

Efek Carburizing Terhadap Sifat Mekanik Limbah Drum Oli sebagai Bahan Baku di Industri Kecil Pande Besi

Noor Setyo¹, Faiz Listyanda¹, Nur Hayati^{1,*}

¹Fakultas Teknik, Universitas Tidar
Jalan Kapten Suparman no 39 Magelang 56116
Email korespondensi: nurhayati@untidar.ac.id

Abstrak

Limbah drum oli, berharga murah namun belum dimanfaatkan secara optimal. Limbah ini berpotensi sebagai pengganti bahan dasar baja karbon untuk pembuatan kerajinan logam melalui perlakuan panas. Penelitian ini bertujuan mengetahui efektifitas pengaruh tulang sapi dan barium karbonat sebagai energizer terhadap ketajaman difusi karbon arang tempurung kelapa kedalam limbah drum bekas oli setelah proses pack carburizing. Spesiment uji drum bekas dengan kandungan 0,0379 %C, ditempatkan dalam lingkungan carburizer serbuk arang tempurung kelapa yang dicampur energizer tepung tulang sapi 20%, 25%, dan 30% dan barium karbonat ($BaCO_3$) 20% yang dipanaskan pada temperatur 800 °C, 850 °C dan 900 °C dengan holding time 30 menit langsung di quenching. Keefektifan difusi karbon dan struktur makro dievaluasi menggunakan "Desktop Metals Analyser" dan mikroskop optik, sedang kekerasan "Micro Vickers Hardness Tester" pada beban 200 gf dengan waktu penekanan selama 5 detik. Hasil pengujian menunjukkan, untuk campuran 1kg carburizer, energizer 30%, 25%, 200%, dan barium karbonat 20 %, unsur carbon mengalami kenaikan menjadi 0,442 %C, 0,335%C, dan 0,322%C dari semula 0,0379% C, sedang kekerasan menjadi 1043,73 VHN_{0,20}, 964.03 VHN_{0,20}, dan 885.55 VHN_{0,050}, dari kekerasan mula-mula 150.68 VHN_{0,050} dalam matrik martensit dan bainit dengan fasa lain ferrit dan perlit.

Kata kunci: Energizer, carburizing, holding time, perlit.

Abstract

Oil drum waste, cheap but not yet optimally utilized. This waste has the potential to be a substitute for carbon steel base material for making metal crafts through heat treatment. This research aims to determine the effectiveness of the influence of beef bone and barium carbonate as an energizer on the sharpness of coconut shell charcoal carbon diffusion into used oil drum waste after the pack carburizing process. The used drum test specimen with a content of 0.0379% C, was placed in a carburizer environment of coconut shell charcoal powder mixed with 20%, 25%, and 30% beef bone meal energizer and 20% barium carbonate ($BaCO_3$) heated at a temperature of 800 °C, 850 °C and 900 °C with a holding time of 30 minutes immediately quenched. The effectiveness of carbon diffusion and macro structure were evaluated using a "Desktop Metals Analyzer" and an optical microscope, while the hardness was "Micro Vickers Hardness Tester" at a load of 200 gf with a pressing time of 5 seconds. The test results show, for a mixture of 1kg of carburizer, energizer 30%, 25%, 200%, and barium carbonate 20%, the carbon element has increased to 0.442%C, 0.335%C, and 0.322%C from the original 0.0379%C, while the hardness becomes 1043.73 VHN_{0.20}, 964.03 VHN_{0.20}, and 885.55 VHN_{0.050}, from the initial hardness of 150.68 VHN_{0.050} in a matrix of martensite and bainite with other phases ferrite and pearlite.

Keywords: Energizer, carburizing, holding time, martensit.

1. Pendahuluan

Plat baja dengan kandungan karbon di atas 0,3 % C berharga mahal, banyak digunakan di industri pengrajin logam Gambar 1 digunakan sebagai bahan dasar (raw material) peralatan rumah tangga (pisau, sabit), pertanian (cangkul, skop, garuk), dan komponen otomotif (exhous manifold) [1]. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral di tahun 2013, industri manufaktur yang ada di Indonesia rata-rata mengkonsumsi baja per kapita mencapai 29 Kg atau seper enam (1/6) dari konsumsi logam per kapita dunia. Tingginya konsumsi penggunaan baja di kehidupan manusia merupakan bukti begitu pesatnya kemajuan

teknologi dalam bidang penggunaan dan pengolahan logam.



