

## PERANCANGAN EKSPERIMEN BAJA KARBON RENDAH HASIL PROSES *PACK CARBURIZING* DENGAN METODE EKSPERIMEN FAKTORIAL

### DESIGN OF EXPERIMENT OF LOW CARBON STEEL RESULTED FROM *PACK CARBURIZING* PROCESS BY FACTORIAL EXPERIMENT METHOD

Mirantie Dwiharsanti, Winda Sri Jaman dan Shinta Virdhian  
Balai Besar Logam dan Mesin Jl. Sangkuriang No. 12 Bandung  
Email: rantie\_25@yahoo.com

#### ABSTRAK

Baja karbon rendah mempunyai potensi sebagai bahan baku alternatif untuk alat panen tandan buah segar (TBS) kelapa sawit jenis dodos selain baja karbon menengah. Proses *pack carburizing* adalah proses untuk meningkatkan kekerasan permukaan yang biasa dilakukan pada karbon baja rendah, dimana dalam proses ini baja karbon rendah akan diubah sifat mekanis permukaannya yaitu permukaan logam yang keras dan bagian dalam yang lentur. Dalam metode *pack carburizing* dilakukan beberapa percobaan dengan 3 faktor bebas yaitu suhu austenisasi, waktu penahanan, dan komposisi. Agar proses *pack carburizing* menghasilkan kekerasan baja karbon rendah yang optimal diperlukan perancangan eksperimen agar memperoleh hasil eksperimen yang valid. Metode perancangan eksperimen yang digunakan untuk masalah tersebut adalah eksperimen faktorial dengan 3 faktor dan 2 level. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui faktor dan faktor interaksi yang berpengaruh terhadap kekerasan baja karbon rendah dan mengetahui level faktor yang optimal untuk menghasilkan baja karbon dengan tingkat kekerasan yang diinginkan. Berdasarkan perancangan eksperimen kekerasan baja karbon rendah dengan metode eksperimen faktorial, faktor yang mempengaruhi kekerasan baja karbon rendah hanya faktor waktu penahanan. Waktu penahanan yang memberikan nilai kekerasan lebih tinggi adalah 30 menit. Sedangkan model matematis untuk eksperimen kekerasan baja karbon rendah hasil proses *carburizing* adalah  $y = 50.32 - 3.313 X_2$ , dimana  $y$  adalah kekerasan dan  $X_2$  adalah waktu.

**Kata kunci:** perancangan eksperimen, eksperimen faktorial, *pack carburizing*

#### ABSTRACT

*Low carbon steel is potential as alternative raw material of oil palm harvesting tools type chisel beside medium carbon steel. Pack carburizing process is the process to improve surface hardness of the material, usually applied for low carbon steel. In this process, surface properties of low carbon steel will be transformed to hard metal surfaces with ductile properties on the inside. In this research, pack carburizing experiments were carried out with 3 independent variables which are austenization temperature, holding time, and composition of the carbon paste. To achieve optimum hardness of low carbon steel on pack carburizing process, design of experiment is required to get valid experiment results. Design of experiment method which is used to solve the problem is factorial experiment with 3 factors and 2 levels. The purpose of this research is to find out the factor and interaction factor that influence the hardness of low carbon steel and find out optimum level of factor that yield desired hardness level of low carbon steel. Based on design of experiment of low carbon steel hardness with factorial experiment method, factor that has significant effect to hardness of low carbon steel is holding time variables. Holding time result with high hardness value is 30 minutes. While mathematical model for experiment of low carbon steel hardness resulted from carburizing process is  $y = 50.32 - 3.313 X_2$ , where  $y$  is hardness and  $X_2$  is holding time.*

**Keywords:** Design of experiment, Factorial experiment, Pack carburizing

#### PENDAHULUAN

Baja karbon rendah mempunyai potensi sebagai bahan baku alternatif untuk alat panen tandan buah segar (TBS) kelapa sawit jenis dodos selain baja karbon

menengah. Baja karbon rendah mempunyai harga yang lebih murah dibanding baja karbon menengah, selain itu ketersediaannya pun cukup melimpah di Indonesia. Sedangkan baja karbon menengah belum diproduksi di dalam

negeri sehingga para pengrajin menggunakan bahan baku bekas (scrap) berupa baja per daun dari produk otomotif.

