

Variations Of Temperature Pack Carburizing And Comparisons Between Media Composition Bone Cows And Coconut Across Of Low Carbon Steel

Tumpal Ojahan Rajagukguk^{1,*}, Slamet Sumardi²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Malahayati

Jl. Pramuka No.27 Kemiling, Bandar Lampung

²Balai Penelitian Teknologi Mineral LIPI Lampung

*Corresponding author: tumpal_ojahan@yahoo.com.

Abstract. Across his waste coconut and bone the cow can be we increase following the completion of economic value management process being charred .This study attempts to understand the extent of the influence of the variations of temperature and perbandingan composition media charcoal low carbon steel against violence .A process used in this research was pack carburizing use comparison charcoal bone coconut across his cattle and charcoal , with 900 °C temperature , 950 °C network , 1000 °C network by the time the detention of three hours . It can be concluded that the process of pack carburizing be an increase in the the percentage of carbon (%C) against material one and did not low carbon steel where carbon the s pack carburizing rose to sixteen per cent 0,776 – 1,200 %. That the beef and charcoal smiteth oil can be used as a source of carbon that would improve force and violence in the material low carbon steel. Violence coconut across at the temperature 900 °C = 63,61 kgf/mm², 950 °C = 64,05 kgf/mm² and 1000 °C = 64,28 kgf/mm² while violence bone cows at temperature 900 °C = 60,57 kgf/mm², 950 °C = 61,58 kgf/mm² and 1000 °C = 63,14 kgf/mm² where the higher temperatures so carbon bound to carbon steel increase.

Abstrak. Limbah batok kelapa dan tulang sapi dapat kita tingkatkan nilai ekonomi setelah dilakukan proses pengolahan menjadi arang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh variasi temperatur serta perbandingan komposisi media arang terhadap kekerasan baja karbon rendah. Proses yang digunakan dalam penelitian ini adalah *pack carburizing* menggunakan perbandingan arang tulang sapi dan arang batok kelapa, dengan temperatur 900°C, 950 °C, 1000 °C dengan waktu penahanan 3 jam. Proses *pack carburizing* dapat meningkatkan persentase karbon (%C) dimana kadar karbon setelah dilakukan proses *pack carburizing* naik menjadi 0,776 – 1,200 %. Arang tulang sapi dan arang batok kelapa dapat digunakan sebagai sumber karbon yang dapat meningkatkan kekerasan pada material baja karbon rendah (*low carbon steel*). Kekerasan arang batok kelapa pada temperatur 900 °C = 63,61 kgf/mm², 950 °C = 64,05 kgf/mm² dan 1000 °C = 64,28 kgf/mm² sedangkan kekerasa arang tulang sapi pada temperatur 900 °C= 60,57 kgf/mm², 950 °C = 61,58 kgf/mm² dan 1000 °C = 63,14 kgf/mm² dimana semakin tinggi temperatur maka karbon yang terikat terhadap baja karbon semakin meningkat.

Kata kunci : Arang, Arang tulang sapi, Arang batok kelapa, *pack carburizing*.

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Saat sekarang ini banyak material non logam yang dapat dimanfaatkan atau digunakan menjadi bahan pengganti material logam salah satunya adalah batok kelapa dan tulang sapi, bahkan material non logam dapat juga digunakan jadi material komposit atau bahan campuran yang dapat merubah sifat atau karakteristik suatu material dasar. Limbah batok kelapa dan tulang sapi dapat kita tingkatkan nilai ekonomi setelah dilakukan proses pengolahan menjadi arang. Hal tersebut dapat dijadikan sebagai landasan yang bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh variasi temperatur

serta perbandingan komposisi media arang terhadap kekerasan baja karbon rendah dan meningkatkan kadar karbon. Adapun cara yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah metode *pack carburizing* menggunakan media arang batok kelapa dan arang tulang sapi. Berdasarkan permasalahan tersebut maka penulis dapat membantu, mengurangi serta memanfaatkan limbah batok kelapa dan limbah tulang sapi yang telah dijadikan arang serta memenuhi unsur karbon yang akan digunakan sebagai media *pack carburizing*.

