

EFEK PERSENTASE BARIUM KARBONAT DENGAN ARANG TEMPURUNG KELAPA TERHADAP KEKERASAN BAJA KARBON AISI 2015

Frans Robert Bethony: Dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja

INTISARI

Proses perlakuan panas merupakan salah satu proses pengerasan permukaan baja karbon AISI 2015 dengan proses difusi atom karbon. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efek persentase BaCO₃ sebagai bahan *energizer* dengan serbuk arang tempurung kelapa (SATK) pada perlakuan panas dengan metode prosespengarbonan padat (*Pack Carburizing Process Method*) untuk meningkatkan kekerasan pada lapisan permukaan baja karbon AISI 2015.

Serbuk arang tempurung kelapa dengan *mesh* 30 yang digunakan sebagai media penambah unsur karbon pada permukaan baja karbon AISI 2015. Persentase 0, 5, 10, dan 20% berat BaCO₃ dengan 100, 95, 90, dan 80% berat serbuk arang tempurung kelapa, dengan spesimen baja karbon AISI 2015 berdiameter 25 mm, tebal 15 mm. Baja karbon AISI 2015 memiliki unsur-unsur kimia sebagai berikut: 98,482% Fe; 0,194 % C; 0,152 % Si; 0,637% Mn; 0,032% P; 0,032% S; 0,095% Ni; 0,014% Mo; 0,197% Cu; 0,025% Sn; 0,134% Cr, dan unsur-unsur kimia lainnya dalam persentase tertentu. Proses pengarbonan padat dilakukan pada suhu 900°C, dengan lama waktu prosespemanasan 3 jam. Pengerasan permukaan dilakukan dengan memanaskan kembali spesimen pada suhu 840°C ditahan selama 20 menit kemudian di-*quenching* dengan media air pada suhu kamar.

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa penambahan 20% berat BaCO₃ sebagai *energizer* dengan 80% berat arang tempurung kelapa dengan *mesh* 30, memberikan tebal lapisan keras pada bagian permukaan spesimen yang optimal. Padaprosespengarbonan padat dengan lama waktu pemanasan 3 jam memberikan kekerasan lapisan permukaan spesimen baja karbon AISI 2015 dapat mencapai 800 VHN atau sekitar 8 kali kekerasan awalnya.

Keywords: baja karbon AISI 2015, BaCO₃ dan SATK, kekerasan, pengarbonan padat, *energizer*.

1. Pendahuluan

Proses perlakuan panas dengan menggunakan suatu prinsip kimia iawi merupakan metode yang digunakan untuk memperoleh sifat yang berbeda pada permukaan dan bagian tengah komponen (Rajan, 1997). Kondisi demikian kadang diperlukan pada komponen yang harus keras permukaannya dan tahan aus, tetapi bagian tengahnya lebih ulet dan tangguh.

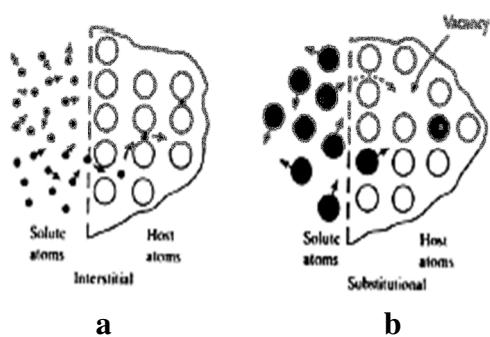
Kombinasi sifat ini menjamin komponen memiliki ketahanan aus yang cukup untuk memberi umur pakai lebih lama di samping cukup tangguh terhadap beban kejut.

Proses pengarbonan padat adalah suatu proses penambahan unsur karbon pada permukaan sebuah komponen secara difusi untuk meningkatkan baik sifat fisis

maupun sifat mekanis. Sampai saat ini prosespengarbonan padat masih banyak digunakan, bahkan telah dikembangkan menggunakan sistem vakum dengan prosespengarbonan cair (*liquid carburizing*).

