

The Influence Of Composition Variation Of Catalyzer Composition (Eggshell / CaCO₃) On Pack Carburizing Process To Violence And Micro Structure Of JIS G 4051 S 15 CK

Jatira*, TB. Adi Subekhi, Dadan Rahdani

Mech. Engineering Department - Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana Purwakarta

*Corresponding author: jati071967@gmail.com

Abstract. Most of the metal production is steel because it has mechanical properties and widely used in certain applications. The problem that often arises is in terms of worn out because of the influence of outer forces in the form of friction resulting in deformation. Therefore, it requires a hard surface but still resilient in the core of steel to be able to receive a dynamic load. One way to increase surface hardness is pack carburizing process with thermochemical treatment to increase the carbon content of the steel surface layer to about 0.7% - 0.8%. Using an eggshell (CaCO₃) in order to verify the media as a catalyst that can affect the hardness and microstructure of the steel. This research uses JIS G 4051 S 15 CK Carbon Steels for Machine Structural Use material containing carbon element between 0.13% - 0.18% so that by pack carburizing process can improve the mechanical properties, especially hardness on the steel surface. The media used is coconut shell charcoal as activated carbon combined with eggshell powder as catalyst with several variations of composition and holding time for 2 hours at 950 °C temperature and quenching using water media. The result obtained in this research is a change of microstructure from specimen raw material having ferrite + pearlite phase to martensite with distance about 0.2 mm from surface, transition zone which is mixture of martensite + bainite phase about 0.7 mm from the surface and bainite phase about 1.5 mm from the surface after pack carburizing process and quenching. The composition of pack carburizing media between 60% coconut shell charcoal and 40% eggshell (CaCO₃) as the catalyst gave the greatest effect to the increase of hardness value in all depth areas of 246 HV (raw material) yielded the highest hardness value up to 900 HV at a depth of 0,2 mm and the deepest effective case depth of 1.24 mm. Statistically, there is influence of eggshell catalyst composition (CaCO₃) in pack carburizing process which proves that the more eggshell composition (CaCO₃), the higher the hardness and effective case depth value so that the eggshell waste can be used as an environmentally friendly catalyst.

Keywords: Egg Shell (CaCO₃), Hardness, Microstructure, Pack Carburizing.

Abstrak. Sebagian besar produksi logam adalah baja karena memiliki sifat mekanik dan banyak digunakan pada aplikasi tertentu. Permasalahan yang sering timbul yaitu dalam hal keausan karena terkena pengaruh gaya luar berupa friction sehingga terjadi deformasi. Maka dari itu, membutuhkan permukaan yang keras namun tetap ulet pada bagian inti baja agar mampu menerima beban yang dinamis. Salah satu cara untuk meningkatkan kekerasan permukaan adalah proses pack carburizing dengan perlakuan termokimia untuk menaikkan kandungan karbon pada lapisan permukaan baja hingga sekitar 0,7% - 0,8%. Menggunakan media cangkang telur (CaCO₃) dengan tujuan untuk memverifikasi media tersebut sebagai katalisator yang dapat berpengaruh terhadap kekerasan dan struktur mikro baja. Penelitian ini menggunakan material JIS G 4051 S 15 CK Carbon Steels for Machine Structural Use yang mengandung unsur karbon antara 0,13%-0,18% sehingga dengan dilakukannya proses pack carburizing dapat meningkatkan sifat mekanik khususnya kekerasan pada permukaan baja tersebut. Media yang digunakan adalah arang tempurung kelapa sebagai karbon aktif yang dipadukan dengan bubuk cangkang telur sebagai katalisator dengan beberapa variasi komposisi serta holding time selama 2 jam pada temperature 950 °C dan quenching menggunakan media air. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah terjadi perubahan struktur mikro dari specimen raw material yang memiliki fasa ferrite + pearlite menjadi martensite dengan jarak sekitar 0,2 mm dari permukaan, zona transisi yang merupakan campuran fasa martensite + bainite sekitar 0,7 mm dari permukaan dan fasa bainite sekitar 1,5 mm dari permukaan setelah proses pack carburizing dan quenching. Komposisi media pack carburizing antara 60% arang tempurung kelapa dan 40% cangkang telur (CaCO₃) sebagai katalisator memberikan pengaruh paling besar terhadap peningkatan nilai kekerasan di semua area kedalaman dari 246 HV (raw material) menghasilkan nilai kekerasan tertinggi hingga mencapai 900 HV di kedalaman 0,2 mm dan effective case depth terdalam sebesar 1,24 mm.

Secara statistik, ada pengaruh komposisi katalisator cangkang telur (CaCO_3) pada proses pack carburizing yang membuktikan bahwa semakin banyak komposisi cangkang telur (CaCO_3) maka semakin tinggi nilai kekerasan dan effective case depth sehingga limbah cangkang telur bisa dimanfaatkan sebagai katalisator yang ramah lingkungan.

Kata Kunci: Cangkang Telur (CaCO_3), Kekerasan, Pack Carburizing, Struktur Mikro.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kekerasan permukaan baja yaitu dengan proses *pack carburizing* yang merupakan salah satu proses pengerasan pada permukaan dengan perlakuan termokimia yang bertujuan untuk menaikkan kandungan karbon pada lapisan permukaan baja hingga sekitar 0,7% - 0,8%. Dalam proses *pack carburizing* selama ini dinilai hanya berorientasi pada proses yang efektif dan efisien sehingga berdampak terhadap lingkungan misalnya menggunakan bahan yang mengandung karbon aktif dicampur bahan kimia BaCO_3 sebagai media katalisator untuk mempercepat proses *pack carburizing*.

