

## PENGARUH UKURAN BUTIR KATALISATOR CANGKANG TELUR PADA PROSES *PACK CARBURIZING* TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO MATERIAL DIN 17210 C15

Dede Ardi Rajab<sup>1</sup>, Amri Abdulah<sup>1\*</sup>, Apang Djafar Shieddique<sup>1</sup>, Agus Husna<sup>1</sup>, Roy Waluyo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana, Indonesia, 41151

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Mesin, Universitas Ibn Khaldun, Indonesia, 16162

### ABSTRAK

Penambahan karbon pada permukaan baja karbon rendah sering disebut *pack carburizing*. Selain bahan kimia, katalisator untuk proses *pack carburizing* yang mudah didapatkan yaitu cangkang telur. Pada prosesnya, cangkang telur dihaluskan menjadi serbuk dan dicampur dengan arang tempurung kelapa. Dalam penelitian ini menggunakan variasi tiga tingkat ukuran butir cangkang telur, dengan ukuran yaitu  $\pm 1 \text{ mm}^2$ ,  $\pm 3 \text{ mm}^2$  dan  $\pm 5 \text{ mm}^2$  yang masing – masing dicampur dengan karbon aktif dari arang tempurung kelapa dengan komposisi 40% cangkang telur, 60% arang tempurung kelapa. Tujuan dari penelitian yaitu untuk mencari nilai kekerasan yang terbaik. *Specimen* yang digunakan sebagai material dasar adalah baja DIN 17210 C15 yang termasuk dalam kelompok baja karbon rendah. Suhu pada proses pemanasan di *furnace* yaitu  $950 \text{ }^\circ\text{C}$  dan *holding time* selama 2 jam, lalu pengambilan foto mikroskopik pada material kemudian uji kekerasan material sebelum dan sesudah *pack carburizing*. Hasil penelitian ditemukan nilai *effective case depth* yang paling tinggi adalah *specimen A* yang menggunakan ukuran butir katalisator  $\pm 1 \text{ mm}^2$  sebesar 1.2 mm dan terendah pada *specimen C* ukuran butir katalisator  $\pm 5 \text{ mm}^2$  sebesar 0.96 mm, dari hasil tersebut bahwa cangkang telur dengan ukuran butir yang lebih kecil akan mudah menjadi gas lebih cepat dibandingkan dengan yang lebih besar, kecepatan menjadi gas tersebut berpengaruh terhadap kekerasan permukaan *specimen* yang dihasilkan.

**Kata kunci :** *Butir; DIN; Effective case depth; katalisator; pack carburizing*

### ABSTRACT

*The addition of carbon to a low carbon steel surface is often called pack carburizing. Apart from chemicals, the catalyst for the pack carburizing process that is easily available is egg shells. In the process, the egg shells are mashed into powder and mixed with coconut shell charcoal. In this study, using three levels of variation in eggshell grain size, with sizes of  $\pm 1 \text{ mm}^2$ ,  $\pm 3 \text{ mm}^2$  and  $\pm 5 \text{ mm}^2$ , respectively mixed with activated carbon from coconut shell charcoal with a composition of 40% egg shell, 60% coconut shell charcoal. . The purpose of this research is to find the best hardness value. The specimen used as the base material is DIN 17210 C15 steel which is included in the low carbon steel group. The temperature in the heating process in the furnace is  $950 \text{ }^\circ\text{C}$  and the holding time is 2 hours, then take microscopic photos of the material then test the material hardness before and after the carburizing pack. The results showed that the highest effective case depth value was specimen A which used a catalyst grain size of  $\pm 1 \text{ mm}^2$  of 1.2 mm and the lowest was in specimen C the catalyst grain size was  $\pm 5 \text{ mm}^2$  of 0.96 mm. small will easily become a gas faster than larger ones, the speed of being gaseous affects the surface hardness of the specimen produced.*

**Keywords :** *Catalyst; DIN; effective case depth; grain; pack carburizing*

---

\* Penulis korespondensi

Email: amri@stt-wastukencana.ac.id

Diterima 30 Januari 2021; Penerimaan hasil revisi 10 Februari 2021; Disetujui 17 Februari 2021

Tersedia online Maret 2021

AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin © 2021

## 1. PENDAHULUAN

Kerusakan fungsi pada komponen mesin yang paling dominan adalah keausan yang mengakibatkan berkurangnya usia pakai, performa dan secara tidak langsung akan meningkatkan biaya *maintenance*. Pengurangan fungsi suatu komponen mesin 70% disebabkan oleh kerusakan pada permukaan logam yang meliputi keausan (55%), korosi (15%)(Abdulah A et al 2019). Mekanisme keausan yang dominan adalah keausan adhesif (25%) dan abrasif (20%), sedangkan sisanya disebabkan oleh mekanisme keausan yang lain(Rabinowicz 1976). Mengingat keausan merupakan penyebab utama pengurangan fungsi suatu komponen mesin, maka perlu usaha untuk meningkatkan sifat mekanik terutama ketahanan terhadap keausan, di antaranya adalah melalui pengerasan permukaan(Nnuka and Obiorah 2014). Kandungan karbon didalam struktur baja akan berpengaruh terhadap sifat mampu keras(Apang D Shieddieque et al 2020). Sifat ini dibutuhkan untuk komponen mesin yang saling bergesekan atau karena fungsinya harus mempunyai kekerasan tertentu.

