = n\bar{y}^2 \dots\dots\dots(6)$$

$$SS_A = \frac{[Total A_1]^2}{n_1} + \frac{[Total A_2]^2}{n_2} + \frac{[Total]^2}{N} \dots\dots\dots(7)$$

Untuk penelitian ini terdapat 3 faktor sehingga perhitungan SS harus mencakup 3 faktor tersebut ( $SS_B$  dan  $SS_C$ )

$$SS_e = SS_T - SS_m - SS_A - SS_B - SS_C \dots\dots\dots(9)$$

Rasio S/N diformulasikan sedemikian hingga penelitian selalu dapat memilih nilai level faktor terbesar untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari eksperimen. Jadi, metode perhitungan rasio S/N tergantung pada karakteristik kualitas, apakah responnya semakin kecil, semakin baik; semakin besar, semakin baik; atau tertuju pada nilai tertentu. Pada penelitian ini menggunakan karakteristik kualitas semakin besar semakin baik. Berikut persamaannya :

$$\begin{aligned} \eta &= -10 \log_{10}[MSD] \\ &= -10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \dots\dots\dots(10) \end{aligned}$$

Eksperimen konfirmasi digunakan untuk verifikasi bahwa rata-rata yang ditaksir untuk faktor dan level yang telah dipilih dari eksperimen matriks orthogonal adalah valid. Sehingga terlalu sedikit contoh yang diambil akan sulit untuk menentukan validasi dari rata-rata yang diperkirakan. Rumusnya adalah sebagai berikut :

$$Cl = \sqrt{F_{\alpha, v_1, v_2} \times MSe \times \left( \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)} \dots\dots\dots (11)$$

$$n_{eff} = \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{\text{jumlah derajat kebebasan}} \dots\dots\dots (12)$$

### 3. HASIL ADAN PEMBAHASAN

Salah satu jenis matriks orthogonal dalam metode Taguchi yang tepat untuk 3 faktor dan 3 level adalah  $L_9(3^3)$ . Di mana L : rancangan bunjursangkar latin, 9 : banyaknya baris atau eksperimen, 3 : banyaknya level, dan 3 : banyaknya kolom atau faktor.

**Tabel 1.** Hasil Uji Kekerasan dalam matriks Orthogonal

Matriks Orthogonal $L_9(3^3)$				Replikasi	
Eksperimen	A	B	C	1 ( $Y_1$ )	2 ( $Y_2$ )
1	700° C	2 jam	<i>direct quenching</i>	158,74 0	156,92 0
2	700° C	3 jam	<i>Normal cooling</i>	152,40 0	154,98 0
3	700° C	4 jam	<i>double quenching</i>	284,66 0	284,79 8
4	800° C	2 jam	<i>Normal cooling</i>	232,24 8	235,84 6
5	800° C	3 jam	<i>double quenching</i>	861,14 0	838,50 0
6	800° C	4 jam	<i>direct quenching</i>	714,34 6	789,50 4
7	850° C	2 jam	<i>double quenching</i>	919,45 2	910,62 0
8	850° C	3 jam	<i>direct quenching</i>	494,78 2	528,88 4
9	850° C	4 jam	<i>Normal cooling</i>	282,03 8	281,02 4

Rasio S/N digunakan untuk memilih faktor-faktor mana yang memiliki pengaruh terhadap variasi eksperimen pada suatu respon. Nilai rasio S/N dihitung pada setiap masing-masing respon. Karakteristik rasio S/N yang digunakan untuk respon nilai kekerasan adalah semakin besar, semakin baik dengan input  $Y_1$  dan  $Y_2$  pada Tabel 1 sehingga nilai rasio S/N diperoleh dari persamaan 10 sebagai berikut : eksperimen 1  $A_1B_1C_1$

$$\begin{aligned} \eta &= -10 \log_{10}[MSD] \\ &= -10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \\ &= -10 \log_{10} \left( \frac{1}{2} \left( \frac{1}{158,74^2} + \frac{1}{156,92^2} \right) \right) \\ &= 43,9634 \end{aligned}$$

Setelah nilai rasio S/N didapat berupa ( $X_o$ ) maka nilai rasio S/N ( $X_o$ ) akan dilanjutkan sebagai data dalam pengerjaan metode Annova. Dari hasil perhitungan rasio S/N manual dibandingkan dengan perhitungan Rasio S/N minitab, hasil perhitungan menunjukkan hasil yang sama (lihat Tabel 2).