Metode prosespengarbonan dengan teknologi yang modern ini dikembangkan oleh Ralph Poor dan Stephen Verhoff dari perusahaan *Surface Combution Inc, Maumee Ohio USA* (2002) dan telah digunakan pada komponen *gear helix* (roda gigi *helix*) untuk transmisi yang berbahan dasar baja paduan AISI – SAE 5130.

Walaupun *gear helix* memiliki geometri yang rumit tetapi lapisan karbon yang diperoleh pada diameter *pitch* dan *root gear* sangat seragam.



Gambar 1. Pemodelan terjadinya proses difusi: (a) Secara Interstisi, (b) Secara Substitusi (Budinski ,1999: 303)

Proses perlakuan panas dapat pula dilakukan secara sederhana, yaitu dengan proses karburasi padat (*pack carburizing process*). Proses ini terdiri dari dua proses perlakuan terhadap komponen, yaitu:

1. Perlakuan termokimia karena komposisi kimia permukaan baja karbon diubah dengan difusi karbon dan/atau nitrogen dan terkadang dengan elemen lainnya.
 2. Transformasi fasa akibat pemanasan dan pendinginan cepat permukaan luar (Rajan, 1997).

Difusi adalah gerak spontan dari atom atau molekul di dalam bahan yang cenderung membentuk komposisi yang seragam (Budinski, 1999). Model difusi pada bahan padat diperlihatkan pada gambar 1. Hukum pertama Fick's menyatakan bahwa difusi dari sebuah elemen dalam suatu bahan spesimen merupakan fungsi koefisien difusi dan gradien konsentrasi.

Hukum pertama Fick's :

$$J = D \left(\frac{dC}{dx} \right) \dots \dots \dots \dots \dots \quad .(1)$$

Pada sistem karburasi padat, komponen ditempatkan dalam kotak yang berisi media penambah unsur karbon, kemudian dipanaskan pada suhu austenisasi sehingga media penambah unsur karbon saat pemanasan akan mengeluarkan gas CO_2 dan CO . Gas CO ini bereaksi dan terurai pada permukaan baja karbon AISI 2010 membentuk atom

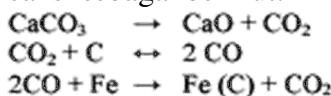
karbon yang kemudian berdifusi ke permukaan baja, sehingga kadar karbon pada permukaan baja akan meningkat.

Media penambah unsur karbon pada proses karburasi padat umumnya berasal dari serbuk grafit, arang kayu atau tempurung kelapa. Zat pengaktif (*energizer*) biasa ditambahkan ke dalam media karburasi untuk mempercepat proses karburasi padat. *Energizer* pada proses ini umumnya adalah barium karbonat sebanyak 20-25% berat dengan sedikit barium karbonat atau 20-25% natrium karbonat dengan sedikit barium karbonat. Jadi barium karbonat ($BaCO_3$) umumnya hanya ditambahkan dalam jumlah kecil, namun seberapa jumlah efektifnya belum diketahui.

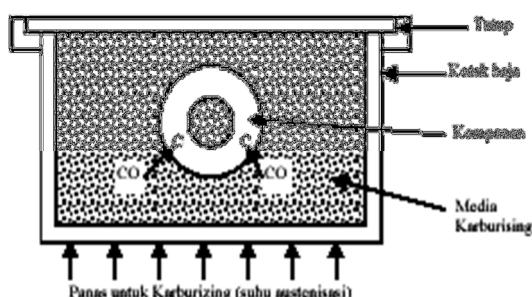
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas BaCO₃ sebagai *energizer* pada prosespenggarbonan padat dengan indikator hasil proses adalah kekerasan permukaan dan tebal lapisan keras setelah dilakukan *quenching*. Prosespenggarbonan padat (*pack carburizing process*) dengan media arang kayu atau tempurung kelapa saat ini masih banyak ditelaah seperti yang dilakukan oleh Suryanto (2003a) yang meneliti pengaruh penambahan barium karbonat pada media karburasi arang kayu terhadap kekerasan permukaan baja karbon AISI 2010. Suryanto (2003b) juga mengkaji pengaruh komposisi media karburasi serbuk arang kayu-barium karbonat terhadap laju keausan baja karbon AISI 2010.