Gambar 1. Pengrajin pande besi

Sedang disisi lain, banyak limbah drum oli Gambar 2 yang banyak tersedia di sentral-sentral pengumpul barang besi bekas yang berkadar karbon di bawah 2,5% C dan belum secara optimal dimanfaatkan serta dijual bebas, memiliki sifat mudah dibentuk [2], dan harga relatif murah. Berdasarkan karakteristik yang dimiliki, limbah drum bekas ini bisa dimanfaatkan sebagai bahan pengganti baja karbon yang berharga mahal, setelah dilakukan proses perubahan pada substrat dengan memberikan bahan tambah dari luar yang nantinya terdifusi ke kedalam permukaan dengan memanaskan logam pada temperatur 8500C-9500C dalam lingkungan media karbon selama waktu tertentu (holding time), untuk memperoleh sifat fisis maupun mekanis sesuai dengan yang dikehendaki [3] setelah melalui proses carburizing, diantaranya nilai kekerasan, kekuatan tarik, dan keausan melalui teknik rekayasa perlakuan panas (heat treatment) menggunakan metode penambahan karbon pada logam induk, diantaranya melalui proses pack carburizing [4].

Teknik perlakuan permukaan carburizing dengan menggunakan media sumber carbon padat dari arang kayu dan energizer komersil diantaranya $BaCO_3$, Na_2CO_3 dan $CaCO_3$ merupakan metode pengerasan permukaan (surface hardening) logam yang dilakukan dengan jalan memberikan penambahan unsur karbon pada sekitar permukaan spesimen bisa diganti dengan karbonat alami, setelah logam dipanaskan di atas temperatur austenit, selanjutnya karbon akan berdifusi pada permukaan specimen, sehingga akan menjadikan permukaan benda kerja mengalami penambahan kekerasan, setelah melalui proses perlakuan quenching (pendinginan cepat). Fase martensit atau bainit akan muncul pada permukaan [5] dengan ketebalan tertentu yang tergantung pada cepat lambatnya holding time [6], semakin lama waktu penahanan maka akan semakin banyak pula karbon berdifusi kedalam permukaan substrat, sedang bagian inti tetap ulet [7].



Gambar 2. Limbah drum oli

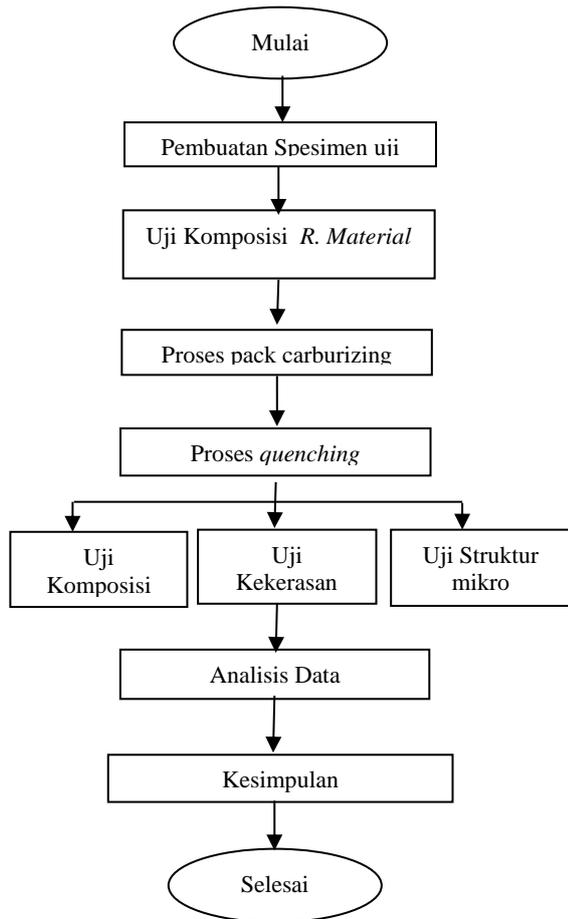
Berdasarkan media karbon yang digunakan, secara umum terdapat tiga metode teknik perlakuan panas dengan metode carburizing pada baja yang umum dilakukan, yaitu: metode 1) solid carburizing, 2) liquid carburizing, dan 3) gas carburizing. Solid carburizing dilakukan dengan cara memanaskan