Kekerasan permukaan baja 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*(Oluwafemi et al. 2015). 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 0.35 %. Sementara untuk baja dengan kandungan karbon dibawah 0.35 %, harus melalui proses penambahan karbon.

Baja DIN 17210 C15 dengan kandungan karbon 0.12%-0.18% termasuk baja karbon rendah dan mempunyai ketahanan aus yang rendah(DIN-17210 1986). Untuk meningkatkan

ketahanan aus diperlukan proses penambahan karbon, salah satu cara yang dapat dilakukan untuk pengerasan permukaan yaitu melalui proses *pack carburizing*(Aramide et al. 2010; Darmo and Widodo 2019; Kuswanto 2010). *Pack carburizing* adalah proses pengerasan pada permukaan dengan perlakuan termokimia yang bertujuan untuk menaikkan kandungan karbon pada lapisan permukaan baja hingga 0.7%-0.8% C.

Pada proses *pack carburizing* penggunaan material kimia sebagai media katalisator seperti *barium carbonate* ( $BaCO_3$ ), *calcium carbonate* ( $CaCO_3$ ), *potasium carbonate* ( $K_2CO_3$ ) dan *sodium carbonate* ( $Na_2CO_3$ ) yang tidak ramah lingkungan(Hassan 2015). Oleh karena itu, sebagai alternatif menggantikan penggunaan bahan kimia yaitu dengan pemanfaatan limbah cangkang telur(Rivera et al. 1999), karena cangkang telur mempunyai komposisi kimia dengan kalsium karbonat ( $CaCO_3$ ) 94%, kalsium fosfat 1%, material organik 4% dan magnesium karbonat 1%, sehingga penggunaan cangkang telur yang dijadikan katalisator pada proses *pack carburizing* bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanis yaitu kekerasannya pada baja DIN 17210 C15.

## 2. MATERIAL DAN METODE

### 2.1. Material Uji (*Specimen*)

*Specimen* yang digunakan adalah baja karbon rendah DIN 17210 C15 yang sering digunakan untuk baja dengan pengerasan permukaan, *specimen* berupa plat yang mempunyai ukuran 100 mm x 40 mm x 15 mm. dengan jumlah 6 pcs, gambar *specimen* dapat dilihat pada Gambar 1b. Sebelum digunakan untuk penelitian, baja ini terlebih dahulu dilakukan uji spektrometri, hasil uji spektrometri dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia sampel baja C15

Unsur kimia %													
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Ti	W	Sn	Fe
0.165	0.245	0.671	0.025	0.007	0.06	0.003	0.02	0.039	0.02	0.001	0.001	0.001	98.751

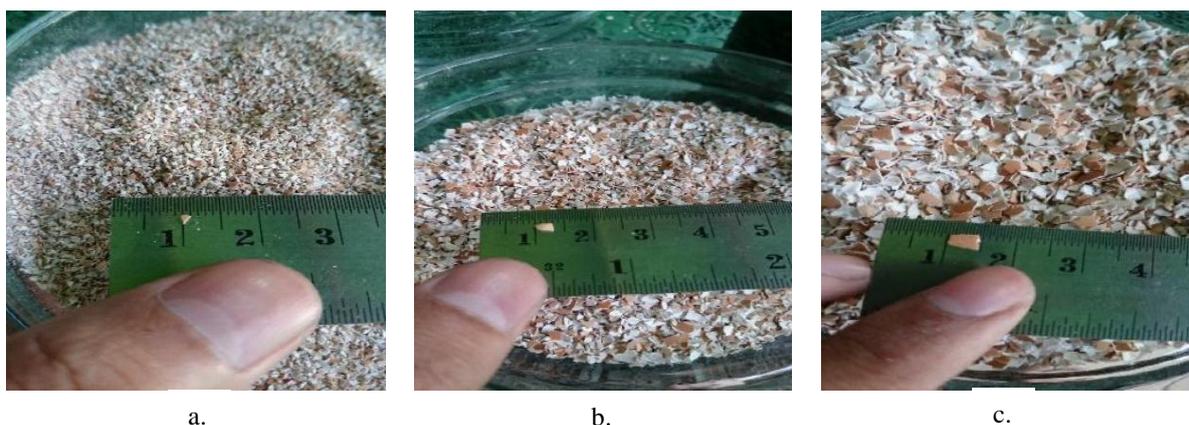
### 2.2. Material Katalisator

Material katalisator untuk penelitian ini menggunakan butir cangkang telur dengan variasi

tiga tingkat ukuran yaitu  $\pm 1mm^2$ ,  $\pm 3mm^2$  dan  $\pm 5mm^2$ , lalu masing-masing cangkang telur dicampur dengan arang tempurung kelapa.