Menurut Tumpal O.R. (2018), kajian *pack carburizing* menggunakan media tulang sapi dan batok kelapa untuk meningkatkan kekerasan baja karbon rendah dan meningkatkan kadar karbon *raw material* dari 0,106% menjadi 1,2%. Kekerasan sebelum dilakukan proses *pack carburizing* 57,15 kgf/mm² sedangkan nilai kekerasan setelah dilakukan proses *pack carburizing* mengalami peningkatan yaitu 64,20 kgf/mm². Semakin tinggi temperatur proses *pack carburizing* maka kekerasan semakin meninkat akan tetapi kekerasan arang batok kelapa lebih baik dari pada arang tulang sapi.

Menurut Ahmad (2007), temperatur dan waktu proses *pack carburizing* dapat meningkatkan kekerasan dan ketahanan spesimen yang diuji, terbukti pada penelitian yang dilakukan dengan temperatur 850°C, 900°C, dan 950°C menggunakan media arang kayu dan waktu penahanan selama 6 jam. Menurut Pramuko dan Purboputro (2006), waktu penahanan pada proses *pack carburizing* sangat berpengaruh terhadap nilai kekerasan, kadar karbon, kedalaman difusi yang dicapai bertambah, waktu penahanan 3 jam kandungan unsur karbon 0,259%, 4 jam kandungan karbon 0,352%, 7 jam kandungan karbon 0,505%, serta 8 jam kandungan karbon 0,808%.

Menurut Ibnu (2007), proses *pack carburizing* dengan media *quench* air akan menghasilkan kekerasan yang lebih baik dan struktur yang halus. Hal ini terbukti berdasarkan teori-teori yang menunjukkan bahwa untuk meningkatkan kadar karbon pada baja perlu dilakukan proses *heat treatment* dengan metode pengarbonan zat padat (*pack carburizing*).

Menurut Tumpal O.R. (2018), proses pembuatan arang batok kelapa dan tulang sapi dengan sistem *pirolisis*, menghasilkan arang yang berkualitas dengan rendemen batok kelapa 29,12 % dan tulang sapi 27,78. Waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan arang batok kelapa 285 menit dan arang tulang sapi 330 menit, kadar air arang batok kelapa total 6,5%, kadar air lembab 0,33%, zat pengotor 14%, kadar abu 3%, dan *fixed carbon* yang dihasilkan yaitu 82,67%C, sedangkan arang tulang sapi mempunyai kadar air total 1,55%, kadar air lembab 0,35%, zat pengotor 16,5%, kadar abu 80%, dan *fixed carbon* yang dihasilkan yaitu 3,15%C.

Menurut Mujiyono dan Arianto (2008), ukuran butir arang sangat menentukan hasil pada proses *pack carburizing*, berdasarkan penelitian yang dilakukan pada *low carbon steel* mesh 20 dan mesh 60 dengan waktu penahanan 4 jam maka

akan terjadi difusi karbon hingga kedalaman 1200 µm dan kekerasan permukaan baja meningkat.

Menurut Rustan (2011), pembakaran dengan sistem suplai udara terkendali (*pirolisis*) proses pembakaran dikendalikan dengan cara mengatur suplai udara kedalam tabung tempat pembakaran.

Metode Penelitian

Proses *pack carburizing* dapat dibagi menjadi tujuh tahap yaitu:

1. Tahap Persiapan Dan Pembuatan Arang.

Pada proses ini bahan yang akan digunakan untuk pembuatan arang harus dibakar atau dipanaskan terlebih dahulu sampai menjadi arang.

2. Menentukan Ukuran Butir Arang.

Proses ini dilakukan untuk mendapatkan ukuran butir (*mesh*) dari arang yang akan digunakan pada proses *pack carburizing*. Ukuran butir arang sangat menentukan hasil pada proses *pack carburizing*.

3. Perhitungan Total Karbon Pada Arang.

Mengacu pada Badan Pengolahan Teknologi Mineral (BPTM LIPI Lampung) Dalam perhitungan total karbon yang perlu dilakukan antara lain:

Analisis Kadar Air Total (SNI 13-376-1994).

$$\text{Rumus : } mar (\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (1)$$

mar = Kadar air total pada sampel

m₁ = Berat cawan kosong (gr)

m₂ = Berat cawan + sampel (gr)

m₃ = Berat cawan + sampel setelah dipanaskan
(gr)

Analisis Kadar Air Lembab (SNI 13-3477-1994).

$$\text{Rumus : } mad (\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (2)$$

mad = Kadar air lembab pada sampel

Analisis Zat Terbang (*volatile*) (SNI 13-3999-1995).