logam di atas temperatur austenit dan ditahan beberapa saat. Selama proses pemanasan, berlangsung, unsur utama carburizer akan berdifusi kedalam permukaan logam, dan untuk mempercepat dan memaksimalkan proses difusi tersebut ditambahkan kalsium Hidroksiapatit $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ dan Kalsium Karbonat ($CaCO_3$) yang terdapat dalam tulang sapi sebagai adsorben aktif dan Barium Karbonat ($BaCO_3$) sebagai katalis. Peran penting $CaCO_3$ selama bercampur dengan arang sebagai penyediaan gas CO_2 untuk mempermudah substitusi kelarutan karbon ke dalam permukaan baja [8], meskipun udara yang terperangkap sedikit, karena $CaCO_3$ sebagai penyedia CO_2 akan mengaktifkan reaksi-reaksi yang tidak tergantung oksigen tersedia. pada temperatur 825–925 0C. Oleh karena itu baja pada temperatur tersebut diharapkan mampu melarutkan banyak karbon ke permukaan hingga mencapai batas jenuhnya. Kalsium karbonat ($CaCO_3$) sebagai energizer selama proses perlakuan panas berlangsung di lingkungan karbon memiliki peran yang sangat signifikan dalam peningkatan kekerasan logam, karena kalsium karbonat ($CaCO_3$) di atas suhu 850 0C akan membentuk CaO dan CO_2 yang saling memisahkan diri. Selanjutnya CO_2 akan bertemu dengan karbon dari serbuk arang membentuk $2CO$ yang dalam lingkungan akan cenderung berubah kembali dengan melepas unsur C yang ditangkap oleh Fe menjadi gas CO_2 .

Berdasarkan pendalaman literatur dan pustaka terhadap proses pack carburizing, terlihat adanya korelasi yang sangat signifikan antara unsur carbon dengan jenis carburizer, energizer dan waktu holding time dalam proses pack carburizing terhadap sifat mekanis (kekerasan) maupun sifat fisis baja karbon rendah (struktur mikro). Oleh karena itu berdasarkan uraian di atas, penulis tertarik meneliti lebih lanjut untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kedalaman difusi karbon akibat adanya penambahan kalsium hidroksiapatit $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$, kalsium karbonat ($CaCO_3$) dan barium karbonat sebagai katalisator (energizer) pada proses pack carburizing terhadap perubahan sifat kekerasan dan kedalaman difusi carbon limbah baja karbon drum bekas oli dengan judul “ Efek Carburizing Terhadap Sifat Mekanik Limbah Drum Oli Sebagai Bahan Baku di Industri Kecil Pande Besi

2. Metode

Penelitian dilakukan berdasarkan metode experiment langsung dengan menggunakan pendekatan kualitatif untuk melakukan analisis hasil proses pack carburizing. Variabel independent berupa energizer serbuk tulang sapi yang dicampur serbuk barium karbonat dan sebagai carburizer arang tempurung kelapa, sedang variable dependent berupa kandungan carbon, kekerasan dan struktur mikro.



Gambar 3 Tahapan proses penelitian

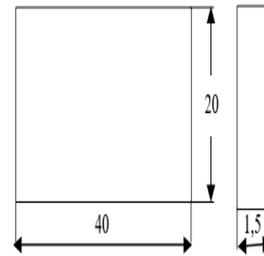
Tahapan atau alur penelitian terlihat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Proses dimulai mulai dari persiapan raw material yakni berupa limbah drum oli yang memiliki komposisi terlihat seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Unsur Row Material

Kandungan Unsur								
Fe	S	Al	C	Ni	Nb	Si	Cr	V
99,53	0,0164	0,0233	0,0379	0,0103	0,0001	0,0074	0,0241	0,004
Kandungan Unsur								
Mn	Mo	W	P	Cu	Ti	N	Pb	Sb
0,1719	0,0003	0,0000	0,0169	0,0183	0,0010	0,1172	0,0009	0,006

Spesimen uji dalam penelitian ini berukuran 40 x 20 x 1,5 mm Gambar 4a. Sedang sebagai carburizer yaitu campuran serbuk arang batok (tempurung kelapa) yang memiliki kandungan fixed karbon 87.76% Gambar 4b, dan sebagai katalisator atau energizer berupa serbuk tulang sapi memiliki kandungan calsium (Ca) 37% dan fosfor (F) 18.5% Gambar 5a, dicampur dengan serbuk barium carbonat sebesar 20% Gambar 5b. Adapun variasi campuran dari masing-masing bahan yaitu 70%, 75% dan 80% arang tempurung kelapa, 30%, 25%

dan 20 energizer yang dicampur barium karbonat 20%.