Penggunaan BaCO_3 yang tidak ramah lingkungan dalam hal pembuangan limbahnya sehingga terdapat upaya untuk mencoba mengganti jenis katalisator tersebut. Salah satu upaya untuk menerapkan proses *pack carburizing* yang ramah lingkungan dapat dimulai dengan pemanfaatan limbah sebagai salah satu sumber bahan baku yang menjadi suatu kajian menarik untuk diteliti dan terus dikembangkan.

Cangkang telur yang dibuang oleh para pedagang hanya akan menjadi limbah tumpukan sampah jika tidak dimanfaatkan, padahal menurut data yang diperoleh dari rivera (1999: -) pada cangkang telur banyak mengandung CaCO_3 dengan persentasi sebesar 94%.

Berdasarkan uraian diatas, dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi komposisi katalisator dengan memanfaatkan limbah cangkang telur pada proses *pack carburizing* terhadap kekerasan dan struktur mikro baja, sehingga diharapkan akan mengurangi jumlah sampah dan dapat pula menjadi pilihan katalisator yang mudah didapatkan di lingkungan sekitar. Penelitian ini menggunakan material JIS G 4051 S 15 CK *Carbon Steels for Machine Structural Use* yang mengandung unsur karbon antara 0,13%-0,18% sehingga dengan dilakukannya proses *pack carburizing* dapat meningkatkan sifat mekanik khususnya kekerasan pada permukaan baja tersebut. Media yang digunakan adalah arang tempurung kelapa sebagai karbon aktif yang dipadukan dengan bubuk cangkang telur dengan beberapa variasi komposisi serta *holding time*

selama 2 jam pada temperature 950 °C dan *quenching* menggunakan media air.

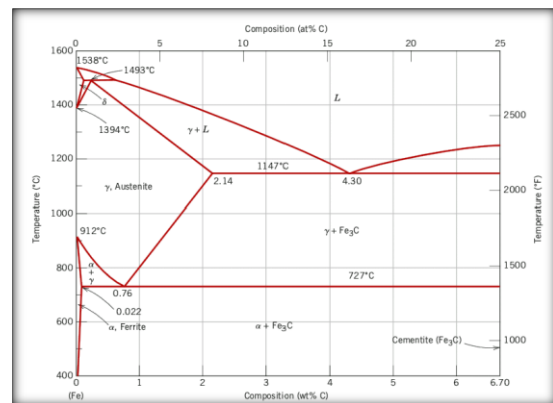
Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk membuktikan cangkang telur merupakan media yang baik sebagai katalisator pada proses *pack carburizing*.
2. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh katalisator terhadap nilai kekerasan baja JIS G 4051 S 15 CK.

Tinjauan Pustaka

Diagram Fasa Fe-Fe₃C



Gambar 1. Diagram fasa Fe-Fe₃C (Callister, 2007: 290).

Pada diagram fasa Fe-Fe₃C, Logam Fe bersifat polimorfisme yaitu memiliki struktur kristal berbeda pada *temperature* berbeda. Pada *temperature* ruang, bentuk stabilnya disebut *ferrite* (α) berstruktur kristal *body centered cubic* yang mempunyai sifat *magnetic* dan jika dipanaskan hingga lebih dari *temperature* 770 °C maka akan bersifat *non-magnetic*. *Ferrite* (α) akan berubah menjadi *austenite* (γ) berstruktur kristal *face centered cubic* saat dipanaskan melewati *temperature* 912 °C. Transformasi tersebut berlanjut sampai 1394 °C yang mana *austenite* (γ) *face centered cubic* akan kembali berubah menjadi struktur kristal *body centered cubic* yang dikenal sebagai *delta ferrite* (δ) dan akhirnya logam Fe mencapai *melting point* pada *temperature* 1538 °C (Syamsul Hadi, 2016: 162).

Penentuan jumlah persentasi fasa *ferrite*, *cementite* dan *pearlite* pada baja *hypoeutectoid* yaitu dengan persamaan sebagai berikut:

- 1) Menentukan jumlah persentasi fasa *ferrite* dan *cementite* (Fe_3C):

$$W_a = \frac{6,7 - C_0}{6,7 - 0,022} \dots \dots \dots (1)$$

$$W_{Fe_3C} = \frac{C_0 - 0,022}{6,7 - 0,022} \dots \dots \dots (2)$$

- 2) Menentukan jumlah persentasi *proeutectoid ferrite* dan *pearlite*:

$$W_p = \frac{C_0 - 0,022}{0,76 - 0,022} \dots \dots \dots (3)$$

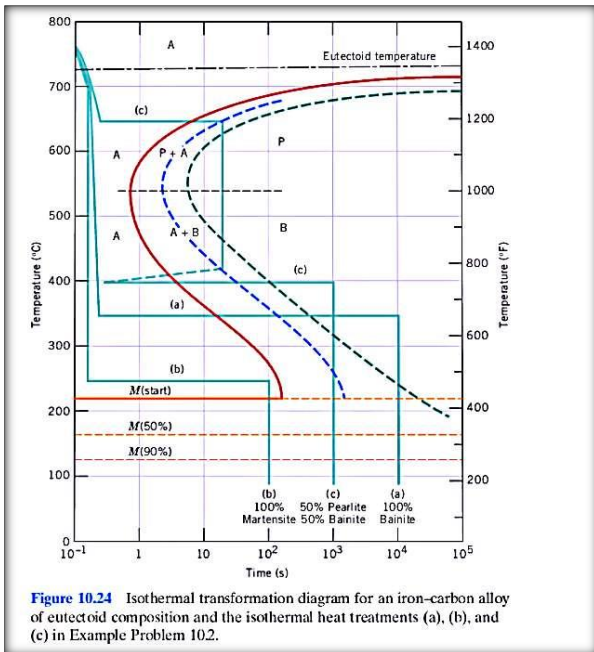
$$W_{a'} = \frac{0,76 - C_0}{0,76 - 0,022} \dots \dots \dots (4)$$