**Tabel 2.** Nilai Rasio S/N Perhitungan Manual dan Minitab

No	Eksperimen	Rasio S/N	
		Manual	Minitab
1	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	43,9634	43,9634
2	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	43,7320	43,7320
3	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	49,0886	49,0886
4	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	47,3853	47,3853
5	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	58,5842	58,5842
6	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	57,4909	57,4909
7	A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>3</sub>	59,2285	59,2285
8	A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	54,1681	54,1681
9	A <sub>3</sub> B <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	48,9905	48,9905

**Tabel 3.** Pengaruh Level dari Faktor Terhadap Respon Rasio S/N (Nilai Kekerasan)

Level	Faktor		
	A	B	C
1	45,5947	50,1924	51,8741
2	54,4868	52,1614	46,7026
3	54,1290	51,8547	55,6338
Selisih	8,8922	1,9691	8,9312
Rangking	2	3	1

Respon rasio S/N dicari untuk masing-masing respon sehingga didapatkan hasil pengaruh level dari faktor yang digunakan untuk setiap respon. Cara menghitungnya adalah dengan penjumlahan rata-rata faktor pada tiap-tiap level. Untuk mengetahui pengaruh level dari faktor masing-masing respon dapat ditunjukkan pada Tabel 3 di atas.

Untuk mengetahui level dan faktor yang signifikan dari parameter yang digunakan dalam eksperimen, maka Anova dilakukan untuk setiap respon yang diteliti. Dalam perhitungan Anova terdapat *sum of square*, *degree of freedom*, *mean of square*, dan F hitung. Semua elemen perhitungan tersebut berguna untuk menentukan faktor yang paling berpengaruh terhadap respon yang diamati. Semua elemen perhitungan tersebut dihitung pada faktor dan level masing-masing. Setelah semua perhitungan yang diperlukan sudah lengkap, maka berikut ini adalah tabel anova yang ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Anova

Source of Varians	Degree of freedom (df)	Sum of Square (SS)	Mean of Square (MS)	F hitung
A	2	152,0336	76,0168	7,7536
B	2	6,7401	3,3700	0,3437
C	2	120,6458	60,3229	6,1528
Error	2	19,5834	9,8041	-
Total	8	298,0277	-	-

F tabel pada penelitian ini menggunakan tingkat kepercayaan 95% sehingga tabel probabilitas (alpha) sebesar 0,05 dengan  $df_1 = 4-1 = 3$  dan  $df_2 = 9-4 = 5$ , sehingga didapatkan nilai F tabel 5,409451. Setelah mendapatkan nilai F tabel maka langkah selanjutnya uji hipotesa dengan cara Fhitung dibandingkan dengan Ftabel. Apabila Fhitung lebih besar daripada Ftabel maka ada

pengaruh pada faktor yang dituju. Sedangkan apabila nilai Fhitung lebih kecil daripada Ftabel maka tidak ada pengaruh pada faktor yang dituju. Telah diketahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap rasio S/N nilai kekerasan optimum dari perhitungan sebelumnya yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan uji hipotesa sebelumnya adalah

- a. Faktor A level 2 (temperatur pemanasan 800°C)
- b. Faktor C level 3 (cara pendinginan *double quenching*)

Nilai yang digunakan untuk menghitung prediksi rasio S/N yang optimal adalah Y yang merupakan nilai rata-rata nilai rasio S/N pada faktor A<sub>2</sub> dan C<sub>3</sub>.

$$\begin{aligned} \mu \text{ prediksi} &= Y + (A_2 - Y) + (C_3 - Y) \\ &= 55,0603 + (54,4868 - 55,0603) + (55,6338 - 55,0603) \\ &= 55,0603 \end{aligned}$$