Hasil kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa 25% barium karbonat memberikan kekerasan permukaan tertinggi dan peningkatan ketahanan aus hingga 294%. Pada kedua penelitian tersebut, di samping barium karbonat, Suryanto juga menambahkan barium karbonat ($BaCO_3$) sebanyak 3%, pada media karburasi. Sedangkan (Sudarsono, dkk, 2003) meneliti pengaruh waktu proses karburasi dan media pencelupan dingin (*quenching*) pada baja AISI – SAE1522.

Pada penelitian ini, menggunakan natrium karbonat sebanyak 20% sebagai *energizer* pada media karburasi serbuk arang batok kelapa dengan waktu proses karburasi 2, 3, dan 4 jam. Penambahan barium karbonat (BaCO_3) berfungsi sebagai *energizer decomposes* dengan reaksi sebagai berikut:



Barium karbonat(BaCO_3) terurai akibat energi panas. Karbon dioksida hasil penguraian tersebut bereaksi dengan karbon dalam arang membentuk karbon monoksida (CO) dan selanjutnya terjadi proses difusi karbon dengan besi (Fe). Gas CO_2 sisa hasil reaksi difusi akan segera bereaksi kembali dengan unsur C dari arang dan kembali membentuk CO. Proses reaksi ini berlangsung terus menerus.



Gambar 2. Proses karburasi padat (Budinski, 1999: 305)

Proses pengarbonan (*carburizing*) merupakan proses *thermo-chemical* yang dilakukan dengan cara memanaskan spesimen pada suhu austenitnya dalam ruang yang mengandung serbuk karbon yang dilakukan oleh (Nanulaitta dan Lillipaly, 2012). Pengarbonan ini bertujuan untuk menaikkan kadar karbon pada lapisan permukaan baja sehingga diperoleh baja yang memiliki permukaan keras.

Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan nilai kekerasan dan struktur mikro pada baja S45C akibat variasi katalis pada proses *carburizing*. Penelitian ini dilakukan pada material baja karbon dengan kandungan karbon 0,520% C, kemudian bahan dibuat

spesimen uji kekerasan sesuai standar JIS Z 2201 1981.

Proses *carburizing* pada material dengan suhu 900°C dan *holding time* 4 jam, sumber karbon yang digunakan yaitu arang batok kelapa, dengan variasi katalis yang digunakan yaitu barium karbonat, kalium karbonat, dan natrium karbonat. Arang batok kelapa dan katalis dicampur dengan komposisi sebesar 75% arang batok kelapa dan 25% katalis.

Berdasarkan hasil eksperimen pengujian kekerasan diperoleh nilai rata-rata kekerasan pada spesimen *raw material* mempunyai nilai kekerasan 201,3 kg/mm², kelompok spesimen A (spesimen dengan katalis barium karbonat) sebesar 218,7 kg/mm, kelompok spesimen B (spesimen dengan katalis kalium karbonat) sebesar 216,7 kg/mm², dan kelompok spesimen C (spesimen dengan katalis natrium karbonat) yang mempunyai nilai kekerasan sebesar 217,9 kg/mm².

Sedangkan pada pengamatan struktur mikro untuk spesimen yang telah dicarburizing terlihat fase *martensit*. Kesimpulan dari penelitian ini adalah penggunaan katalis barium karbonat sebesar 25% memberikan peningkatan kekerasan paling tinggi dan optimal dibandingkan penggunaan katalis kalium karbonat dan natrium karbonat.