Baja karbon rendah dapat dijadikan bahan baku pembuatan dodos jika memiliki tingkat kekerasan yang baik. *Carburizing* adalah penambahan karbon ke permukaan baja karbon rendah pada suhu di daerah austenitik, yang umumnya adalah antara 850°C dan 950°C untuk baja karbon rendah (Aragbe (2011), Aramide (2010), Oyetunji 2012). Dalam rentang suhu ini austenit, yang memiliki kelarutan yang tinggi untuk karbon, adalah struktur kristal yang stabil. Proses pengerasan dilakukan dengan mencelupkan lapisan permukaan yang mengandung karbon tinggi menjadi struktur martensit. Salah satu metode carburizing adalah proses *pack carburizing* (ASM Handbook vol. 2, 2009). *Pack carburizing* adalah benda kerja dan karbon diletakkan dalam sebuah container untuk memastikan optimum permukaan yang akan dikeraskan. Di dalam proses ini, baja karbon rendah akan diubah sifat mekanis permukaannya yaitu dengan membuat permukaan logam yang keras dan bagian dalam yang lentur. Hal ini terjadi karena jumlah karbon pada permukaan baja meningkat, sehingga sifat mekanis dari permukaan baja akan meningkat. Sifat ini dibutuhkan untuk komponen yang saling bergesekan atau karena fungsinya harus mempunyai kekerasan tertentu dan ulet di bagian dalamnya. Karburisasi merupakan proses yang kompleks. Hal utama yang mempengaruhi proses karburisasi adalah waktu tahan, temperature karburisasi, karbon yang berdifusi ke permukaan, kecepatan pendinginan dan lain-lain (Murtiono (2012), Aramide (2010). Karmin (2009), Suherman (2012).

Dalam metode *pack carburizing* dilakukan beberapa percobaan untuk menghasilkan baja karbon rendah dengan tingkat kekerasan yang optimal. Pada metode *pack carburizing* tempurung kelapa dan BaCO<sub>3</sub> dibuat dalam bentuk pasta dengan komposisi tempurung kelapa 50% dan 70%, bagian baja yang akan dikeraskan diolesi dengan pasta kemudian dimasukkan ke dalam kotak baja. Suhu tungku pemanas yang sudah mencapai suhu 700°C waktunya untuk memasukkan

kotak baja yang berisi baja karbon rendah yang diolesi pasta dan dinaikkan lagi temperturnya mencapai 900°C dan 950°C. Setelah tercapai temperturnya dilakukan waktu penahanan 15 menit dan 30 menit dilanjutkan dengan pendinginan cepat produk hasil proses *pack carburizing* di media pendingin air (pencelupan produk hasil *pack carburizing* di air).

Agar proses *pack carburizing* menghasilkan kekerasan baja karbon rendah yang optimal diperlukan perancangan eksperimen agar memperoleh hasil eksperimen yang valid. Hasil eksperimen yang baik akan dicapai apabila perancangan eksperimen dikembangkan secara statistik dan diimplementasikan dengan benar (Borror, 2008). Metode perancangan eksperimen yang digunakan untuk masalah tersebut adalah eksperimen faktorial dengan 3 faktor dan 2 level. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui faktor dan faktor interaksi yang berpengaruh terhadap kekerasan baja karbon rendah dan mengetahui level faktor yang optimal untuk menghasilkan baja karbon dengan tingkat kekerasan yang diinginkan.