- 3) Menentukan jumlah persentasi *eutectoid ferrite*:

$$W_{a'} + W_{ae} = W_a \dots \dots \dots (5)$$

Carburizing

Carburizing adalah proses perlakuan thermokimia yang diterapkan pada baja yang mudah dikeraskan yaitu pada baja karbon rendah (0,025% C – 0,3% C) yang memiliki sifat yang lunak dan ulet.



Gambar 2. Diagram transformasi isothermal.

Tujuan dari proses *carburizing* adalah untuk meningkatkan ketahanan aus dengan jalan mempertinggi kekerasan permukaan baja yang dibutuhkan untuk komponen mesin yang saling bergesekan. Kekerasan suatu baja pada komponen mesin dapat diperoleh melalui proses perlakuan panas (*heat treatment*) seperti *hardening* yang dilakukan dengan metode *quenching*. Namun demikian tidak semua jenis baja bisa dikeraskan secara langsung melalui proses perlakuan panas. Pengerasan langsung hanya dapat dilakukan pada

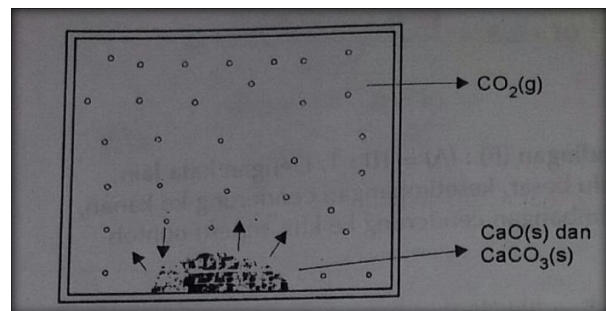
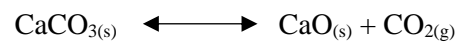
baja dengan kandungan karbon di atas 0,3%. Sementara untuk baja dengan kandungan karbon dibawah 0,3%, harus melalui proses penambahan karbon (Hari Amanto dan Daryanto, 1999: 85).

Pengaruh Katalis

Katalis mula-mula dipakai oleh Berzelius pada tahun 1835 untuk mempercepat reaksi yang berlangsung lambat tanpa menambah konsentrasi atau *temperature*. Katalis biasanya ikut bereaksi sementara dan kemudian kembali sebagai zat bebas, selanjutnya bereaksi lagi dengan pereaksi untuk mempercepat reaksi dan bebas kembali, demikian seterusnya berulang kali sehingga reaksi selesai. Suatu reaksi yang menggunakan katalis disebut reaksi katalis dan prosesnya disebut katalisme (Sunarya, Yayan, 2010: 323).

Berdasarkan fasanya, katalis dapat dibagi dua, yaitu katalis homogen yang mempunyai fasa sama dengan pereaksi. Sedangkan katalis heterogen ialah katalis yang mempunyai fasa berbeda dengan pereaksi. Sesuai dengan hukum kesetimbangan kimia, katalis heterogen akan membentuk kesetimbangan heterogen, yaitu kesetimbangan yang wujud zatnya berbeda.

Contoh :



Gambar 3. Sistem kesetimbangan $CaCO_3$ (Sunarya, Yayan, 2010: 324).

Jadi, kesimpulan dari uraian diatas bahwa Penggunaan katalis sangat berpengaruh pada proses *pack carburizing*. Pada suhu yang tinggi katalis berfungsi membentuk atau mempercepat pembentukan gas CO. Bahan kimia yang dapat digunakan sebagai katalisator pada proses *pack carburizing* untuk dapat mempercepat pembentukan gas CO, yaitu $BaCO_3$, $CaCO_3$, maupun Na_2CO_3 yang menghasilkan gas CO_2 dan bereaksi dengan karbon sehingga menghasilkan gas CO.

Katalisator $CaCO_3$ bisa didapat dengan memanfaatkan sumber daya alam lokal yang lebih ramah lingkungan seperti pada tabel 2.4 dibawah ini :

Tabel 1. Jenis katalisator CaCO₃ (Rivera, 1999: -)

No	CaCO ₃	Weight (%)
1	Cockle Shell	95 - 99
2	Egg Shell	94

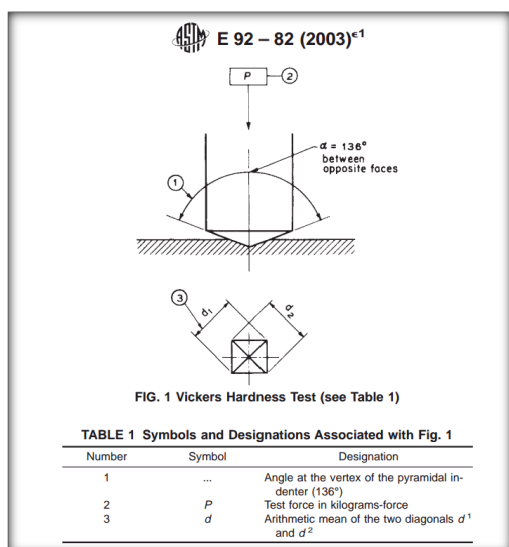
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Abdul Hay dan Arif Dermawa (2016: 39-43) proses *pack carburizing* pada baja ST42 dengan menggunakan media berupa arang kayu jati dan cangkang keong mas (CaCO₃) sebagai katalisator dengan perbandingan komposisi yaitu 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% cangkang keong mas (CaCO₃). Hasil yang diperoleh setelah proses penelitian dengan waktu penahanan 1 jam dan *temperature* yang digunakan 950 °C yaitu komposisi 40% cangkang keong mas (CaCO₃) menghasilkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 126,78 HRB dan nilai kekerasan terendah sebesar 102,92 HRB untuk komposisi cangkang keong mas (CaCO₃) sebesar 10%, ini membuktikan bahwa semakin besar komposisi cangkang keong mas (CaCO₃) maka semakin tinggi peningkatan nilai kekerasan.