Selain itu terjadi perubahan struktur mikro baja jenis S45C akibat variasi katalis yang digunakan dalam proses *carburizing*. Keadaan ini terlihat dari hasil foto struktur mikro dimana ada pertumbuhan dari keadaan kristal yang kasar menjadi keadaan kristal yang halus. Kehalusannya kristal mulai terlihat dari bahan yang diberi penambahan katalis. Bagi penelitian selanjutnya diharapkan dapat meneliti faktor-faktor lain yang mempengaruhi nilai kekerasan dan struktur mikro yang tidak dibahas dalam penelitian ini.

Penelitian yang dilakukan untuk menyelidiki efek proses *pack carburizing* dengan media arang tempurung kelapa dan barium karbonat terhadap *fatigue failure* dan distribusi kekerasan mikro pada baja

karbon AISI 1020 (Bethony dan Malau, 2007). Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon AISI 1020, arang tempurung kelapa dan barium karbonat. Sampel uji fatik dan kekerasan mikro baja AISI 1020 masing-masing dibuat sesuai dengan standar ASTM E-466 dan ASTM E 92. Sampel uji dikenai proses *pack carburizing* dengan media campuran antara 80% serbuk arang tempurung kelapa dan 20% barium karbonat (BaCO_3).

Proses *carburizing* dilakukan pada variasi temperatur pemanasan 850°C , 900°C dan 950°C dengan waktu penahanan selama 3 jam. Selanjutnya, sampel uji dilakukan proses *quenching* pada temperatur 840°C dengan waktu penahanan selama 20 menit. Pengujian fatik dilakukan dengan mesin uji *rotary bending machine*, sedangkan pengujian kekerasannya dilakukan dengan *micro hardness tester*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur proses *carburizing* semakin tinggi pula ketahanan lelah (*fatigue failure*) dan harga kekerasan mikro sampel uji dari baja AISI 1020. Kekerasan tertinggi terjadi pada bagian permukaan sampel uji, yaitu $910,96 \text{ kg/mm}^2$, sedangkan kekerasan terendah terjadi pada bagian inti, yaitu $120,94 \text{ kg/mm}^2$ (bagian dalam sampel uji).

Penelitian analisis perlakuan panas bertahap terhadap kekerasan dan kekuatan tarik baja karbon rendah atau baja ST 37 (Bethony, 2015). Proses perlakuan panas bertahap, suhu divariasi yaitu 800°C , 850°C , 900°C , dan 950°C . Hasil pengujian dari penelitian ini adalah kekerasan tertinggi diperoleh pada suhu 850°C , yaitu $83,33 \text{ kg/mm}^2$, sedangkan kekerasan spesimen normal adalah 55 kg/mm^2 .

Penelitian yang dilakukan (Nanulaitta dan Lillipaly, 2012) menunjukkan bahwa pemanfaatan media lokal dalam hal ini Tulang Sapi (CaCO_3) dapat dipergunakan sebagai alternatif pengganti katalisator BaCO_3 (Barium Carbonat) dalam proses Karburasi Padat.

Dengan semakin besar besaran butiran katalisator. Laju penyerapan karbon paling cepat terjadi pada proses dengan penahanan waktu 15 menit dengan komposisi dari 1 kg campuran yang terdiri 70% karbon (arang kayu nani) dan 30% tulang sapi (CaCO_3) dengan besaran butiran 5 mm yaitu sebesar 2.89 HRC/Menit . Kemudian di ikuti dengan besaran butiran katalisator 3 mm dan 1 mm dengan nilai $155.19 \text{ HR}_C/\text{Menit}$ dan 154.18 HRC/Menit dimana peningkatan laju nilai kekerasan rata-rata terbesar terjadi pada besaran butiran katalisator 5 mm sebesar 155.90 HR_C atau 35.90 % meningkat dari nilai kekerasan awal.

Penelitian yang dilakukan oleh (Nanulaitta dan Patty, 2011) menunjukkan bahwa pemanfaatan media lokal dalam hal ini Cankang kerang (CaCO_3) dapat dipergunakan sebagai alternatif pengganti katalisator BaCO_3 (Barium Carbonat) dalam proses Karburasi Padat.