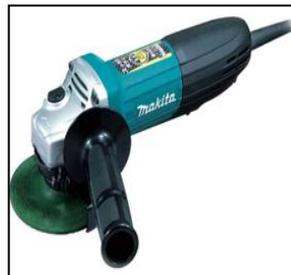
Gambar 4.(a) Spesimen uji, (b) Carburizer



(a) (b)

Gambar 5. (a), Energizer, (b) Barium carbonat

Macam jenis alat yang digunakan dari awal hingga akhir proses pack carburizing diantaranya alat potong proses grinding, dan mesin grinding untuk membentuk spesimen uji Gambar 6a, sedang mesin polishing dan ampelas dipakai untuk menghaluskan permukaan spesiment uji Gambar 6b.



(a) (b)

Gambar 6. (a) Mesin poles, (b) Mesin potong

Sebagai alat pemanas spesiment uji dipakai Furnace NABERTHERM N71/H/B400 Gambar 7a, sedang mesin uji yang dipakai untuk mengetahui seberapa besar prosentase karbon sebelum dan sesudah dilakukan setelah proses pack carburizing yakni “Desktop Metals Analyser” merk Metalscan 2500 series Gambar 7b.



(a) (b)
Gambar 7. a. Furnace NABERTHERM N71/H/B400 b. Dekstop Metal Analyser 2500 series.

Uji kekerasan permukaan spesimen uji secara lateral dan melintang dilakukan dengan menggunakan Micro Hardness Tester Gambar 8a, dan untuk mengamati perubahan struktur mikro digunakan Mikroskop Optik. Gambar 8b.



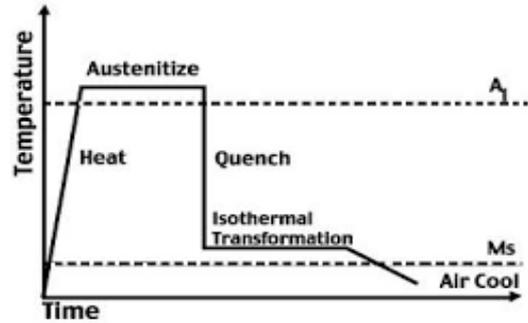
(a) (b)
Gambar 8 a. Micro Vickers Hardness Tester, b. Mikroskop optik

Parameter penting yang perlu diperhatikan dalam proses pack carburizing, yakni penempatan specimen uji dalam kotak karburisasi (container)[9], diantaranya selain jumlah variasi prosentase bahan carburizer, energizer, temperatur pemanasan dan holding time yaitu jarak antar specimen dengan tebal carburizer dan dinding container. Setelah specimen uji tertata dalam kotak plat baja sesuai yang dikehendaki, selanjutnya kotak diisi dengan serbuk carburizer dan energizer yang berupa campuran arang tempurung kelapa dan tulang sapi dalam campuran seberat 1 kg terdiri 70%, 75%, dan 80% karbon (serbuk arang batok) dan 30%, 25%, dan 20% serbuk tulang sapi (CaCO₃), dan barium carbonat masing-masing 20% Gambar 9a.



(a) (b)
Gambar 9. a. Kotak karburizer, b. Proses quenching

Proses pemanasan dilakukan secara bertahap dengan kecepatan pemanasan 10 0 C/jam sampai dengan lingkungan mencapai temperatur austenit yang diinginkan yakni pada temperatur 8000C, 8500C, dan 9000C baru setelah tercapai dilakukan proses penahanan (holding time) selama 30 menit masing-masing di dalam tungku pemanas Gambar 9b. Selama proses pemanasan, unsur carbuizer akan masuk kedalam pori-pori permukaan logam, sedang Kalsium Hidroksiapatit Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂ dan Kalsium Karbonat (CaCO₃) dari tulang sapi sebagai adsorben aktif akan berperan sebagai katalis untuk mempercepat proses Gambar 9b.