Berikut nilai densitas dan viskositas fluida cair yang terdapat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2. Nilai densitas dan viskositas fluida cair.

No	Jenis Fluida	Densitas	Viskositas
1	Air Laut	1030 kg/m ³	1,03 x 10 ⁻³ N.s/m ²
2	Air	1000 kg/m ³	1,00 x 10 ⁻³ N.s/m ²
3	Fuel Oil, Medium	852 kg/m ³	2,99 x 10 ⁻³ N.s/m ²

Vickers Hardness Test



Gambar 4. Ilustrasi *vickers hardness test* (ASTM E92, 2003: 2).

Uji keras *vickers* mirip dengan *brinell* tetapi penetrator yang dipakai berupa piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar dan sudut puncak 136°. Pada uji keras *vickers*, ada dua rentang dengan beban yang berbeda dengan standar yang berbeda yaitu *macro* (1 kg-120 kg) dan *micro* (1 gr-1000 gr) dengan satuan diagonal indentasi mikrometer, tergantung dari kekerasan logam yang akan diuji (George E. Dieter, 1990: 334). Permukaan *specimen* yang akan diuji rata dan halus, landasan uji harus sejajar dengan *specimen* dan indenter harus tegak lurus terhadap *specimen* dengan waktu pembebanan berkisar antara 10 - 15 detik.

Rumus *vickers hardness test* berdasarkan ASTM E92 *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials* yaitu:

$$D = \frac{d_1 + d_2}{2} \dots \dots \dots (6)$$

$$HVN = 1.8544 \frac{P}{D^2} \dots \dots \dots (7)$$

Dimana, P = Beban yang ditetapkan (kg)

D = Panjang diagonal rata-rata (mm)

d₁ = Panjang diagonal 1 (mm)

d₂ = Panjang diagonal 2 (mm)

Untuk uji kekerasan *vickers* dengan beban uji dalam satuan gram dan diagonal indentasi pada satuan mikrometer dapat dihitung dengan rumus berdasarkan ASTM E384 *Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials* yaitu:

$$HVN = 1854.4 \frac{P}{D^2} \dots \dots \dots (8)$$

Dimana, P = Beban yang ditetapkan (gr)

D = Panjang diagonal rata-rata (µm)

d₁ = Panjang diagonal 1 (µm)

d₂ = Panjang diagonal 2 (µm)

Pembahasan

Hasil Pengujian *Chemical Composition* (*Spectrometer*)

Hasil pengujian *chemical composition* yang terkandung dalam baja dengan menggunakan *spectrometer* disajikan pada tabel 4.1. Dari tabel terlihat bahwa kandungan karbon yang terkandung dalam baja tersebut sebesar 0,165%, sedangkan beberapa unsur lain seperti : Si, Mn, P, S terdapat pula di dalamnya. Adapun hasil pengujian *chemical composition* apabila dikomparasikan dengan standar JIS G 4051 S 15 CK adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Perbandingan hasil uji *chemical composition* dan spesifikasi standar

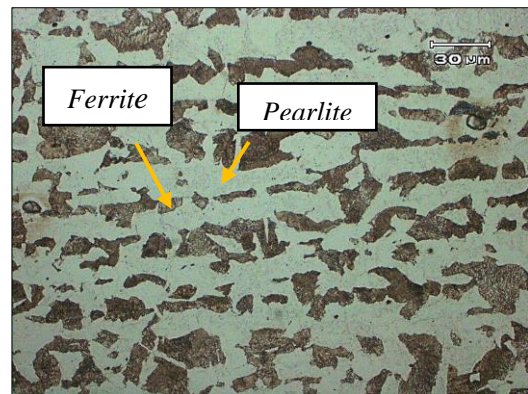
Unsur Kimia	Jumlah Kandungan Unsur (%)	
	Specimen	JIS G 4051 S 15 CK
C	0,165	0,13 – 0,18
Si	0,245	0,15 – 0,35
Mn	0,671	0,30 – 0,60
P	0,025	< 0,025
S	0,007	< 0,025
Cr	0,06	-
Mo	0,003	-
Ni	0,020	-
Al	0,039	-
Cu	0,020	-
Ti	0,001	-
W	0,001	-
Sn	0,001	-

Dari tabel 3 di atas, terdapat kesamaan dari persentasi kandungan karbon dan unsur lainnya. Untuk unsur dari Cu, Ni dan Cr tidak melebihi masing-masing 0,25%, 0,20% dan 0,20%. Maka dapat disimpulkan bahwa baja yang digunakan sebagai *specimen* tersebut merupakan baja karbon rendah dengan spesifikasi standar JIS G 4051 S 15 CK yang digunakan untuk struktural mesin.

Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dalam penelitian ini yaitu pada *specimen raw material* dan *specimen* hasil proses *pack carburizing* dengan komposisi katalisator yang berbeda. Hasil pengamatan struktur mikro dalam penelitian ini menunjukkan perbedaan yang signifikan antara *specimen raw material* dan *specimen* hasil proses *pack carburizing*. Pengamatan dilakukan menggunakan pembesaran 50x, 200x dan 500x. Berikut ini adalah hasil foto mikro dari eksperimen yang telah dilakukan:

Foto Struktur Mikro Specimen Raw Material



Gambar 5. Struktur mikro *raw material* etsa nital 3% dengan pembesaran 500x

Gambar 5 menunjukkan struktur mikro *specimen* yang akan dilakukan proses *pack carburizing* terlihat fasa *ferrite* dan fasa *pearlite*. Fasa *ferrite* ditunjukkan pada *white area* sedangkan fasa *pearlite* ditunjukkan gambar berupa *dark area*. Fasa *ferrite* yang mendominasi struktur mikro baja mempunyai sifat lunak, sementara fasa *pearlite* dengan jumlah yang lebih sedikit dan menempati posisi yang tidak teratur mempunyai sifat lebih keras dibandingkan fasa *ferrite*. Hal ini bisa dibuktikan dengan memverifikasinya ke dalam perhitungan jumlah persentasi fasa *ferrite*, *cementite* dan *pearlite* pada baja dengan kandungan karbon sebesar 0,165% yaitu sebagai berikut:

1. Menentukan jumlah persentasi fasa *ferrite* dan *cementite* (Fe_3C):

$$W_a = \frac{6,7 - 0,165}{6,7 - 0,022} \times 100\% = 97,86\%$$

$$W_{Fe_3C} = \frac{0,165 - 0,022}{6,7 - 0,022} \times 100\% = 2,14\%$$

2. Menentukan jumlah persentasi *proeutectoid ferrite* dan *pearlite*:

$$W_p = \frac{0,165 - 0,022}{0,76 - 0,022} \times 100\% = 19,38\%$$

$$W_{a'} = \frac{0,76 - 0,165}{0,76 - 0,022} \times 100\% = 80,62\%$$

3. Menentukan jumlah persentasi *eutectoid ferrite*:

$$4. W_{ae} = W_a - W_{a'}$$

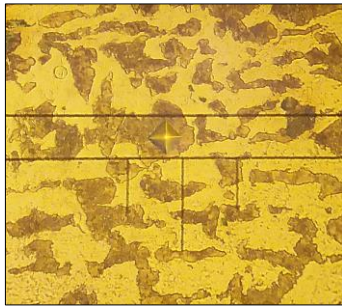
$$W_{ae} = 97,86\% - 80,62\% = 17,24\%$$

Dengan perhitungan di atas, maka semakin memperkuat bahwa dalam struktur mikro *raw material* terdapat dominasi fasa *ferrite* dengan persentasi sebesar 97,86% yang terbagi antara *proeutectoid ferrite* sebesar 80,62% dan *eutectoid ferrite* sebesar 17,24%, jauh mengungguli fasa *pearlite* yang hanya mengandung sebesar 19,38%. Maka dapat disimpulkan bahwa baja memiliki sifat yang tidak keras tetapi ulet.

Hasil Pengujian Kekerasan Micro Vickers

Pengujian kekerasan yang dilakukan menggunakan *micro vickers* sesuai dengan standar ASTM E384 *Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials* pada seluruh *specimen* baik *specimen raw material* maupun *specimen* hasil proses *pack carburizing*.

Kekerasan Specimen Raw Material



Gambar 6. Titik indentasi pada fasa *pearlite*

Pada *specimen raw material* dilakukan 5 kali pengujian kekerasan dengan penentuan titik indentasi secara acak sesuai dengan letaknya fasa *pearlite* yang terdapat pada *specimen* sesuai dengan gambar 4.2 di atas.

Tabel 4. Kekerasan *specimen raw material*

No	Titik Indentasi	d ₁ (µm)	d ₂ (µm)	d _{avg} (µm)	Nilai Kekerasan (HV)
1	Titik ke-1	20,06	20,30	20,45	222
2	Titik ke-2	19,20	20,60	19,90	234
3	Titik ke-3	18,90	18,50	18,70	265
4	Titik ke-4	19,00	19,10	19,05	255
5	Titik ke-5	18,90	19,40	19,15	253
Average HV					246

Dari tabel 4 di atas terdapat nilai rata-rata kekerasan *specimen raw material* yaitu sebesar 246 HV yang berfungsi sebagai *comparative* untuk nilai kekerasan *specimen* yang telah melalui proses *pack carburizing*.

Kekerasan Specimen Pack Carburizing

Kekerasan pada *specimen* hasil proses *pack carburizing* mengikuti kaidah *case hardness measurement* untuk mengetahui *effective casedepth* berdasarkan ASM *Handbook Volume 08 Mechanical Testing and Evaluation* dari *specimen* A tanpa katalisator dan *specimen* B – E dengan variasi komposisi katalisator yang berbeda untuk meninjau sejauh mana pengaruh variasi

komposisi katalisator terhadap sifat mekanik baja proses *pack carburizing*.