Eksperimen konfirmasi dilakukan berdasarkan hasil dari eksperimen sebelumnya. Eksperimen ini bertujuan untuk membuktikan hasil yang didapat sebelumnya. Pada eksperimen konfirmasi, faktor dan level ditetapkan seperti faktor dan level pada kondisi optimal yaitu faktor A<sub>2</sub> temperatur pemanasan 800°C dan faktor C<sub>3</sub> cara pendinginan *double quenching*. Untuk konfirmasi diambil 4 spesimen dengan level pada kondisi yang optimum. Sama dengan cara penelitian sebelumnya, setiap spesimen diambil 5 titik uji dan kemudian hasilnya dirata-rata. Berikut hasil dari eksperimen konfirmasi :

**Tabel 5.** Hasil dari Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen	Eksperimen Konfirmasi		Replikasi	
	A	C	1	2
1	800°C	<i>Double quenching</i>	836,442	849,514

$$\begin{aligned} \eta &= -10 \log_{10}[MSD] \\ &= -10 \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \\ &= -10 \log_{10} \left( \frac{1}{2} \left( \frac{1}{836,442^2} + \frac{1}{849,514^2} \right) \right) \\ &= 58,5155 \end{aligned}$$

Interval kepercayaan digunakan untuk menentukan interval nilai toleransi yang mampu dicapai pada eksperimen dengan kombinasi faktor dan level yang optimum. Nilai interval kepercayaan dihitung dengan terlebih dahulu mencari nilai F tabel dan df error. Tingkat kepercayaan yang digunakan adalah 95%, sehingga didapatkan nilai F tabel adalah  $F_{(0,05;3;5)}$  adalah 5,409451. Berdasarkan hasil pada Tabel 4, diketahui nilai MS<sub>e</sub> adalah 9,8041. Berikut perhitungannya

$$\begin{aligned} n_{\text{eff}} &= \frac{\text{jumlah total eksperimen}}{1 + \text{jumlah derajat kebebasan perkiraan rata - rata}} \\ &= \frac{9 \times 2}{1 + (2 + 2 + 2)} \\ &= 2,5714 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cl &= \pm \sqrt{F_{(0,05;3;5)} \times MS_e \times \frac{1}{n_{eff}}} \\
 &= \pm \sqrt{5,409451 \times 9,8041 \times \frac{1}{2,5714}} \\
 &= \pm 4,5414
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \mu_{prediks} - CI & \leq & \mu_{prediks} & \leq & \mu_{prediks} + CI \\
 55,0603 - 4,5414 & \leq & 55,0603 & \leq & 55,0603 + 4,5414 \\
 50,5189 & \leq & 55,0603 & \leq & 59,6017
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 Cl &= \pm \sqrt{F_{(0,05;3;5)} \times MS_e \times \left[ \frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]} \\
 &= \pm \sqrt{5,409451 \times 9,8041 \times \left[ \frac{1}{2,5714} + \frac{1}{2} \right]} \\
 &= \pm 6,8660
 \end{aligned}$$

Interval kepercayaan untuk variabilitas adalah

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Rasio S/N konfrimasi} - CI & \leq & \text{Rasio S/N konfrimasi} & \leq & \text{Rasio S/N konfrimasi} + CI \\
 58,5155 - 6,8660 & \leq & 58,5155 & \leq & 58,5155 + 6,8660 \\
 51,6491 & \leq & 58,5155 & \leq & 65,3815
 \end{array}$$

Berdasarkan pada hasil yang telah didapat pada analisa di atas, kombinasi yang optimal adalah pada temperatur pemanasan (faktor A pada level 2) 800°C, dan cara pendinginan (faktor C pada level 3) *double quenching*. Dengan menggunakan interval kepercayaan 95% maka interval kepercayaan eksperimen Taguchi beririsan dengan interval kepercayaan eksperimen konfirmasi. Untuk perbandingan nilai interval kepercayaan ditunjukkan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Perbandingan Nilai Interval Kepercayaan