a  
b  
Gambar 1. a Arang tempurung kelapa b. *Specimen* uji



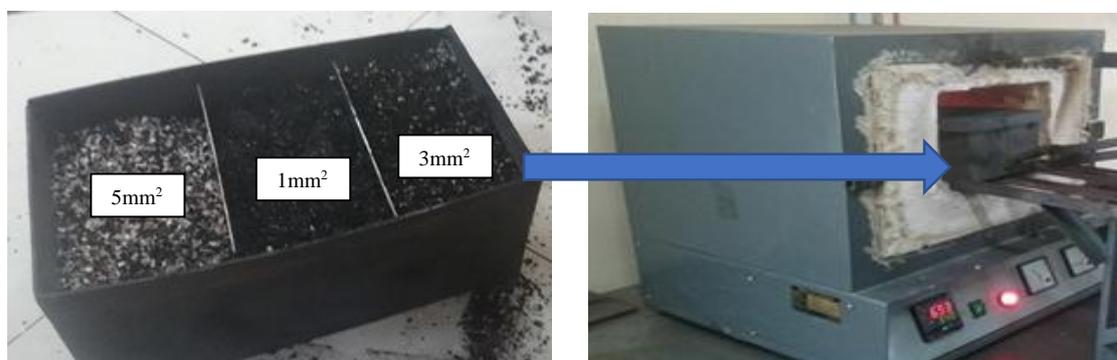
a. b. c.  
Gambar 2. Cangkang telur dengan ukuran a. 1mm<sup>2</sup> b. 3mm<sup>2</sup> dan c. 5mm<sup>2</sup>

### 2.3. Metode penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode eksperimen dengan variasi tiga tingkat ukuran butir cangkang telur yaitu dengan ukuran yaitu  $\pm 1 \text{ mm}^2$ ,  $\pm 3 \text{ mm}^2$  dan  $\pm 5 \text{ mm}^2$  yang masing – masing dicampur dengan karbon aktif dari arang

tempurung kelapa, dengan komposisi cangkang telur 40% dan arang tempurung kelapa 60%.

Pada Gambar 3. Material uji dan katalisator dimasukan ke kotak sementasi lalu proses pemanasan menggunakan *furnace* dengan parameter suhu 950 °C dan waktu ditahan selama 2 jam.



Gambar 3. Campuran Material uji dalam kotak sementasi dan *furnace* untuk proses pemanasan

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan pengambilan foto pada material uji yang menggunakan katalisator dan tidak menggunakan katalisator, lalu melakukan uji kekerasan sebelum

*pack carburizing* dan 7 kali uji kekerasan *specimen* pada tujuh titik indentasi sesudah *pack carburizing*. Penentuan titik indentasi

berdasarkan jarak dari permukaan hingga menuju inti *specimen*.

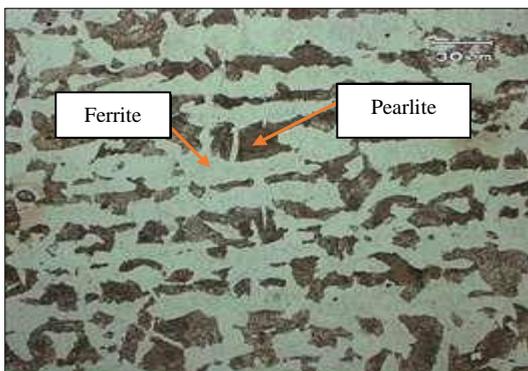
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk melihat perubahan mikrostruktur yang terjadi akibat dari proses *pack carburizing*. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan bantuan alat mikroskop optik olympus GX71 dengan perbesaran 50x (300  $\mu$ m) dan 500x (30  $\mu$ m).

#### 3.2 Foto mikro *specimen raw material*

Hasil pengamatan struktur mikro pada *specimen* dapat dilihat pada Gambar 4.