Pada penelitian ini, *temperature* yang digunakan yaitu sebesar 950 °C dan dikonversikan menjadi 2201,7 *rankine* dengan *holding time* selama 2 jam. Maka dalam hal ini apabila diverifikasi dengan tinjauan pustaka halaman 33 mengenai persamaan *harris* yang dikutip dari tesis bambang kuswanto (2010: 19) yaitu sebagai berikut:

$$Casedepth = \frac{31.6 \sqrt{t}}{10^{\left(\frac{6700}{T}\right)}} \text{ inch}$$

Dimana, T = *Temperature carburizing (Rankine)*

t = *Waktu carburizing (Jam)*

$$Casedepth = \frac{31,6 \sqrt{t}}{10^{6700/T}} = \frac{31,6 \sqrt{2}}{10^{6700/2201,7}} = 1,023 \text{ mm}$$

Dari perhitungan di atas, *pack carburizing* yang dilakukan menghasilkan *casedepth* sebesar 1,023 mm. Sehingga dapat dikatakan bahwa *casedepth zone* (zona berdifusinya atom-atom karbon) dimulai dari permukaan hingga kedalaman 1,023 mm.

Tabel 5. Kekerasan *specimen* hasil proses *pack carburizing*

No	Jarak dari Permukaan (mm)	Raw Material	Kekerasan Specimen (HV)				
			Tanpa Katalisator	Dengan Katalisator			
			A (0%)	B (10%)	C (20%)	D (30%)	E (40%)
1	0,05	246	692	717	670	685	683
2	0,1	246	744	770	748	779	814
3	0,15	246	740	824	807	809	849
4	0,2	246	779	880	849	807	900
5	0,7	246	765	797	798	802	826
6	1	246	572	580	589	635	669
7	1,5	246	416	410	436	392	444
Effective Casedepth (mm)			1,06	1,07	1,10	1,18	1,24

Keterangan:

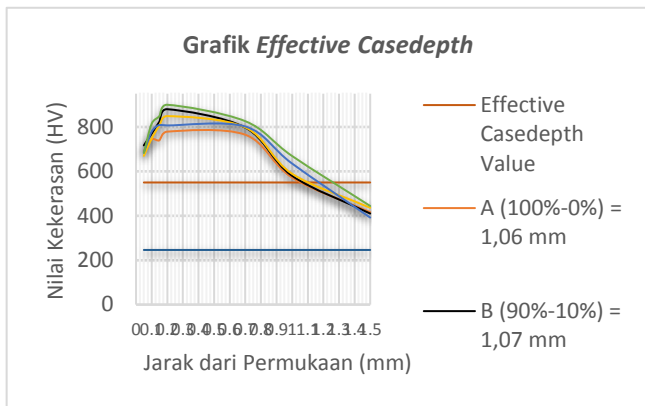
1. Orange = Kekerasan *Martensite Area*
2. Kuning = Kekerasan *Martensite + Bainite Area*
3. Hijau = Kekerasan *bainite area*

Dari penjelasan di atas, dapat disimpulkan bahwa hasil eksperimen sesuai dengan teori yang mana perbedaan fasa yang terbentuk akibat perbedaan kecepatan pendinginan dari semua area kedalaman akan menghasilkan nilai kekerasan yang berbeda karena fasa pada suatu baja

memiliki sifat kekerasan masing-masing dari yang terendah seperti *ferrite* hingga yang tertinggi yaitu *martensite* walaupun atom-atom karbon yang berdifusi hingga kedalaman 1,023 mm.

Dari tabel 5 di atas, nilai kekerasan yang diketahui dapat dimasukkan ke dalam grafik untuk mengetahui nilai *effective casedepth* pada *specimen* proses *pack carburizing* dengan komposisi katalisator yang berbeda.

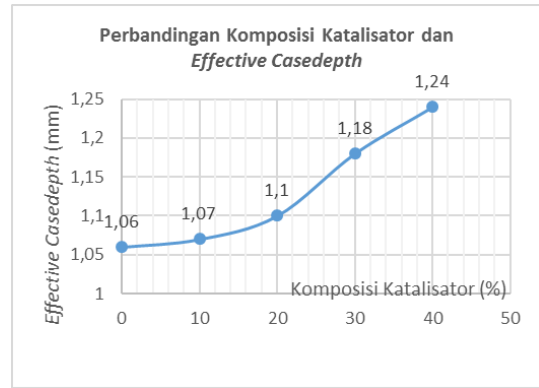
Perbandingan yang dilakukan antara *specimen A* tanpa katalisator dengan *specimen B – E* dengan komposisi katalisator yang berbeda. Pada *specimen A* tanpa katalisator, *effective casedepth* yang dihasilkan yaitu



Gambar 7. *Effective casedepth* semua *specimen*.

sebesar 1,06 mm, *specimen B* nilai *effective casedepth* meningkat sebesar 0,94% yaitu menjadi 1,07 mm. Pada *specimen C* peningkatan sebesar 3,77% sehingga menghasilkan nilai *effective casedepth* sebesar 1,10 mm dari *specimen A*. Pada *specimen D* peningkatan terjadi sebesar 11,32% menjadi sedalam 1,18 mm dan *specimen E* peningkatannya sebesar 16,98% menjadi sedalam 1,24 mm dari *specimen A*.

Dari keterangan di atas, dapat diketahui bahwa selain pada nilai kekerasan, komposisi katalisator berpengaruh terhadap nilai *effective casedepth* yang mana semakin tinggi komposisi katalisator maka akan semakin dalam *effective casedepth* yang dihasilkan.



Gambar 8. Perbandingan komposisi katalis dan *effective casedepth*

Dari pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa *specimen* dengan penambahan katalisator cangkang telur (CaCO_3) menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi dan *effective casedepth* lebih dalam dibandingkan dengan *specimen A* tanpa katalisator. *Specimen E* dengan komposisi arang tempurung kelapa 60% dan cangkang telur (CaCO_3) 40% memiliki nilai kekerasan tertinggi di semua area (kecuali *decarburized area*) dan *effective casedepth* terdalam. Hal tersebut diakibatkan oleh banyaknya karbon yang berdifusi ke dalam *specimen* dengan peran katalisator sebanyak 40% sebagai *energizer* sehingga proses difusi atom-atom karbon lebih banyak ke dalam *specimen*.