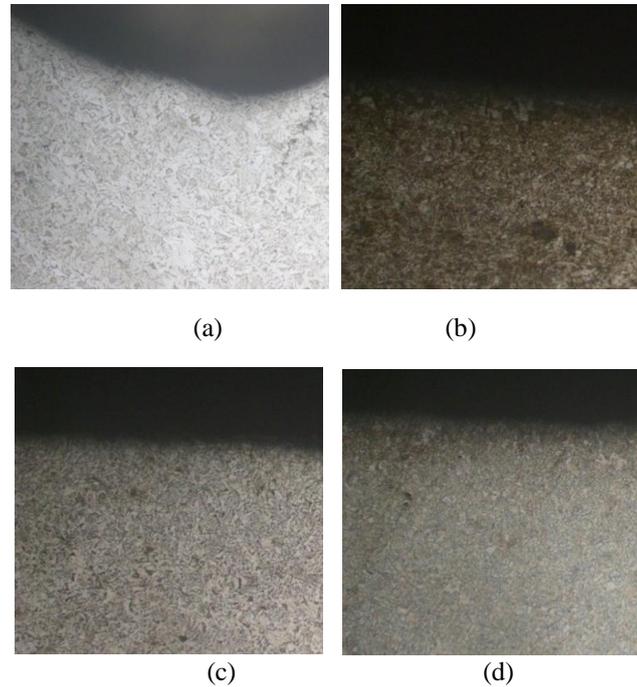
Respon (nilai kekerasan)	Prediksi	Optimasi
Eksperimen Taguchi	55,0603	55,0603±4,5414
Eksperimen konfirmasi	58,5155	58,5155±6,8660

Berdasarkan perbandingan yang ditunjukkan pada Tabel 6 didapatkan nilai eksperimen Taguchi dan nilai eksperimen konfirmasi mengalami peningkatan pada variabilitasnya. Dengan demikian kombinasi optimal faktor-faktor tersebut di atas terbukti dapat meningkatkan nilai kekerasan baja karbon rendah.

Data teknik (pendukung) merupakan data yang mendukung semua hasil pengujian kekerasan pada penelitian ini. Data teknik (pendukung) pada penelitian ini berupa data hasil pengujian mikrostruktur untuk melihat kedalaman masuknya karbon di material. Selain itu, pengujian komposisi kimia untuk mengetahui kadar karbon dari material tersebut.

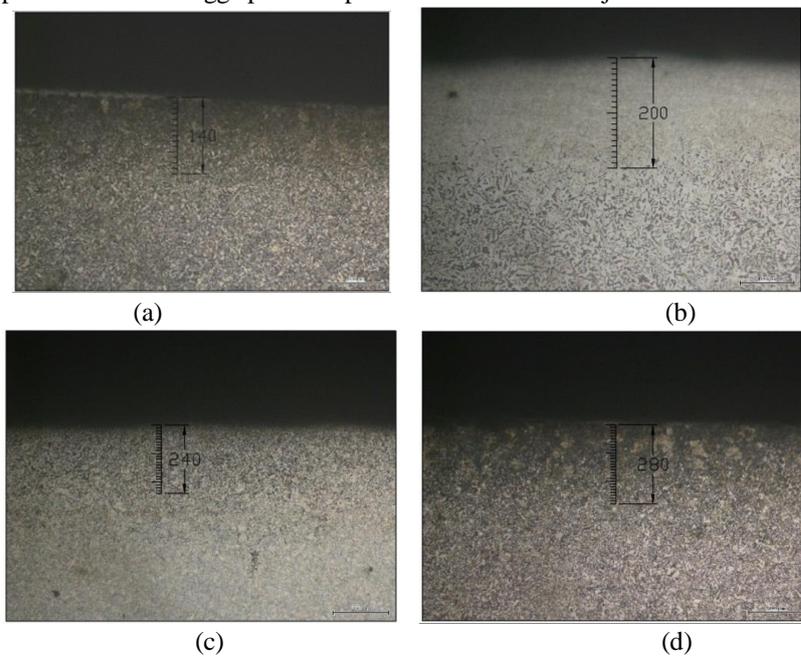
a. Uji struktur mikro. Dalam penelitian ini juga didukung dengan hasil uji struktur mikro. Pengujian tersebut digunakan untuk mengetahui seberapa dalam penyerapan karbon dalam material uji. Dalam uji struktur mikro ini tidak membahas tentang struktur fase dari material *carburizing*. Hasil uji struktur mikro ini berupa gambar-gambar struktur mikro eksperimen 0 sampai eksperimen 9. Eksperimen 0 adalah material uji yang belum dilakukan perlakuan

*carburizing*. Perbesaran dari pengujian ini ada 2 yaitu 100x dan 200x. Setelah mendapatkan hasil uji struktur mikro seperti di atas, maka selanjutnya mengukur kedalaman masuknya karbon pada material uji. Pengukuran menggunakan software AutoCAD. Berikut hasilnya:



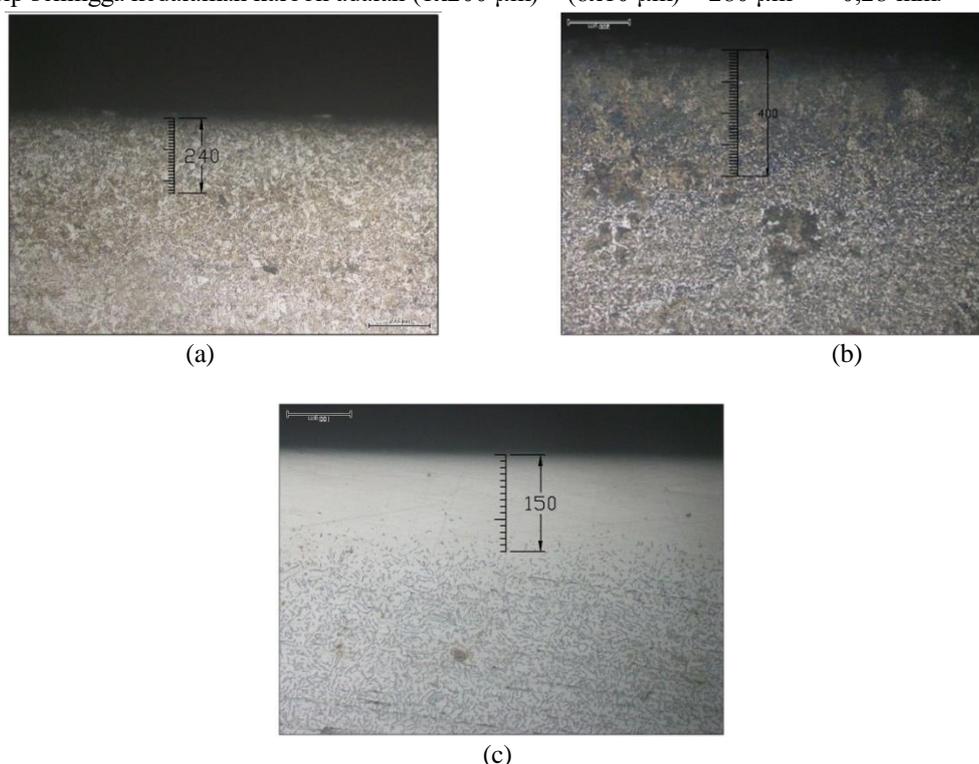
**Gambar 1.** Hasil Uji Struktur Mikro Sebelum di *Carburizing* (a), Eksperimen 1 (b), Eksperimen 2 (c), dan Eksperimen 3 (d)

Dalam Gambar 1(a) bisa dilihat tidak ada karbon yang masuk ke dalam material dikarenakan belum terjadi perlakuan *carburizing*. Kemudian, pada Gambar 1(b,c, dan d), di atas tidak terlihat adanya karbon yang masuk ke dalam material uji. Hal tersebut terjadi karena pada eksperimen 1, 2, dan 3 menggunakan temperatur pemanasan 700°C. Dalam diagram fasa, temperatur tersebut di bawah temperatur kritis sehingga pada temperatur 700°C belum terjadi perubahan fasa.