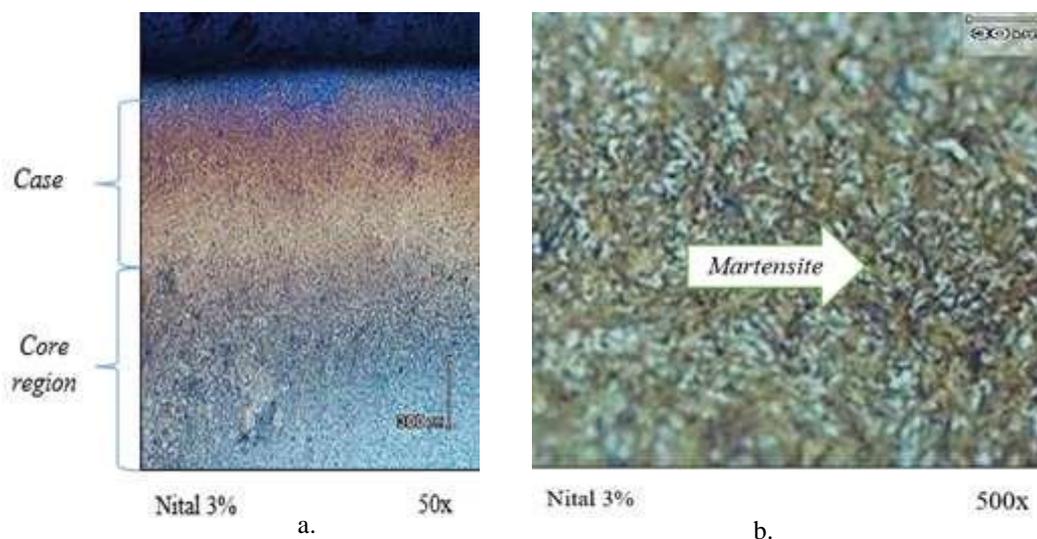
Gambar 4. Struktur mikro *specimen*

Gambar 4. menunjukkan struktur mikro *specimen* sebelum proses *pack carburizing* dengan pembesaran 500x, yang akan dilakukan proses *pack carburizing* terlihat fasa *ferrite* dan fasa *pearlite*. Fasa *ferrite* ditunjukkan pada *white area* sedangkan fasa *pearlite* ditunjukkan 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*.

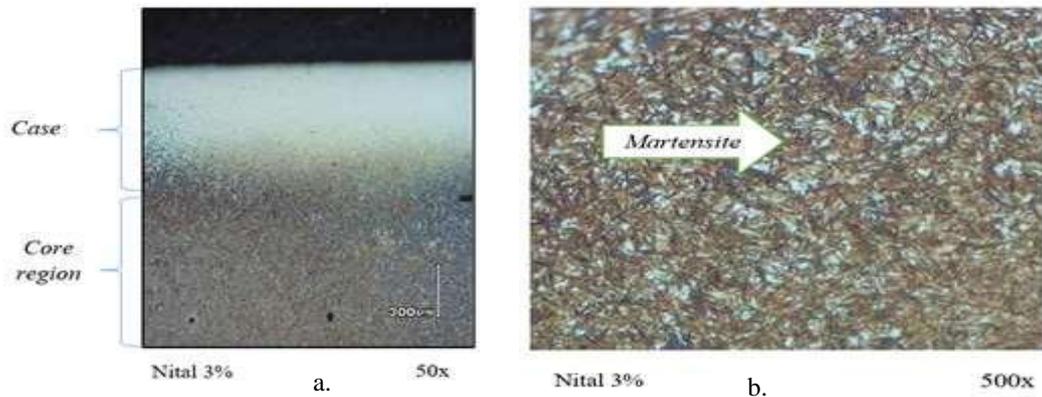
#### 3.3 Foto mikro sesudah *pack carburizing*

Foto mikro dilakukan untuk melihat perbedaan antara *case* dan *core region* (William D. Callister 2007) dan untuk melihat struktur martensite pada *case* yaitu terlihat struktur baja yang terbentuk seperti jarum yang mengindikasikan adalah *martensite* pada *low carbon steel* (ASM Metals Handbook 1972).

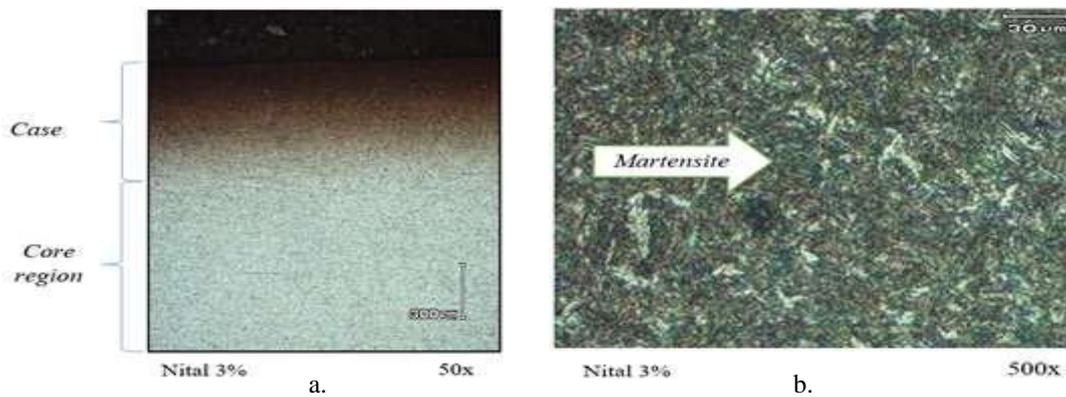
Gambar 5 sampai Gambar 8 menunjukkan struktur mikro terlihat perbedaan antara *case* dan *core region* pada bagian permukaan baja yang telah mengalami proses *pack carburizing* yang dilanjutkan proses *quenching* (William D. Callister 2007). Gambar 5. Menunjukkan foto mikro *specimen* yang tidak menggunakan katalisator.