Gambar 10. Ilustrasi proses quenching

Selanjutnya setelah benda uji mengalami proses holding time dan mencapai temperatur yang diinginkan benda uji dikeluarkan dari dalam tungku, dan langsung dilakukan proses pendinginan cepat (quenching) dalam media air.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil Pengujian Komposisi dan Struktur Mikro

Hasil pengujian komposisi row material dilakukan dengan menggunakan Spektrometer Emisi Hilger Seri E-90A701 pada spesiment uji pada posisi melintang berdasarkan metode FEGLFE diperoleh hasil rata-rata seperti terlihat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan Unsur Row Material

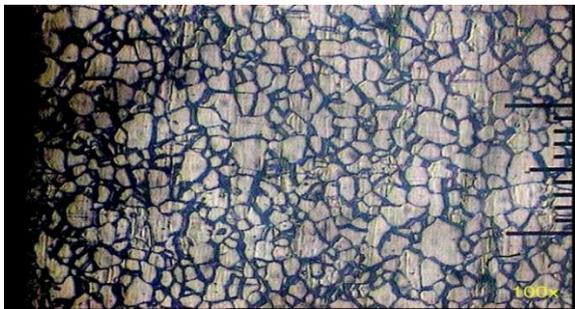
Kandungan Unsur Row material							
Rata-rata	Fe	S	Al	C	Ni	Nb	Si
	99,19	0,026	0,021	0,010	0,004	0,001	0,012
Rata-rata	Mn	Mo	W	P	Cu	Ti	N
	0,261	0,001	0,001	0,007	0,003	0,003	0,073

Terlihat pada Tabel 1, row material memiliki kandungan rata-rata unsur Ferro (Fe) sebesar 98,6105%, karbon 0.0379% C, dan unsur paduan lain. Berdasarkan standart ASTM, dapat disimpulkan logam termasuk dalam golongan baja karbon rendah dengan sifat ulet. Sifat ulet ini terlihat lebih jelas dari hasil uji struktur mikro Gambar 4a yang memiliki matrik ferrit yang cukup dominan yang ditunjukkan warna bercak putih cerah dan fase perlit warna gelap dengan nilai kekerasan rata-rata dikisaran 150,62 VHN_{0,020}.



Gambar 11. Struktur mikro *row material*

Perubahan sifat fisik (struktur makro) yang cukup signifikan pada row material tersebut terlihat dari hasil uji komposisi dimana prosentase carbon mengalami kenaikan yang besarnya sebanding dengan kenaikan energizer. Besar kenaikan secara berurutan untuk prosentase kandungan energizer 20%, 25% dan 30% kandungan carbon menjadi, 0,1699 %C, 0,3050 %C dan 0,4412 %C dari row material yang hanya sebesar 0,03799 %C setelah logam mengalami perlakuan pack carburizing dan quenching. Sedang dari hasil uji struktur mikro terlihat dengan semakin meningkatnya kandungan energizer dan barium karbonat, temperatur pemanasan di daerah austenitasi pada suhu 800oC, 850oC dan 900oC serta lama waktu tunggu (holding time) menyebabkan butir austenit tumbuh membesar dan luas batas butir atau jumlah titik sebagai tempat pengintian terjadinya dekomposisi fasa austenit menjadi perlit semakin rendah. Struktur ferrit berkurang, sedang perlit, bainit terlihat semakin dominan dengan naiknya energizer akibat naiknya unsur carbon.

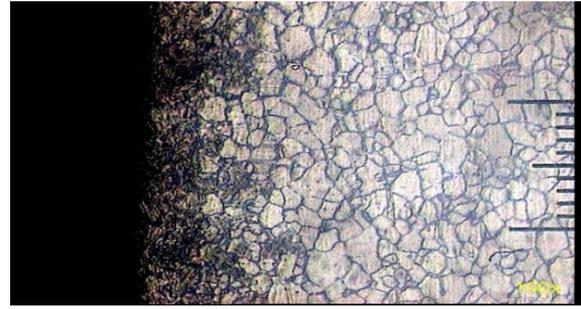


Gambar 12. Struktur Mikro dengan *Energizer 20%*

Dekomposisi dan pertumbuhan perlit akan terhambat, hal ini akan memudahkan terjadinya transformasi austenit menjadi bainit atau martensit, berarti austenit akan lebih mudah terdekomposisi menjadi bainit atau martensit pada austenit yang berukuran besar dari pada menjadi perlit.