Pengaruh Komposisi Katalisator Berdasarkan Statistik

Dalam hal ini, analisis regresi akan menjawab pengaruh komposisi katalisator terhadap *effective casedepth* yaitu sebagai berikut:

Tabel 6. Persamaan regresi

No	Komposisi Katalisator	<i>Effective Casedepth</i>	X ²	Y ²	X.Y
	X	Y			
1	0	1,06	0	1,1236	0
2	10	1,07	100	1,1449	10,7
3	20	1,10	400	1,21	22
4	30	1,18	900	1,3924	35,4
5	40	1,24	1600	1,5376	49,6
Σ	100	5,65	3000	6,4085	117,7

Maka diperoleh: $Y = a + bX$

$$\frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$a = \frac{(5,65 \times 3000) - (100 \times 117,7)}{5(3000) - (100)^2} \quad a = 1,036$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{5(117,7) - (100 \times 5,65)}{5(3000) - (100)^2} \quad b = 0,0047$$

Setelah harga a dan b ditemukan, maka persamaan regresi dapat disusun dengan komposisi katalisator dan *effective casedepth* yaitu:

$$Y = 1,036 + 0,0047X$$

Persamaan regresi yang telah ditemukan dapat digunakan untuk melakukan regresi (ramalan) tentang bagaimana individu dalam variabel dependen akan terjadi bila individu dalam variabel independen ditetapkan. Misalnya, komposisi katalisator = 25, maka nilai *effective casedepth* adalah:

$$Y = 1,036 + 0,0047 \times 25 = 1,15$$

Jadi, diperkirakan untuk komposisi katalisator 25, maka menghasilkan *effective casedepth* 1,15.

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\{(n\sum x^2) - (\sum x)^2\}\{(n\sum y^2) - (\sum y)^2\}}}$$

$$r = \frac{5(117,7) - (100 \times 5,65)}{\sqrt{\{5(3000) - (100)^2\} \times \{5(6,4085) - (5,65)^2\}}}$$

$$0,9594 \text{ (Tinggi)}$$

Harga r tabel untuk taraf signifikansi 5% dengan n = 5 (DF = n - 2) adalah 0,8054. Karena harga r hitung lebih besar dari r tabel (0,9594 > 0,8054), maka dapat disimpulkan terdapat hubungan (korelasi) positif dan signifikan sebesar 0,9594 antara komposisi katalisator dan *effective casedepth*.

Koefesien Determinasi (r^2):

$$\begin{aligned} \text{KD} &= r^2 \times 100\% \\ &= 0,9594^2 \times 100\% \\ &= 92,04\% \end{aligned}$$

Hal ini berarti variasi dari variabel komposisi katalisator dapat mempengaruhi variasi dari variabel nilai *effective casedepth* sebesar 92,04%.

Pengujian dilanjutkan menggunakan uji t untuk mengetahui pengaruh komposisi katalisator terhadap *effective casedepth*. Untuk keperluan tersebut, maka hipotesis statistik yang diuji adalah sebagai berikut:

H_0 : Tidak ada pengaruh positif komposisi katalisator terhadap *effective casedepth*

H_a : Ada pengaruh positif komposisi katalisator terhadap *effective casedepth*

Kaidah pengujian hipotesis yang digunakan adalah:

Terima H_0 jika $t_{hitung} < t_{tabel}$

Tolak H_0 jika $t_{hitung} > t_{tabel}$

Harga t_{tabel} untuk taraf signifikansi 5% dengan n = 5 (DF = 5 - 2) adalah 2,35.

Statistika Uji:

$$t_{hitung} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

$$t_{hitung} = \frac{0,9594\sqrt{5-2}}{\sqrt{1-0,9594^2}}$$

$$t_{hitung} = 5,89$$

Hasil analisis dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 7. Ringkasan hasil uji t.

t_{hitung}	t_{tabel}	Hasil Analisis	Kesimpulan Analisis	Kesimpulan Analisis
5,89	2,35	$t_{hitung} > t_{tabel}$	Tolak H_0	Ada pengaruh positif komposisi katalisator terhadap <i>effective casedepth</i>

Dengan demikian, secara perhitungan statistik terdapat pengaruh positif dari komposisi katalisator pada proses *pack carburizing* terhadap sifat mekanik yang mana fenomena ini sesuai dengan teori yang mengatakan bahwa katalisator cangkang telur mengandung CaCO_3 sehingga berfungsi untuk mempercepat reaksi dan berpengaruh pada proses *pack carburizing* karena peran katalisator sebagai *enegizer* penghasil gas CO_2 untuk bereaksi dengan atom-atom karbon dan membentuk gas CO berlangsung secara sempurna sehingga proses difusi interstisi atom-atom karbon berjalan dengan baik.

Hasil penelitian ini senada dengan penelitian yang dilakukan oleh Abdul Hay dan Arif Dermawa (2016: 39-43) Katalisator Cangkang Keong Mas Terhadap Sifat Mekanik Baja ST 42 Melalui Proses Karburasi yang menyatakan bahwa variasi komposisi katalisator cangkang keong mas yang digunakan mulai dari 10%, 20%, 30%, 40% hingga 50%. Hasil proses *pack carburizing* dengan komposisi katalisator sebanyak 40% mendapatkan nilai kekerasan yang paling tinggi sehingga dapat menurunkan laju keausan akibat *friction*.