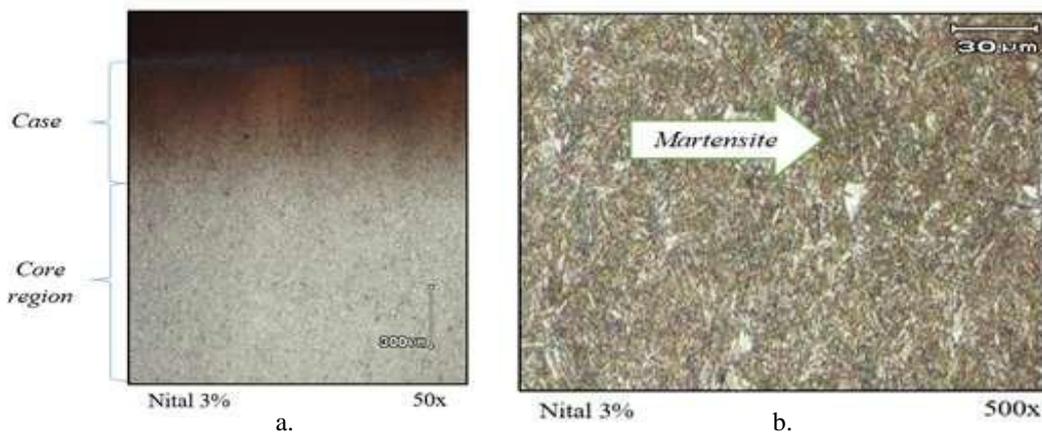
Gambar 5. Foto mikro *specimen* non katalisator



Gambar 6. Foto mikro *specimen A* dengan katalisator  $\pm 1\text{mm}^2$



Gambar 7. Foto mikro *specimen B* dengan katalisator  $\pm 3\text{mm}^2$



Gambar 8. menunjukkan foto mikro *specimen C* dengan katalisator  $\pm 5\text{mm}^2$

Gambar 6. Foto mikro *specimen A* ( Katalisator  $\pm 1\text{mm}^2$ ), Gambar 6a. Bagian permukaan hingga sekitar 1.7 mm dari permukaan dengan pembesaran 50x, lalu Gambar 6b. Bagian permukaan hingga sekitar 0.2 mm dari permukaan dengan pembesaran 500x. Gambar 7. Foto mikro *specimen B* ( Katalisator  $\pm 3\text{mm}^2$ ) Gambar 7a. Bagian permukaan hingga sekitar 1.7 mm dari permukaan dengan pembesaran 50x, lalu

Gambar 7b. Bagian permukaan hingga sekitar 0.2 mm dari permukaan dengan pembesaran 500x. Gambar 8. menunjukkan foto mikro *specimen C* dengan katalisator  $\pm 5\text{mm}^2$ , Gambar 8a. Bagian permukaan hingga sekitar 1.7 mm dari permukaan dengan pembesaran 50x dan Gambar 8b. Bagian permukaan hingga sekitar 0.2 mm dari permukaan dengan pembesaran 500x.

Pada Gambar 6 sampai Gambar 8 di atas struktur mikro tidak menunjukkan perbedaan yang jauh antara *specimen* non katalisator, variasi ukuran butir katalisator cangkang telur dari  $\pm 1 \text{ mm}^2$ ,  $\pm 3 \text{ mm}^2$  dan  $\pm 5 \text{ mm}^2$ , karena semua *specimen* menggunakan perlakuan yang sama mulai dari pemanasan dengan suhu  $950 \text{ }^\circ\text{C}$ , *holding time* selama 2 jam dan proses *direct quenching* dengan media air.

Pada bagian permukaan terdapat fasa yang berbentuk seperti jarum yang mengindikasikan bahwa fasa tersebut adalah fasa *martensite*, selain itu terdapat juga *austenite* sisa yang jumlahnya sedikit di dalam matrik *martensite* yang ditunjukkan dengan warna putih. Fasa *martensite* inilah yang menyebabkan nilai kekerasan pada permukaan untuk *specimen* hasil proses *pack carburizing* jauh lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kekerasan *specimen raw material*. Hal ini disebabkan karena fasa *martensite* yang keras dan terjadi difusi interstisi atom-atom karbon dari media *pack carburizing* ke dalam *specimen*.

Semakin ke dalam fasa *martensite* yang terbentuk semakin berkurang, hal ini dikarenakan kecepatan pendinginan yang lebih lambat

dibandingkan dengan bagian permukaan. Selain itu, berkurangnya fasa *martensite* ini dikarenakan difusi atom-atom karbon semakin ke dalam akan semakin sedikit sehingga fasa *martensite* yang terbentuk semakin sedikit pula hingga kedalaman kurang lebih sekitar 1 mm dan tetap berfasa *ferrite + pearlite* di bagian dalam. Ini berarti proses *pack carburizing* berjalan dengan baik, dimana dalam proses ini pada permukaan baja terbentuk fasa *martensite* yang memiliki kekerasan yang tinggi tetapi pada bagian dalam tetap berfasa *ferrite* dan *pearlite* yang bersifat ulet.