**Gambar 2.** Hasil Uji Struktur Mikro Eksperimen 4 (a), Eksperimen 5 (b), Eksperimen 6 (c), dan Eksperimen 7 (d)

Pada Gambar 2(a), di atas terlihat adanya karbon yang masuk ke dalam material uji. Pengambilan gambar eksperimen 4 di atas menggunakan perbesaran 100x dengan panjang 1 garisnya adalah 100  $\mu\text{m}$ , setiap garis ada 10 strip dengan panjang 10  $\mu\text{m}$ . Pada Gambar 2(a) terdapat 1 garis dan 4 strip sehingga kedalaman karbon adalah  $(1 \times 100\mu\text{m}) + (4 \times 10\mu\text{m}) = 140 \mu\text{m} = \pm 0,14 \text{ mm}$ . Pada Gambar 2(b), di atas terlihat adanya karbon yang masuk ke dalam material uji. Pengambilan gambar eksperimen 5 di atas menggunakan perbesaran 100x dengan panjang 1 garisnya adalah 100  $\mu\text{m}$ , setiap garis ada 10 strip dengan panjang 10  $\mu\text{m}$ . Pada Gambar 2(b) terdapat 2 garis sehingga kedalaman karbon adalah  $2 \times 100 \mu\text{m} = 200 \mu\text{m} = \pm 0,20 \text{ mm}$ . Pada Gambar 2(c), di atas terlihat adanya karbon yang masuk ke dalam material uji. Pengambilan gambar eksperimen 6 di atas menggunakan perbesaran 200x dengan panjang 1 garisnya adalah 200  $\mu\text{m}$ , setiap garis ada 20 strip dengan panjang 10  $\mu\text{m}$ . Pada Gambar 2(c) terdapat 1 garis dan 4 strip sehingga kedalaman karbon adalah  $(1 \times 200 \mu\text{m}) + (4 \times 10 \mu\text{m}) = 240 \mu\text{m} = \pm 0,24 \text{ mm}$ . Pada Gambar 2(d), di atas terlihat adanya karbon yang masuk ke dalam material uji. Pengambilan gambar eksperimen 7 di atas menggunakan perbesaran 200x dengan panjang 1 garisnya adalah 200  $\mu\text{m}$ , setiap garis ada 20 strip dengan panjang 10  $\mu\text{m}$ . Pada Gambar 2(d) terdapat 1 garis dan 8 strip sehingga kedalaman karbon adalah  $(1 \times 200 \mu\text{m}) + (8 \times 10 \mu\text{m}) = 280 \mu\text{m} = \pm 0,28 \text{ mm}$ .



**Gambar 4.** Hasil Uji Struktur Mikro Eksperimen 8 (a). Eksperimen 9 (b), dan Eksperimen Konfirmasi (c)

Pada Gambar 4(a), di atas terlihat adanya karbon yang masuk ke dalam material uji. Pengambilan gambar eksperimen 7 di atas menggunakan perbesaran 200x dengan panjang 1 garisnya adalah 200  $\mu\text{m}$ , setiap garis ada 20 strip dengan panjang 10  $\mu\text{m}$ . Pada Gambar 4(a) terdapat 1 garis dan 4 strip sehingga kedalaman karbon adalah  $(1 \times 200 \mu\text{m}) + (4 \times 10 \mu\text{m}) = 240 \mu\text{m} = \pm 0,24 \text{ mm}$ . Pada Gambar 4(b), di atas terlihat adanya karbon yang masuk ke dalam material uji. Pengambilan gambar eksperimen 9 di atas menggunakan perbesaran 200x dengan panjang 1 garisnya adalah 200  $\mu\text{m}$ , setiap garis ada 20 strip dengan panjang 10  $\mu\text{m}$ . Pada Gambar 4(b) terdapat 2 garis sehingga kedalaman karbon adalah  $2 \times 200 \mu\text{m} = 400 \mu\text{m} = \pm 0,40 \text{ mm}$ . Pada Gambar 4(c), di atas terlihat adanya karbon yang masuk ke dalam material uji. Pengambilan gambar eksperimen konfirmasi di atas menggunakan perbesaran 100x dengan panjang 1 garisnya adalah 100  $\mu\text{m}$ , setiap garis ada 10 strip dengan panjang 10  $\mu\text{m}$ . Pada Gambar 4(c) terdapat 2 garis dan 5 strip sehingga kedalaman karbon adalah  $(1 \times 100 \mu\text{m}) + (5 \times 10 \mu\text{m}) = 150 \mu\text{m} = \pm 0,15 \text{ mm}$ .

b. Uji Komposisi Kimia. Pengujian komposisi kimia pada penelitian ini bertujuan untuk melihat peningkatan kadar karbon pada eksperimen yang memiliki nilai kekerasan tertinggi dan pada eksperimen konfirmasi. Selain itu, pada material tanpa perlakuan juga dilakukan pengujian komposisi kimia. Pada material yang belum dilakukan perlakuan memiliki kadar karbon sebesar 0,108%. Sedangkan untuk material pada eksperimen dengan nilai kekerasan tertinggi memiliki kadar karbon sebesar 0,205%. Kemudian untuk material pada eksperimen konfirmasi memiliki kadar karbon sebesar 0,437%.