Laju penyerapan karbon paling cepat terjadi pada proses dengan penahanan waktu 45 menit dengan komposisi dari 1 kg campuran yang terdiri 60% karbon (arang kayu nani) dan 40% Cangkang kerang (CaCO_3) yaitu sebesar $123,38 \text{ HR}_C$. Kemudian di ikuti dengan penahanan waktu (Holding Time) 30 menit dan 15 menit dengan nilai $108,96$ dan $101,19$ dimana peningkatan laju nilai kekerasan rata-rata terbesar juga terjadi pada penahanan waktu 45 menit, sebesar $0,636$, atau 30,2%.

2. Proses Penelitian

2.1. Bahan Penelitian.

Pada penelitian ini sebagai media pengarbonan padat yang digunakan 80% berat serbuk arang tempurung kelapa dengan *mesh* 30 dan 20% berat BaCO_3 , sedangkan baja karbon AISI 2015 yang digunakan sebagai spesimen penelitian yang memiliki unsur-unsur kimia sebagai berikut: 98,482% Fe; 0,194% C; 0,152% Si; 0,637% Mn; 0,032% P; 0,032% S; 0,095% Ni; 0,014% Mo; 0,197% Cu; 0,025% Sn; 0,134% Cr,

dan unsur-unsur kimia lainnya dalam persentase tertentu.

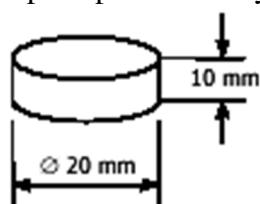
2.2. Proses Pengarbonan Padat (*pack carburizing process*).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengarbonan padat (*pack carburising method*). Arang tempurung kelapa setelah dihancurkan kemudian diayak.

Barium karbonat dicampurkan dengan komposisi 0, 5, 10, 15, dan 20 % berat. Pemilihan prosentase didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Suryanto (2003a dan 2003b). Pada penelitian tersebut menggunakan barium karbonat sebanyak 0, 20, 25, dan 30% beat, serta 3% barium karbonat. Spesimen diletakkan dalam kotak baja di dalam lingkungan campuran serbuk arang tempurung kelapa dan barium karbonat.

Setelah itu, kotak dimasukkan dalam *furnace* (dapur pemanas). Temperatur pada proses karburasi dipilih 850°C, dengan waktu proses 2, 3 dan 4 jam. Pemilihan temperatur proses karburasi didasarkan pada komposisi kimia baja karbon yang digunakan, yaitu 0,082%C. Proses difusi atom akan terjadi pada temperatur kira-kira 0,5 *melting point* (Budinski, 1999).

Dari diagram fasa Fe-C, diketahui baja karbon tersebut memiliki *melting point* ±1600°C. Setelah karburising, baja karbon diquenching secara bersamaan ke dalam air bersuhu 27°C untuk memperoleh lapisan keras pada permukaannya.



Gambar 3. Dimensi benda uji yang akan dikarburasi

2.3. Pengujian.

Kekerasan (*hardness*) adalah kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan, keausan, indentasi, penetrasi dan mampu menahan

beban sampai pada terjadinya deformasi plastis. Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengevaluasi perlakuan panas, dan mendeteksi pengerasan atau pelunakan akibat *overheating*, dekarburisasi ataupun pengerasan permukaan.

Metode pengukuran kekerasan, yaitu dilakukan dengan cara material diindentasi menggunakan indentor pada permukaan benda uji dengan beban tertentu kemudian bekas penekanan yang terbentuk diukur. "Indentor biasanya terbuat dari baja yang dikeraskan, tungsten karbida dan intan yang berbentuk piramid beralas bujur sangkar dengan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan 136°.