$$\text{Rumus : } volatile (\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 - mad \quad (3)$$

Volatile = zat terbang

Analisis Kadar Abu (SNI 3478 : 2010). Sesuai dengan ISO 1171 : 1997 (E) : *Solid Mineral Fuels Determination of Ash Content*. Kadar abu adalah residu anorganik hasil pembakaran.

$$\text{Rumus : kadar abu (\%)} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (4)$$

Analisis kadar karbon tertambat (*fixed carbon*) : (SNI 13-3479-1994). Kadar karbon tertambat (*fixed carbon*) adalah sisa padatan yang dapat terbakar setelah sampel dihilangkan zat terbangnya. Langkah yang perlu dilakukan dalam perhitungan *fixed carbon* yaitu :

$$\text{Rumus : } fixed\ carbon\ (\%) = 100 - (mad + \text{kadar abu} + volatile) \quad (5)$$

Mad (kadar air lembab), kadar abu, *Volatile* (kadar zat terbang).

4. Pembuatan Spesimen.

Tahap pembuatan spesimen yang akan digunakan sebagai bahan dasar pada *pack carburizing* adalah logam dengan ukuran yang telah ditentukan.

5. Pembuatan Kotak.

Untuk proses *pack carburizing* dibutuhkan kotak atau wadah sebagai tempat untuk meletakan spesimen dan arang. Kotak ini sangat penting dalam proses karbonisasi padat karena selain sebagai wadah, proses difusi yang baik juga akan didapat sesuai dengan keadaan kotak yang baik.

6. Pembersihan (Cleaning).

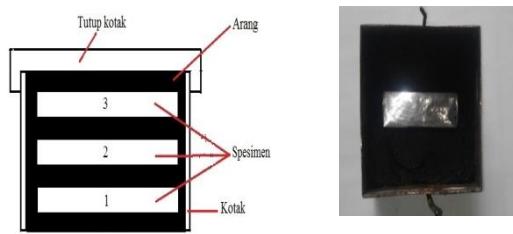
Tahap pembersihan berfungsi untuk menghilangkan zat pengotor yang menempel pada spesimen, kemudian pengamplasan bertujuan untuk mendapatkan permukaan spesimen yang rata, hal ini dimaksudkan agar proses *pack carburizing* mendapatkan hasil yang baik. Proses pembersihan ini dapat dilakukan dengan cara yaitu: Proses pembersihan secara fisik dan kimia.

7. Pengarbonan Zat Padat (*Pack Carburizing*).

Pada proses pengarbonan zat padat (*pack carburizing*) yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

- Spesimen yang akan dilakukan pengarbonan dimasukkan ke dalam kotak karburisasi yang sebelumnya sudah diisi arang dan selanjutnya benda kerja ditimbuni dengan arang batok kelapa ataupun arang tulang sapi hingga merata sampai spesimen benar-benar tertutupi dengan arang dan selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama. Setelah spesimen tersusun didalam kotak dengan baik, maka kotak karburisasi ditutup dengan rapat pada saat pengarbonan (*carburizing*) tidak ada unsur carbon yang

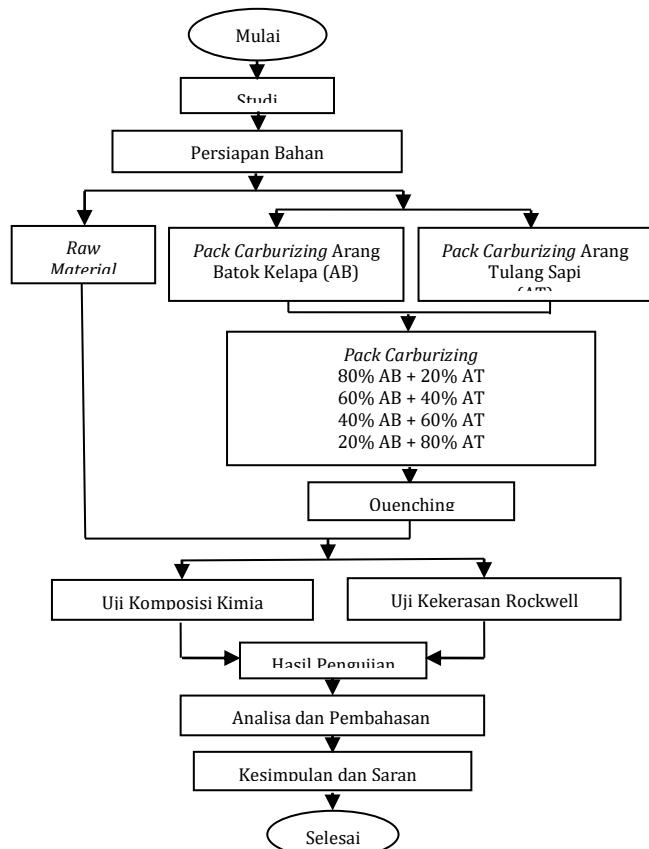
keluar lewat celah tutup kotak karburisasi. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Letak Sampel Dan Arang Pada Kotak
(Tumpal Ojahan R., 2018)