Perubahan fase ferrit, perlit menjadi bainit, martensit semakin meningkat dengan adanya penambahan prosentase energizer, hal ini terjadi akibat meningkatnya difusi carbon kedalam substrat semakin banyak pada kondisi austenit akibat gas CO. Gas CO₂ hasil reaksi akan memisahkan diri dari

CaO yang selanjutnya akan bereaksi dengan karbon yang berasal dari arang.



Gambar 13. Struktur Mikro dengan *energizer 25%*

Dalam lingkungan panas gas 2CO akan cenderung berubah kembali menjadi gas CO₂ dan akan melepaskan unsur C, karena reaksi pelepasan ini berada di dalam lingkungan struktur baja, maka karbon (C) akan tertinggal dalam baja yang akan ditangkap oleh unsur Fe dan selanjutnya larut di dalam substrat. Dampak akibat penambahan karbon terlihat struktur martensit pada bagian permukaan yang dikelilingi tumpukan warna abu-abu kecoklatan yakni fasa perlit dan fasa ferrit yang jumlahnya sedikit diantara struktur perlit dan martensit yang berbentuk seperti jarum.



Gambar 14. Struktur mikro dengan *energizer 30%*

Martensit akan memiliki kerapatan dislokasi yang tinggi, sehingga baja yang mengalami proses quenching dari temperatur pemanasan yang tinggi akan memiliki struktur martensit dengan kekerasan cukup tinggi pada bagian permukaannya, sedang struktur perlit akan muncul pada bagian dalam, hal ini disebabkan semakin ke tengah fasa martensit yang terbentuk akan semakin berkurang, berkurangnya fasa martensit ini dikarenakan semakin ke dalam difusi atom-atom karbon ke dalam atom Fe semakin sedikit.

Pengujian Kekerasan

Hasil uji kekerasan setelah dilakukan pack carburizing dalam arah melintang pada beban 200 gf dengan waktu penekanan selama 5 detik menunjukkan, bahwa besar nilai kekerasan permukaan berbanding lurus dengan jumlah prosen kandungan serbuk tempurung kelapa dan tulang sapi.

Tabel 3. Kekerasan Sebelum dan Setelah Carburizing.

Energizer	HVN R. Material	HVN Carburizing	Δ Nilai Kekerasan
20	149,4	298,0333	148,63
25	149,4	314,6667	165,26
30	149,4	308,7333	159,33

Terlihat setelah dilakukan pack carburizing, menunjukkan, dengan meningkatnya kadar carbon, akan berpengaruh terhadap tingkat kenaikan kekerasan secara linier. Spesimen uji mengalami perbedaan nilai kekerasan rata-rata secara berurutan sebesar 148 HVN0,020, 165,26 VHN0,020, dan 159,33 VHN0,020 untuk energizer 20%, 25%, dan 30% Tabel 3. Kenaikan nilai kekerasan substrat setelah dilakukan carburizing terlihat berbanding lurus dengan pertambahan prosentase energizer. Kenaikan tersebut terjadi akibat kenaikan laju difusi karbon ke dalam substrat logam yang semakin kuat dengan naiknya prosentase energizer dan temperatur pemanasan proses pack carburizing, sehingga menjadikan ruang oksigen disekitar butiran energizer bertambah sehingga proses penyerapan karbon dalam logam meningkat, atom karbon yang terdifusi ke dalam baja pada fasa austenit semakin banyak akibat semakin banyaknya gas CO yang terbentuk. Terlihat begitu besar peran penting serbuk tulang dan barium karbonat pada saat bercampur dengan arang sebagai penyediaan gas CO₂, menjadikan proses pack carburizing lebih mudah berlangsung, sebab meskipun udara yang terperangkap sedikit, energizer berperan sebagai penyedia gas CO₂ yang mengaktifkan reaksi-reaksi selanjutnya yang tidak terlalu bergantung pada oksigen tersedia. sehingga dalam waktu singkat permukaan baja akan dapat menyerap karbon hingga mencapai batas jenuhnya.