Seacsra umum pangujian kekerasan menggunakan metode Vickers dengan skala mikro (micro hardness) yang dilakukan berdasarkan standar ASTM. Pada pengujian Vickers, pembebahan diberikan secara perlahan tanpa adanya beban kejut dan ditahan 10-15 detik. Setelah indentor terangkat, kedua diagonal bekas injakan diukur dan diambil rata-ratanya, kemudian kekerasan indentasi Vickers (HV) dihitung dengan persamaan :

$$HV = \frac{2.P.\sin(\theta/2)}{d^2} \dots\dots\dots (2)$$

dimana : P = beban indentasi (kg)

d = diagonal rata-rata bekas

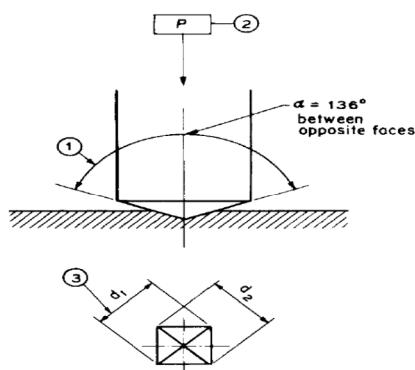
injakan (mm)

θ = sudut puncak = 136°

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \dots\dots\dots (3)$$

Sehingga diperoleh :

$$HV = \frac{1,854 P}{d^2} \left(\frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \right) \dots\dots\dots (4)$$



Gambar 4. Metode Pengujian Kekerasan Mikro Vickers (ASTM E-92)

Tabel 1. Variabel Pengujian Kekerasan Vickers

Number	Symbol	Designation
1	...	Angle at the vertex of the pyramidal indenter (136°)
2	P	Test force in kilograms-force
3	d	Arithmetic mean of the two diagonals d^1 and d^2

(ASTM E-92)

Tabel 2. Hubungan Kekerasan Lapisan Dengan Kandungan Karbon

Kandungan karbon (%)	Kekerasan lapisan (HRc/HV)
0,28 – 0,32	35/345
0,33 – 0,42	40/392
0,43 – 0,52	45/446
$\geq 0,53$	50/513

Sumber : Boyer & Gall, 1985

Beberapa variabel yang berpengaruh terhadap *case depth* antara lain waktu, temperatur, komposisi media karburisasi dan kandungan karbon di dalam baja tersebut. Penentuan kedalaman lapisan karburisasi dapat dirujuk dengan persamaan Harris (Boyer & Gall, 1985), yaitu :

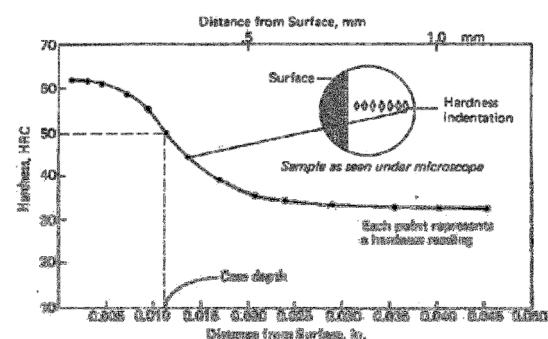
$$\text{Case depth} = \frac{31,6 \cdot \sqrt{t}}{10^{(6700/T)}} \text{ (inch)} \dots\dots\dots (5)$$

dimana : T = temperatur karburasi (Rankine)
t = waktu (jam)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur, maka lapisan pengarbonan padat akan semakin dalam, tetapi makin ke inti kandungan karbon akan semakin rendah. Berdasarkan persamaan (5) tersebut maka diperoleh *case depth* untuk *temperatur carburizing* 850°C (2022°R), 900°C (2112°R) dan 950°C

(2202°R) berturut-turut adalah 0,027 inch (0,686 mm), 0,037 inch (0,889 mm) dan 0,049 inch (1,245 mm).

“Total case depth” didefinisikan sebagai jumlah kedalaman *carburizing* mulai dari permukaan sampai pada tercapainya kandungan karbon 0,04% yang lebih tinggi dari bahan dasarnya. Kedalaman lapisan efektif dinyatakan sebagai jarak (mm) dari permukaan dimana kekerasan lebih rendah dari 15% dibandingkan kekerasan pada permukaan (Gambar 2.5), dan batas kekerasan yang umum digunakan adalah 50 HRc setara dengan 513 HV (Prabudev, K.H., 1995)”.