Lebih lanjut, berdasarkan Nevada J.M. Nanulaita dan Eka R. M. A. P. Lilipaly (2011: 177-190) Analisis Perbandingan Komposisi Karbon dan Bubuk Tulang Sapi Dalam Proses Karburasi Padat Untuk Mendapatkan Nilai Kekerasan Tertinggi Pada Baja Karbon S 35 C yang menyatakan bahwa semakin besar komposisi tulang sapi maka semakin tinggi peningkatan nilai kekerasan, juga membuktikan tulang sapi dapat dimanfaatkan sebagai katalisator dalam proses karburasi padat.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, maka penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Cangkang telur yang mengandung CaCO_3 merupakan media yang baik sebagai katalisator pada proses *pack carburizing* yang memberikan pengaruh terhadap sifat kekerasan material JIS G 4051 S 15 CK.
2. Terjadi perubahan struktur mikro dari *specimen raw material* yang memiliki fasa *ferrite + pearlite* menjadi *martensite* dengan jarak sekitar 0,2 mm dari permukaan, zona transisi fasa yang merupakan campuran fasa *martensite + bainite* sekitar 0,7 mm dari permukaan dan fasa *bainite* sekitar 1,5 mm dari permukaan setelah proses *pack carburizing* dan *quenching* untuk *specimen A, B, C, D dan E*.
3. Komposisi media *pack carburizing* antara 60% arang tempurung kelapa dan 40% cangkang telur (CaCO_3) sebagai katalisator memberikan pengaruh paling besar terhadap peningkatan nilai kekerasan di semua area kedalaman dari 246 HV (*raw material*) menghasilkan nilai kekerasan tertinggi hingga mencapai 900 HV di kedalaman 0,2 mm dan *effective casedepth* terdalam sebesar 1,24 mm.
4. Proses *pack carburizing* berjalan dengan baik, dimana dalam proses ini diharapkan terjadi difusi atom-atom karbon pada baja sehingga membentuk fasa *martensite* yang memiliki kekerasan yang tinggi untuk mengurangi deformasi akibat *friction* tetapi pada bagian dalam tetap berfasa *ferrite* dan *pearlite* yang bersifat ulet supaya dalam pengaplikasiannya khususnya pada struktural mesin, mampu menerima beban yang dinamis.

Saran

Setelah menganalisa pengaruh variasi komposisi katalisator cangkang telur (CaCO_3) pada proses *pack carburizing* terhadap kekerasan dan struktur mikro material JIS G 4051 S 15 CK, ada beberapa hal yang perlu disarankan guna memperbaiki dan mengoptimalkan. Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah:

1. Penggunaan media katalisator pada proses *pack carburizing* agar mendapatkan hasil kekerasan yang optimal direkomendasikan menggunakan cangkang telur (CaCO_3) sebanyak 40% untuk menciptakan proses *pack carburizing* yang ramah lingkungan.
2. Bagi penelitian selanjutnya, hendaknya melakukan eksperimen untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi komposisi katalisator cangkang telur (CaCO_3) pada proses *pack carburizing* terhadap sifat ketahanan aus.

Referensi

1. ASTM International. 2007. Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens (ASTM E 3-01). United States: ASTM International
2. ASTM International. 1999. Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials (ASTM E 384-99). United States: ASTM International
3. JIS G 4051. 1979. Carbon Steels for Machine Structural Use. Japan: Japanese Standards Association.
4. D. Callister Jr., William. 2007. Material Science and Engineering: An Introduction. Wiley Asia Student Edition, John Wiley and Sons, Inc., 7th Edition, Salt Lake City, Utah, USA
5. Surdia, Tata dan Shinroku Saito. 1999. Pengetahuan Bahan Teknik. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
6. Kuswanto, Bambang. 2010. Pengaruh Perbedaan Ukuran Butir Arang Tempurung Kelapa-Barium Karbonat Terhadap Peningkatan Kekerasan Permukaan Material Baja ST 37 Dengan Proses Pack Carburizing. Tesis. Jurusan Magister Teknik Mesin. Universitas Diponegoro
7. Gunawan, Sigit dan Sigit Budi Harton. 2015. Analisis Pengaruh Media Pack Carburizing Terhadap Keausan dan Kekerasan Sprocket Sepeda Motor. Jurnal Penelitian. Jurusan Teknik Mesin. STTNas Yogyakarta. Volume 15 Nomor 2 : 52 - 59
8. Hay, Abdul dan Arif Darmawa. 2016. Katalisator Cangkang Keong Mas terhadap Sifat Mekanik Baja ST 42 Melalui Proses Karburasi. Jurnal Energi dan Manufaktur. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin. Volume 9 Nomor 1 : 39 - 43
9. Louhenapessy, Jandri dan W. M. E. Wattimena. 2014. Pengaruh Holding Time Dan Quenching Terhadap Kekerasan Baja Karbon St 37 Pada Proses Pack Carburizing Menggunakan Arang Batok Biji Pala (*Myristica Fagrans*). Jurnal TEKNOLOGI, Volume 11 Nomor 1 : 1163 – 1171
10. Nanulaita, Nevada J.M. dan Eka R.M.A.P. Lilipaly. 2011. Analisis Perbandingan Komposisi Karbon dan Bubuk Tulang Sapi dalam Proses Karburasi Padat untuk Mendapatkan Nilai Kekerasan Tertinggi Pada Baja Karbon S-35. Jurnal Teknologi. Jurusan Mesin, Politeknik Negeri Ambon. Volume 05 Nomor 2 : 177 – 189