### Perancangan Eksperimen

Perancangan eksperimen merupakan prosedur untuk menempatkan perlakuan ke dalam satuan-satuan percobaan dengan tujuan utama mendapatkan data yang memenuhi persyaratan ilmiah. Perlakuan adalah suatu prosedur yang akan diukur pengaruhnya dan diperbandingkan satu dengan yang lain (Yitnosumarto, 1991)

1. Pengulangan atau replikasi  
Pengulangan yaitu perlakuan yang terjadi lebih dari satu kali dalam suatu percobaan. Fungsi pengulangan yaitu untuk presisi pendugaan dan memungkinkan adanya kesalahan atau galat dalam percobaan
2. Pengacakan atau randomisasi  
Randomisasi bertujuan untuk menghilangkan subjektivitas dalam percobaan dan menghilangkan bias
3. Pengendalian lokal untuk memperkecil kesalahan/galat percobaan

Perancangan eksperimen yang baik dapat menghasilkan perbaikan proses

produksi, pengurangan proses variabilitas, pengurangan waktu perancangan dan pengembangan, pengurangan biaya operasi (Borrer, 2008)

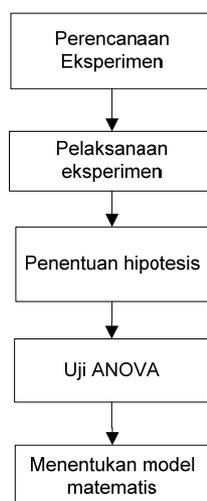
### Eksperimen Faktorial

Eksperimen faktorial merupakan eksperimen yang mengkombinasikan atau menyilangkan semua faktor tertentu terhadap tiap level dari faktor lainnya yang ada dalam eksperimen tersebut (Sudjana dalam Cahyo, 2014). Pada eksperimen faktorial dapat diketahui pengaruh suatu faktor secara individu dan pengaruh dari interaksi faktor. Untuk menguji signifikansi pengaruh faktor dan interaksinya salah satunya adalah dengan menggunakan metode ANOVA.

Pada eksperimen faktorial ada tiga efek yaitu:

1. *Simple Effect* (efek sederhana)  
Adalah contrast antara level-level suatu faktor dengan level-level di faktor lain
2. *Main effect* (efek utama)  
adalah contrast antara level-level suatu faktor terhadap rata-rata seluruh level pada faktor lain
3. *Interaction effect* (efek interaksi)  
mengukur perbedaan antara *simple effect* suatu faktor dengan level-level yang berbeda di faktor yang lain

### METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 1 metode penelitian

Pada Gambar 1 sebelum dilakukan eksperimen terlebih dahulu dilakukan

perencanaan eksperimen. Perencanaan eksperimen terdiri dari :

1. Menentukan variabel respon, variabel respon adalah variabel yang berubahannya tergantung dari variabel lain
2. Variabel bebas (faktor), adalah variabel yang berubahannya tidak tergantung variabel lain dimana setiap berubahannya akan berpengaruh kepada variabel respon.
3. Level faktor, adalah nilai faktor yang akan diteliti
4. Replikasi, adalah jumlah pengulangan dalam melakukan eksperimen

Langkah selanjutnya adalah melakukan eksperimen yaitu dengan melakukan proses pack carburizing terhadap baja karbon rendah sesuai dengan perencanaan eksperimen yang telah dibuat.

Setelah pelaksanaan eksperimen dan diperoleh data yang diperlukan selanjutnya dilakukan penentuan hipotesis dan uji ANOVA. Uji ANOVA dilakukan menggunakan one way ANOVA dengan taraf signifikansi ( $\alpha$ ) = 5%. Apabila  $F_{hitung} < F_{tabel}$  maka hipotesis nol diterima dan hipotesis satu ditolak, dan apabila  $F_{hitung} > F_{tabel}$  maka hipotesis nol ditolak dan menerima hipotesis satu. Setelah dilakukan uji ANOVA kemudian menentukan model matematis dimana pengolahan data eksperimen factorial ini menggunakan software Minitab 14.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Perencanaan Eksperimen