Gambar 5. Lapisan Kekerasan Efektif Carburizing

Penelitian tentang pengaruh *case depth* karbon akibat proses *carburizing* terhadap kekerasan baja AISI 8620, memberikan hasil bahwa semakin tinggi nilai *case depth* karbon maka harga kekerasan semakin tinggi (Genel and Demirkol, 1999)”.

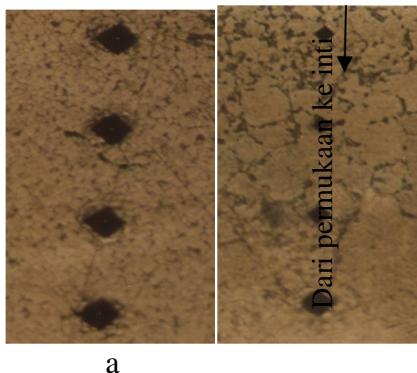
Pengukuran *case depth* dapat dilakukan secara mekanis dengan menggunakan alat uji kekerasan mikro, baik dengan metode Vickers ataupun Knoop yang menggunakan beban paling kecil yaitu sebesar 0,5 kg.

2.4. Hasil dan Pembahasan

Pada gambar 7 menunjukkan kurva pengukuran kekerasan tebal lapisan yang diperoleh pada proses pengarbonan pada yang dipanaskan pada temperatur 900°C dan ditahan selama 3 jam

menunjukkan peningkatan kekerasan yang tertinggi. Terutama pada perbandingan persentase 80% berat arang tempurung kelapa dengan 20% berat BaCO₃, memberikan perubahan lapisan keras permukaan spesimen yang sangat signifikan.

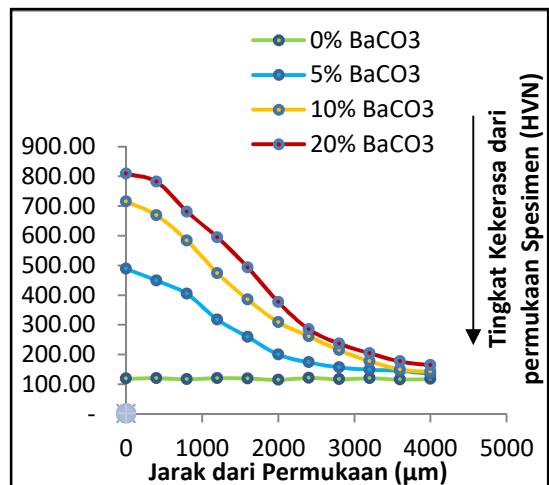
Hal ini ditandai dengan penurunan kekerasan dari tepi benda uji ke bagian tengah mencapai jarak yang paling panjang. Hasil ini sesuai dengan pengukuran kekerasan mikroseperti pada gambar 5. Disini kekerasan permukaan pada penambahan 20% BaCO₃ juga tingkat kekerasan yang paling tinggi, yaitu 800 kg/mm² dan peningkatannya mencapai 8 kali lipat kekerasan spesimen normalnya.



Gambar 6a. Bekas Injakan pada Raw Material, Sedangkan pada Gambar 6b. Bekas Injakan yang Mengalami Perlakuan

Pada gambar 6a terlihat bahwa bekas injakan besarnya hampir merata sama dari permukaan ke inti. Sedangkan pada gambar 6b bila diamati secara kasat mata tampak bahwa dari permukaan ke inti menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan, yaitu semakin ke inti bekas injakan semakin besar yang hampir sama

dengan spesimen normal. Hal ini terjadi karena perlakuan panas dan menunjukkan bagian lapisan yang paling keras bila dibandingkan dengan bagian inti spesimen yang tidak mengalami perlakuan panas dan hal ini merupakan jawaban atas tujuan dari penelitian ini.