### 3.4 Hasil pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan *micro vickers* sesuai dengan standar ASTM E384 (American Society of Testing and Materials (ASTM) 2002), pengujian pada seluruh *specimen* dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dan nilai kedalaman efektif. Nilai kekerasan rata-rata *specimen raw material* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai kekerasan rata-rata *specimen* sebelum proses *pack carburizing*.

No	Titik Indentasi	d1 ( $\mu\text{m}$ )	d2 ( $\mu\text{m}$ )	davg ( $\mu\text{m}$ )	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
<b>Rata-rata</b>					<b>246</b>

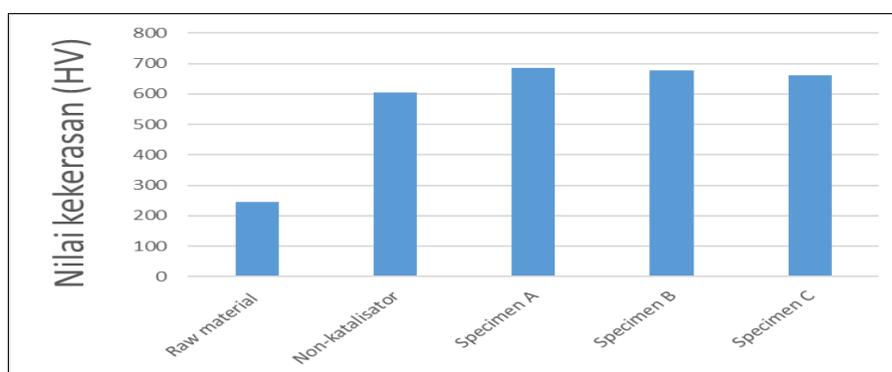
Pada Tabel 2 terlihat bahwa nilai rata-rata kekerasan *specimen raw material* melebihi nilai kekerasan fasa *ferrite* yang berkisar 200 HV, titik indentasi yaitu pada fasa *pearlite* yang mempunyai sifat lebih keras dari pada fasa *ferrite*. Penentuan titik indentasi dilakukan secara acak sesuai dengan letaknya fasa *pearlite* yang terdapat pada *specimen* sesuai dengan Gambar 9.



Gambar 9. Titik indentasi pada fasa *pearlite*

Tabel 3. Nilai kekerasan rata-rata *specimen* sebelum dan sesudah proses *pack carburizing*

No	Jarak dari Permukaan (mm)	Sebelum <i>pack carburizing</i> (HV)	Sesudah <i>pack carburizing</i> (HV)				
			Raw material	Non katalisator	Ukuran butir k atalisator		
					$\pm 1 \text{ mm}^2$	$\pm 3 \text{ mm}^2$	$\pm 5 \text{ mm}^2$
1	0,05	246	692	773	690	685	
2	0,1	246	744	809	844	802	
3	0,15	246	740	859	857	846	
4	0,2	246	779	880	867	875	
5	0,7	246	765	830	819	795	
6	1,2	246	255	392	369	347	
7	1,7	246	251	259	289	288	
<b>Rata-rata</b>		<b>246</b>	<b>604</b>	<b>686</b>	<b>676</b>	<b>663</b>	

Gambar 10. Kurva hasil uji kekerasan *specimen* sebelum dan sesudah proses *pack carburizing*

Gambar 10. menunjukkan peningkatan yang dipengaruhi dari penambahan katalisator pada proses *pack carburizing*, hal ini membuktikan bahwa *specimen* dengan katalisator menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *specimen* tanpa katalisator. Dengan demikian *calcium carbonate* ( $\text{CaCO}_3$ ) yang terdapat pada cangkang telur, berpengaruh untuk mempercepat reaksi pada proses *pack carburizing* karena peran katalisator sebagai enegizer penghasil gas  $\text{CO}_2$  untuk bereaksi dengan atom-atom karbon dan membentuk gas  $\text{CO}$  berlangsung, sehingga proses difusi interstisi atom-atom karbon berjalan dengan baik. Proses *carburizing* dibawah pengaruh panas, membutuhkan gas  $\text{CO}_2$  untuk membentuk gas  $2 \text{CO}$  yang dapat masuk kedalam struktur baja.

Ketersediaan gas  $\text{CO}_2$  selama proses berlangsung dipengaruhi oleh ruangan kosong antar butir cangkang telur. Ruangan kosong yang terbentuk akibat susunan antar butir cangkang

telur akan terisi oleh udara. Besarnya ruangan akan berpengaruh terhadap banyaknya udara yang tersedia tergantung pada ukuran butir cangkang telur. Ukuran butir cangkang telur juga menentukan cepat atau lambatnya butir cangkang telur padat menjadi gas.