Variabel respon yang akan diteliti adalah kekerasan dari baja karbon rendah hasil *pack carburizing* dan menggunakan 3 variabel bebas (faktor) yaitu suhu austenisasi, waktu penahanan, dan komposisi media *pack carburizing*. Setiap faktor memiliki 2 level. Pada level faktor suhu austenisasi terdiri dari 900<sup>o</sup> C dan 950<sup>o</sup> C. Level untuk faktor waktu penahanan yaitu 15 dan 30 menit. Sedangkan komposisi media *pack carburizing* menggunakan barium karbonat dengan arang tempurung kelapa dengan perbandingan 50%:50% dan 30 %: 70%.

Atas pertimbangan biaya dan waktu maka percobaan ini dengan replikasi sebanyak 3 kali. Rancangan eksperimen yang telah dibuat dapat dilihat pada Tabel.1

Tabel 1. Rancangan eksperimen

Faktor / variabel bebas	Level	
	Suhu Austenisasi	900°C
Waktu Penahanan	15 menit	30 menit
Komposisi media	50%:50%	30%:70%

**Pelaksanaan Eksperimen**

Pelaksanaan eksperimen yaitu proses *pack carburizing* terhadap baja karbon rendah dilakukan sesuai dengan rancangan eksperimen yang telah dibuat. Setelah proses *pack carburizing* dilakukan kemudian setiap sample diuji kekerasannya. Hasil kekerasan dari proses *pack carburizing* dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Kekerasan baja karbon rendah

		Kekerasan (HRC)			
		900°C		950°C	
		15 menit	30 menit	15 menit	30 menit
Komposisi media	50% : 50%	45.82	55.85	48.09	57.67
		42.21	53.98	48.24	54.51
		52.66	55.1	51.24	54.29
	30% : 70%	42.7	43.98	46.18	52.58
		52.62	60.03	49.05	49.31
		52.62	56.78	32.66	49.51

**Penentuan Hipotesis**

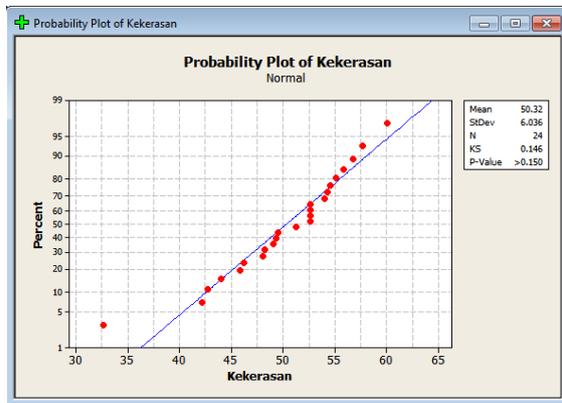
Hipotesis penelitian untuk faktor yang akan dianalisa yaitu:

- H<sub>01</sub>: Tidak ada perbedaan yang signifikan antara faktor suhu austenisasi dalam mempengaruhi kekerasan baja karbon rendah  
H<sub>11</sub>: Terdapat perbedaan yang signifikan antara faktor suhu austenisasi dalam mempengaruhi kekerasan baja karbon rendah
- H<sub>02</sub>: Tidak ada perbedaan yang signifikan antara faktor waktu penahanan dalam mempengaruhi kekerasan baja karbon rendah.