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian yang berjudul “Analisa Pengaruh Temperatur dan Waktu Pemanasan, Serta Cara Pendinginan Pada Proses *Carburizing* Terhadap Kekerasan Baja Karbon Rendah” adalah sebagai berikut :

a. Berdasarkan kombinasi matriks orthogonal untuk proses *carburizing* dengan 2 replikasi, didapatkan nilai kekerasan yang paling tinggi sebesar 919,4520 HV dan 910,62 HV pada eksperimen ke 7 dengan kombinasi faktor temperatur pemanasan 850°C, waktu pemanasan 2 jam, dan cara pendinginannya *double quenching*.

b. Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisa yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka kombinasi level dari faktor yang menghasilkan variansi nilai kekerasan yang optimal sama adalah diperoleh dari setting faktor temperatur pemanasan pada level 2 sebesar 800°C ( $A_2$ ) dan cara pendinginan pada level 3 yaitu *double quenching* ( $C_3$ ).

#### 5. DAFTAR NOTASI

$L$	: rancangan bujursangkar latin
$a$	: banyak baris/eksperimen
$b$	: banyak level
$c$	: banyak kolom/faktor
$y$	: jumlah hasil eksperimen
$n$	: jumlah eksperimen
$\bar{y}$	: rata-rata jumlah hasil eksperimen
$\eta$	: rasio S/N
$MSD$	: <i>Mean Squared Deviation</i>
$n$	: replikasi
$y_i$	: jumlah respon replikasi
$\bar{y}$	: rata-rata jumlah respon replikasi
$\sigma$	: standart deviasi
$r$	: ukuran sampel yang digunakan (jumlah replikasi) untuk eksperimen konfirmasi ( $r$ tidak sama dengan 0)
$F$	: nilai F-ratio dari tabel
$A$	: resiko, level kepercayaan.
$\nu_1$	: derajat kebebasan untuk pembilang yang berhubungan dengan suatu rata-rata dan selalu sama dengan 1 untuk suatu interval kepercayaan
$\nu_2$	: derajat kebebasan untuk penyebut yang berhubungan dengan derajat kebebasan dari variansi <i>pooled error</i> .
$MS_e$	: <i>mean of square error</i>
$N$	: jumlah pengamatan yang digunakan untuk menghitung rata-rata ( <i>mean</i> )

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

Arma, Lukmanul Hakim., dkk. (2012) ‘Pengerasan Permukaan Baja ST 37 Dengan Metode Karborasi Menggunakan Arang Limbah Kelapa Sawit Sebagai Bahan *Carburizing* Padat’, *Prosiding* 2012. Makassar : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Vol. 6.

Kuswanto, Bambang. (2010a) 'Pengaruh Perbedaan Ukuran Butir Arang Tempurung Kelapa-Barium Karbonat Terhadap Peningkatan Kekerasan Permukaan Material ST 37 Dengan Proses Pack Carburizing' Semarang : Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang.

Kuswanto, Bambang. (2010b) 'Perlakuan Pack Carburizing Pada Baja Karbon Rendah Sebagai Material Alternative Untuk Pisau Potong Pada Penerapan Teknologi Tepat Guna', *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2010*. Semarang : Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.

Nanulaita, Nevada J.M., Patty, Alexander A. (2011) 'Analisa Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah (S35c) Dengan Pengaruh Waktu Penahanan (Holding Time) Melalui Proses Pengarbonan Padat (Pack Carburizing) Dengan Pemanfaatan Cangkang Kerang Sebagai Katalisator', *Jurnal TEKNOLOGI* 8 (2), pp. 927-935.

Soejanto, Irwan. (2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Graha Ilmu : Yogyakarta.

Waluyo, Joko. (2009) 'Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Pada Proses Carburizing Cair Terhadap Kekerasan Baja AISI 1025 Dengan Media Pendinginan Air'. Surakarta : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret.

Zuchry, Muhammad. (2011) 'Pengaruh Suhu Dan Waktu Tahan Terhadap Kekuatan Tarik Baja Karbon Dengan Variasi Media Pendingin', *SMARTek*. 9 (2), pp. 122-127.