Gambar 7. Kurva pengukuran tebal lapisan keras dengan komposisi BaCO₃

3.5. Kesimpulan

- Penambahan 20% berat barium karbonat(BaCO₃) pada 80% berat serbuk arang tempurung kelapa sebagai media prosespengarbonan padat pada temperatur 900°C dan di-*quenching* pada temperatur 840°C yang ditahan selama 20 menit, memberikan tebal lapisan keras yang optimal.
- Pada prosespengarbonan padat dengan waktu pemanasan selama 3 jam memberikan kekerasan lapisan permukaan dapat mencapai 800 VHN atau sekitar 8 kali kekerasan awalnya.

DAFTAR PUATAKA

- Budinski, G. dan Budinski, K. (1999).Engineering Materials – Properties And Selection. 6th edition, Prentice Hall International, Inc., New Jersey, USA.
- Bethony, F.R. dan Malau, V. 2007. Efek Proses Pack Carburizing MediaArang Tempurung Kelapa–BariumKarbonat Terhadap Fatigue Failure dan Struktur Mikro Baja Karbon AISI 1020. Seminar Nasional Metalurgi dan Material (SENAMM) 1-2007. UI Jakarta 2007.
- Bethony, F.R. 2015. Analisis Perlakuan Panas Bertahap Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Baja Karbon Rendah. Jurnal Dynamic SainT. Jilid II No. I, Oktober 2015.
- Efendi, S. 2009. Pengaruh Perbedaan Waktu Penahanan Suhu Stabil Terhadap Kekerasan Logam. Politeknik Negeri Malang. Pdf.
- Nanulaitta, N.J.M. dan Lillipaly, E. R.M.A.P. 2012. Analisa Sifat Kekerasan Baja St-42 Dengan Pengaruh Besarnya Butiran Media Katalisator (Tulang Sapi (CaCO_3) Melalui Proses Pengarbonan Padat (Pack Carburizing).Jurnal TEKNOLOGI, Volume 9 Nomor 1, 2012; 985 – 994.
- Nanulaitta, N.J. M. dan Patty, A.A. 2011. Analisa NilaiKekerasan Baja Karbon Rendah (S35C) dengan Pengaruh Waktu Penahanan (Holding Time) Melalui Proses Pengarbonan Padat (Pack Carburizing) dengan Pemanfaatan Cangkang Kerang Sebagai Katalisator.Jurnal TEKNOLOGI, Volume 8 Nomor 2, 2011. 927–935.
- Poor, R. dan Verhoff, S. (2002).New Technology is The Next Step In Vacuum Carburizing. Surface Combution Inc., Maumee, Ohio, USA.
- Rajan, T.V. dkk. 1997. Heat Treatment– Principles and Techniques. revised edition, Prentice Hall of India, New Delhi, India.
- Robbina, M.A. 2012. Perbandingan Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Akibat Variasi Katalis pada Proses Carburizing Baja S45C. Skripsi Sarjana, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, 2012.
- Sudarsono.dkk. 2003. Pengaruh Media Celup dan Waktu Tahan Pada Karburasi Padat Baja AISI – SAE1522.Proceeding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi 2003, Institut Sains & Teknologi AKPRIND, 18 Oktober 2003.
- Suryanto, H. dkk. 2003a. Pengaruh Penambahan Barium Karbonat pada Media Karburasi terhadap Karakteristik Kekerasan Lapisan Karburasi Baja karbon AISI 2010.Proceeding Seminar Nasional Teknik Mesin 2003, Universitas Brawijaya, Malang, 11 Oktober 2003.
- Suryanto, H. 2003b. Pengaruh Komposisi Media Karburasi Serbuk Arang Kayu–BariumKarbonat terhadap Laju Keausan Baja karbon AISI 2010.Proceeding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi 2003, Institut Sains & Teknologi AKPRIND, 18 Oktober 2003.