- H<sub>12</sub>: Terdapat perbedaan yang signifikan antara faktor waktu penahanan dalam mempengaruhi kekerasan baja karbon rendah
- H<sub>03</sub>: Tidak ada perbedaan yang signifikan antara faktor komposisi media dalam mempengaruhi kekerasan baja karbon rendah  
H<sub>13</sub>: Terdapat perbedaan yang signifikan antara faktor komposisi media dalam mempengaruhi kekerasan baja karbon rendah
  - H<sub>04</sub>: Tidak ada perbedaan yang signifikan antara interaksi faktor suhu austenisasi dan waktu penahanan dalam mempengaruhi kekerasan baja karbon rendah.  
H<sub>14</sub>: Terdapat perbedaan yang signifikan antara interaksi faktor suhu austenisasi dan waktu penahanan dalam mempengaruhi kekerasan baja karbon rendah
  - H<sub>05</sub>: Tidak ada perbedaan yang signifikan antara interaksi faktor suhu austenisasi dan komposisi media dalam mempengaruhi kekerasan baja karbon rendah  
H<sub>15</sub>: Terdapat perbedaan yang signifikan antara interaksi faktor suhu austenisasi dan komposisi media dalam mempengaruhi kekerasan baja karbon rendah
  - H<sub>06</sub>: Tidak ada perbedaan yang signifikan antara interaksi faktor waktu penahanan dan komposisi media dalam mempengaruhi kekerasan baja karbon rendah  
H<sub>16</sub>: Terdapat perbedaan yang signifikan antara interaksi faktor waktu penahanan dan komposisi media dalam mempengaruhi kekerasan baja karbon rendah
  - H<sub>07</sub>: Tidak ada perbedaan yang signifikan antara interaksi faktor suhu austenisasi, waktu penahanan, dan komposisi media dalam mempengaruhi kekerasan baja karbon rendah  
H<sub>17</sub>: Terdapat perbedaan yang signifikan antara interaksi faktor suhu austenisasi, waktu penahanan, dan komposisi media dalam mempengaruhi kekerasan baja karbon rendah

## Uji ANOVA

Sebelum dilakukan uji ANOVA terlebih dahulu dilakukan uji normalitas data yang dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2 Uji normalitas data

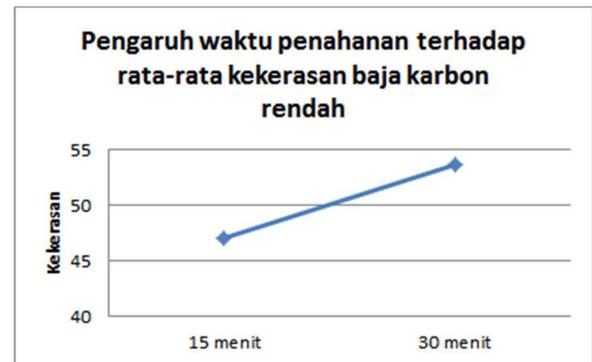
Berdasarkan uji normalitas data, nilai *p value* sebesar 0,150 lebih besar dari taraf signifikansi 0,05 sehingga data dapat disimpulkan berdistribusi normal. data kemudian dilakukan uji ANOVA terhadap nilai kekerasan baja karbon rendah hasil proses *pack carburizing*. Hasil uji ANOVA dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Uji anova

Sumber Variasi	df	Sum Square	Mean Square	F hitung	F tabel
S	1	18.410	18.410	0.668	4.49
W	1	263.344	263.344	9.552	4.49
K	1	41.712	41.712	1.513	4.49
SW	1	1.179	1.179	0.043	4.49
SK	1	59.724	59.724	2.166	4.49
WK	1	1.915	1.915	0.069	4.49
SWK	1	10.67	10.67	0.39	4.49
Error	16	441.124	27.570		
Total	23	838.075			

Berdasarkan hasil uji ANOVA dapat disimpulkan bahwa hanya waktu penahanan saja yang mempengaruhi kekerasan karena pada faktor waktu penahanan  $F_{hitung} > F_{tabel}$  ( $9,552 > 4,490$ ) sehingga cukup kuat untuk menolak  $H_0$  dan menerima  $H_{12}$ . Gambar 3 adalah grafik rata-rata kekerasan dari faktor waktu penahanan. Berdasarkan grafik dapat

disimpulkan bahwa waktu penahanan yang lama membuat kekerasan baja karbon rendah menjadi tinggi. Waktu penahanan 30 menit menghasilkan nilai rata-rata kekerasan lebih tinggi dibandingkan waktu penahanan 15 menit.