4. Kesimpulan

Hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan dalam penelitian dapat disimpulkan bahwa efek pack carburizing dengan menggunakan katalisator tulang sapi yang dicampur barium karbonat terhadap drum bekas oli terhadap ketajaman/kekerasan mengalami kenaikan yang cukup signifikan dengan meningkatnya prosentase energizer pada carburizer arang tempurung kelapa. Terlihat dari hasil pengujian, menunjukkan adanya kenaikan prosentase energizer sebesar 5% dari 20%, 25%, dan 30%, lama holding time 30 menit, diperoleh nilai kekerasan permukaan rata-rata 5 (lima) kali lipat dari kekerasan permukaan awal yang secara berurutan menjadi 893,05 VHN0,020, 813,62 VHN0,020, dan 788,57 VHN0,020. dari kekerasan mula-mula 150.68 HVN0,025 dengan matrik luar martensit sedang fasa bagian dalam ferrit dan perlit dari kekerasan awal raw material 150.68 HVN0,020. Kenaikan kekerasan yang cukup tinggi tersebut di

atas 650 HVN, mengindikasikan drum oli dapat digunakan sebagai alternatif pengganti bahan dasar baja para pengrajin pande besi dalam pembuatan peralatan rumah tangga, pertanian dan komponen otomotif

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Frista, G., Notonegoro, H.A., Fachrudin, H.G., 2017, *Peningkatan Sifat Mekanik AISI 4130 Low Alloy Steel Melalui Perlakuan Panas*. FLYWHEEL: Jurnal Teknik Mesin Untirta, 2(1), 2017.
- [2] Susetyo, F.B., Dwiwati, S.T. and Hutomo, M.B.P., 2020. *Fabrikasi Lapisan Pada Baja 0,192% C Sebagai Alternatif Pahat Bubut*. JURNAL KAJIAN TEKNIK MESIN, 5(1), pp.42-47.
- [3] Utama, A.R.S., et al., 2017. *Pengaruh Temperatur Dan Holding Time Dengan Pendingin Yamacoolant Terhadap Baja ASSAB 760*. Jurnal Teknik Mesin, Vol 6, No 01.
- [4] Dewa Ngakan Ketut Putra Negara, I Dewa Made Kirshna Muku, Pack Carburizing Baja Karbon Rendah, Jurnal Energi dan Manufaktur Vol.7, No.1, April 2015 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana
- [5] Karmin, et al., 2018, *Analisa Perubahan Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Multi Quenching Terhadap Hasil Pack Carburizing Baja karbon Rendah*, Jurnal Austenit, Vol 10, No 1, ISSN 2085-1286.
- [6] Sardi, V.B., Jokosisworo, S. and Yudo, H., 2018., *Pengaruh Normalizing dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (Holding Time) Baja ST 46 terhadap Uji Kekerasan, Uji Tarik, dan Uji Mikrografi*, Jurnal Teknik Perkapalan, 6 (1), 142-149.
- [7] Susetyo, 2020, *Pengaruh Direct Dan In-Direct Quenching Dengan Media Air Terhadap Kekerasan Hasil Hardfacing Baja Karbon, Asimetrik*, Volume 2 Nomor 2 Tahun 2020.
- [8] H. Istiqlaliyah, K. R. H, and M. Baihaqi, "Pengaruh Variasi Media Karburasi Terhadap Kekerasan dan Kedalaman Difusi Karbon Pada Baja ST 42," Semin. Nas. Inov. Dan Apl. Teknol. Di Ind., pp. 138–142, 2016.
- [9] A. Oyetunji and S. O. Adeosun, "Effects of Carburizing Process Variables on Mechanical and Chemical Properties of Carburized Mild Steel," J. Basic Appl. Sci., vol. 8, pp. 319–324, 2012.
- [10] Sujito., 2016, *Proses pack Carburizing dengan Media carburizer Alternatif Serbuk Arang Tongkol Jagung dan Serbuk Arang Cangkang Kerang Mutiara*, Jurnal Mechanical, Vol 7, No 2, ISSN 2087-1880 (prin