Ukuran butir yang kecil lebih cepat berubah menjadi gas dibandingkan ukuran butir yang lebih besar. Semakin kecil ukuran butir berarti semakin banyak jumlah butir, jumlah butir yang semakin banyak maka area batas butir semakin luas sehingga semakin banyak mekanisme pembentukan  $\text{CO}_2$  dan membantu penyerapan karbon ke dalam baja lebih cepat. Oleh karena itu, *specimen A* dengan ukuran butir katalisator  $\pm 1 \text{ mm}^2$  menghasilkan peningkatan kekerasan lebih baik dari *specimen B* dengan ukuran butir katalisator  $\pm 3 \text{ mm}^2$  atau *specimen C* dengan ukuran butir katalisator  $\pm 5 \text{ mm}^2$ . Pada *specimen non katalisator*, nilai kekerasan rata-ratanya sebesar 604 HV dengan laju peningkatan

kekerasan sebesar 2.98 HV/menit. Nilai kekerasan rata-rata *specimen* A sebesar 686 HV dengan laju peningkatan kekerasan sebesar 3.66 HV/menit. Nilai kekerasan rata-rata *specimen* B sebesar 676 HV dengan laju peningkatan kekerasan adalah sebesar 3.58 HV/menit, dan nilai kekerasan rata-rata *specimen* C sebesar 663 HV dengan laju peningkatan kekerasan adalah sebesar 3.46 HV/menit.

### 3.5 Kedalaman efektif

Menurut standar ISO No. 2639-1973, Kedalaman efektif atau *Effective Case Depth (ECD)* didefinisikan sebagai jarak dari permukaan *specimen* ke suatu bidang yang memiliki kekerasan sebesar 550 HV. Kedalaman efektif *specimen* hasil proses *pack carburizing* dapat dilihat pada Tabel 4.

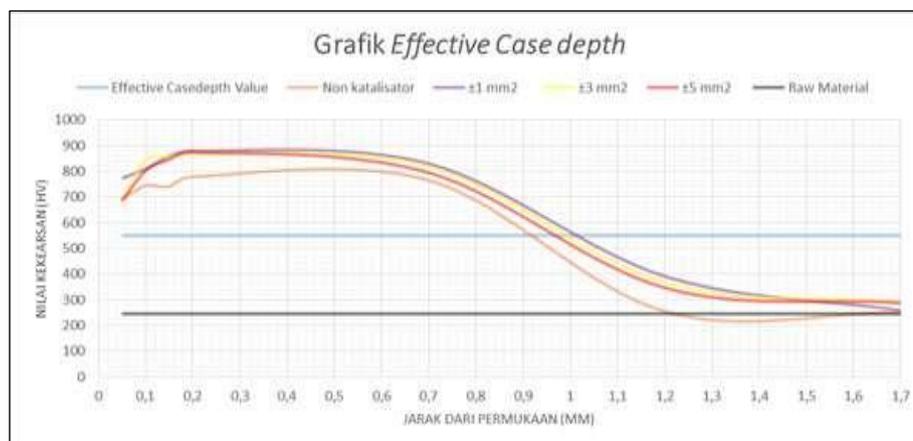
Tabel 4. Kedalaman efektif *specimen* sebelum dan sesudah *pack carburizing*

No	Jarak dari Permukaan (mm)	Sebelum <i>pack carburizing</i> (HV)	Nilai Kekerasan sesudah <i>pack carburizing</i> (HV)			
		Raw Material	Non katalisator	Ukuran butir katalisator		
				$\pm 1 \text{ mm}^2$	$\pm 3 \text{ mm}^2$	$\pm 5 \text{ mm}^2$
1	0,05	246	692	773	690	685
2	0,1	246	744	809	844	802
3	0,15	246	740	859	857	846
4	0,2	246	779	880	867	875
5	0,7	246	765	830	819	795
6	1,2	246	255	392	369	347
7	1,7	246	251	259	289	288
<i>Effective Case depth (mm)</i>			0,92	1,2	0,98	0,96

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan kekerasan permukaan logam yang telah mengalami proses *pack carburizing*, diketahui bahwa semua variasi ukuran butir katalisator dapat mencapai standar yang diinginkan walaupun nilai kekerasannya berbeda.

Pada *specimen* non katalisator rata-rata nilai kekerasannya meningkat menjadi 604 HV

dengan nilai ECD yaitu 0.92 mm, ukuran butir  $\pm 1 \text{ mm}^2$  rata-rata nilai kekerasan meningkat menjadi 686 HV dengan nilai ECD yaitu 1.2 mm, ukuran butir  $\pm 3 \text{ mm}^2$  rata-rata nilai kekerasan menurun menjadi 676 HV dengan nilai ECD yaitu 0.98 mm dan ukuran butir  $\pm 5 \text{ mm}^2$  rata-rata nilai kekerasan menurun menjadi 663 HV dengan nilai ECD yaitu 0.96 mm.