Gambar 3 Pengaruh waktu penahanan terhadap rata-rata kekerasan baja karbon rendah

Model matematis dari eksperimen ini diperoleh dari analisis regresi yang dapat dilihat pada tabel 4

Tabel 4. Analisis regresi

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	50.32	1.072	46.95	0.00
S	0.876	1.072	0.82	0.426
W	-3.313	1.072	-3.09	0.007
K	1.318	1.072	1.23	0.236
SW	0.222	1.072	0.21	0.839
SK	-1.577	1.072	-1.47	0.160
WK	-0.282	1.072	-0.26	0.795
SWK	-0.667	1.072	-0.62	0.543

Berdasarkan tabel analisis regresi maka model matematis yang diperoleh adalah

$$y = 50.32 - 3.313 X_2$$

dimana:

y : kekerasan

$X_2$ : waktu

## KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan eksperimen kekerasan baja karbon rendah dengan metode eksperimen faktorial dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Data kekerasan baja karbon rendah hasil proses carburizing berdistribusi normal dimana nilai *p value* sebesar

0,150 lebih besar dari taraf signifikansi 0,05

2. Berdasarkan uji Anova untuk eksperimen faktorial, faktor yang mempengaruhi kekerasan baja karbon rendah hanya faktor waktu penahanan saja dimana  $F_{hitung} > F_{tabel}$  ( $9,552 > 4,490$ ) sehingga cukup kuat untuk menolak  $H_{02}$  dan menerima  $H_{12}$
3. Waktu penahanan yang memberikan nilai kekerasan lebih tinggi adalah 30 menit
4. Model matematis untuk eksperimen kekerasan baja karbon rendah hasil proses carburizing adalah  

$$y = 50.32 - 3.313 X_2$$
 dimana:  
 $y$  : kekerasan  
 $X_2$ : waktu

## DAFTAR PUSTAKA

- Alagbe, M. (2011). Effect of some carburizing media on surface hardening of low carbon steel. *Journal of Sciences and Multidisciplinary Research*, vol. 3.
- Aramide. F. O. et. al. (2010). Pack Carburization of Mild Steel, using Pulverized Bone as Carburizer: Optimizing Process Parameters. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, vol.10.
- ASM Handbook volume 4, 2009. Heat Treating, ASM International, Amerika, 2173 page, (page 749)
- Borror, C. M. (2008). *The Certified Quality Engineer*. Milwaukee: American Society for Quality.
- Cahyo, I., Adiarto, H., & Herni, F. (2014). Usulan Kombinasi Faktor-faktor Yang Berpengaruh Secara Signifikan Terhadap Kuat Tekan Bata Ekspose Dengan Metode Perancangan Eksperimen. *Reka Integra*, 48.
- Karmin (2009). Pengaruh perbedaan waktu tahan suhu stabil terhadap kekerasan logam. *Jurnal Austenit*, vol.1, No.1.
- Karmin (2009). Pengendalian proses pengerasan baja dengan metode quenching. vol. 1. No. 2.
- Murtiono, A. (2012) Pengaruh quenching dan tempering terhadap kekerasan dan kekuatan tarik serta struktur mikro baja karbon sedang untuk mata pisau pemanen sawit. *Jurnal e-dinamis*, vol. 12.
- Suherman et.al. (2012). Perbaikan sifat fisis dan mekanis alat panen buah kelapa sawit produk lokal. *Jurnal Dinamis*, Vol. 1 No 11.
- Oyetunji, A. and S.O. Adeosun (2012) Effects of Carburizing Process Variables on mechanical and Chemical Properties of Carburized Mild Steel. *Journal of Basic & Applied Sciences*, vol. 8.
- Yitnosumarto, S. (1991). *Percobaan Perancangan, Analisis, dan Interpretasinya*. Jakarta: PT Gramedia.