Gambar 11. Kurva *effective case depth* (ECD)

Pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa semakin kecil ukuran butir katalisator, maka semakin besar nilai ECD. Pada aplikasi di lapangan, ECD bergantung pada jenis pemanfaatannya sehingga kedalaman pengerasan antara jenis *part* satu dengan yang lain akan berbeda.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang dilakukan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Proses *pack carburizing* menggunakan butir katalisator cangkang telur dapat meningkatkan nilai kekerasan, hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian. Nilai kekerasan rata-rata awal bahan sebelum proses *pack carburizing* adalah sebesar 246 HV, selanjutnya pengujian sesudah proses *pack carburizing* untuk *specimen* non katalisator, nilai kekerasan rata-ratanya sebesar 604 HV dengan laju peningkatan kekerasan sebesar 2.98 HV/menit. Nilai kekerasan rata-rata *specimen* A sebesar 686 HV dengan laju peningkatan kekerasan sebesar 3.66 HV/menit. Nilai kekerasan rata-rata *specimen* B sebesar 676 HV dengan laju peningkatan kekerasan adalah sebesar 3.58 HV/menit, dan nilai kekerasan rata-rata *specimen* C sebesar 663 HV dengan laju peningkatan kekerasan adalah sebesar 3.46 HV/menit.
- Fasa *martensite* terbentuk pada permukaan *specimen* setelah proses *pack carburizing* dengan menggunakan suhu 950° C dan *holding time* selama 2 jam yang dilanjutkan dengan *quenching* menggunakan media air.
- Penelitian yang dilakukan pada tiga macam ukuran butir cangkang telur, ditemukan nilai

ECD yang paling tinggi adalah *specimen* A sebesar 1.2 mm, diikuti oleh *specimen* B sebesar 0.98 mm dan berikutnya *specimen* C sebesar 0.96 mm, dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin kecil ukuran butir katalisator, maka semakin besar nilai ECD.

#### REFERENSI

- Abdulah A et al. 2019. "Analisa Dampak Laju Korosi Terhadap Kekuatan Oven Wire Belt (Baja Karbon AISI 1065)." *Teknologika* 9 (2). <http://jurnal.stt-wastukencana.ac.id/index.php/teknologika/article/view/12/8>.
- American Society of Testing and Materials (ASTM). 2002. "Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials - ASTM E384." *ASTM Standards* 14: 1–24.
- Apang D Shieddieque et al. 2020. "Analysis Corrosion Resistance and Flexural Stress of AISI 304L Using ER308L in GTAW with Currents Variations." *Technology Reports of Kansai University* 62 (06): 3115–22.
- Aramide, Fatai Olufemi, Simeon Ademola Ibitoye, Isiaka Oluwole Oladele, and Joseph Olatunde Borode. 2010. "Pack Carburization of Mild Steel, Using Pulverized Bone as Carburizer: Optimizing Process Parameters." *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies* 9 (16): 1–12.
- ASM Metals Handbook. 1972. "Atlas of Microstructures of Industrial Alloys."
- Darmo, Adityo Noor Setyo, and Sri Widodo. 2019. "Pengaruh Proses Pack Carburising Terhadap Kekerasan Baja Karbon Rendah."

- Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tidar*, no. 2: 73–78.
- DIN-17210. 1986. Case-hardening-steels, issued 1986.
- Hassan, Kharia Salman. 2015. “Comparative of Wear Resistance of Low Carbon Steel Pack Carburizing Using Different Media.” *International Journal of Engineering & Technology* 4 (1): 71. <https://doi.org/10.14419/ijet.v4i1.3866>.
- Kuswanto, Bambang. 2010. “Perlakuan Pack Carburizing Pada Baja Karbon Rendah Sebagai Material Alternatif Untuk Pisau Potong Pada Penerapan Teknologi Tepat Guna.” *Prosiding SNST Fakultas Teknik* 1 (1): 20–24. [https://www.publikasiilmiah.unwahas.ac.id/index.php/PROSIDING\\_SNST\\_FT/article/view/198](https://www.publikasiilmiah.unwahas.ac.id/index.php/PROSIDING_SNST_FT/article/view/198).
- Nuka, E E, and S M O Obiorah. 2014. “Effect Of Process Variables On The Mechanical Properties Of Surface Hardened Mild Steel Quenched In Different Media.” *International Journal of Scientific & Technology Research* 3 (4): 388–98.
- Oluwafemi, Olanike Mary, Samuel Ranti Oke, Iyiola Olatunji Otunniyi, and Fatai Olufemi Aramide. 2015. “Effect of Carburizing Temperature and Time on Mechanical Properties of AISI/SAE 1020 Steel Using Carbonized Palm Kernel Shell.” *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies* 14 (27): 41–56.
- Rabinowicz, Ernest. 1976. “Wear.” *Materials Science and Engineering* 25 (C): 23–28. [https://doi.org/10.1016/0025-5416\(76\)90047-1](https://doi.org/10.1016/0025-5416(76)90047-1).
- Rivera, Eric M., Miguel Araiza, Witold Brostow, Victor M. Castaño, J. R. Díaz-Estrada, R. Hernández, and J. Rogelio Rodríguez. 1999. “Synthesis of Hydroxyapatite from Eggshells.” *Materials Letters* 41 (3): 128–34. [https://doi.org/10.1016/S0167-577X\(99\)00118-4](https://doi.org/10.1016/S0167-577X(99)00118-4).
- William D. Callister, Jr. 2007. *Materials Science and Engineering An Introduction*. John Wiley & Sons, Inc. 7th ed. John Wiley & Sons, Inc.