- Menimbang tiap spesimen sebelum dan setelah dilakukan karbonisasi.
- Menghitung persentase Arang Batok (AB) dan Arang tulang (AT) sesuai dengan kebutuhan penelitian.
- Mengatur temperatur tungku induksi sesuai dengan variasi temperatur yang digunakan yaitu 900°C, 950°C, dan 1000°C, dengan waktu penahanan (*carburizing*) selama 3 jam.
- Melakukan proses Quenching dengan media air.
- Membersihkan spesimen dari serbuk arang yang masih menempel setelah proses pengarbonan (*carburizing*).
- Melakukan pengujian pada tiap spesimen yang telah selesai dikarburisasi.

Aliran Proses Penelitian



Gambar 2. Tahapan Penelitian

Hasil Dan Pembahasan

Tabel 1. Berat Tulang Sapi dan Batok Kelapa Sebelum dan Sesudah Arang.(Tumpal Ojahan R, April 2018 Prosiding SNMI)

Pembakaran	Berat AB dan AT (kg)	Hasil Arang (kg)	Waktu Pembakaran (menit)	Rendem en (%)
AT	9	2,50	330	27,78
AB	8	1,16	279	29,12

Pengujian laboratorium yang akan dilakukan adalah untuk mendapatkan arang tulang sapi dan arang batok kelapa memiliki unsur karbon yang memadai untuk digunakan sebagai media *pack carburizing*. Dari penjelasan tersebut maka arang tulang sapi dan arang batok kelapa dapat digunakan sebagai media *pack carburizing* untuk meningkatkan kekerasan pada baja.

Tabel 2. Pengamatan Temperatur dan Waktu Arang Tulang Sapi dan Batok Kelapa (Tumpal OR, SNMI 2018)

Arang Batok Kelapa		Arang Tulang Sapi	
Waktu	Temperatur (°C)	Waktu	Temperatur (°C)
09:00 – 10:00	219	08:30 – 11:00	213
10:00 – 11:00	264	11:00 – 11:30	294
11:00 – 12:00	294	11:30 – 12:00	329
12:00 – 13:00	344	12:00 – 12:30	400
13:00 – 13:30	410	12:30 – 13:00	490
13:30 – 13:45	450	13:00 – 13:30	541
		13:30 – 14:00	746

Tabel 3. Kandungan Kimia Pada Arang (Tumpal OR, 2018)

Komposisi Kimia	Arang Tulang Sapi (%)	Arang Batok Kelapa (%)
Kadar Air Total	1,55	6,50
Kadar Air Lembab	0,35	0,33
Zat Terbang	16,50	14,00
Kadar Abu	80,00	3,00
Total Karbon (<i>fixed carbon</i>)	3,15	82,67

Tabel 4. Kandungan Komposisi Kimia Tulang Sapi (Ilhom, 1991)

Chemical Components	Amount Present (%)
Organic component	-
Collagen, muco-polysacharides, elastin and fat	30.00
Inorganic component	-
Calcium phosphate (calcium hydroxyapatite)	38.25
Calcium carbonate and trace ions	6.75
Water	25.00

Tabel 5. Penimbangan Spesimen Sebelum dan Sesudah Dilakukan *Pack Carburizing*.

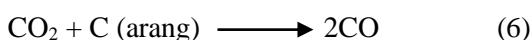
Temperatur (°C)	Waktu (jam)	Komposisi Arang	Berat Awal (Wo) (gram)	Berat Akhir (Wi) (gram)	Selisih Berat (WC) (gram)
900	3	80% AB + 20% AT	34,54	34,56	0,02
		60% AB + 40% AT	34,36	34,41	0,05
		40% AB + 60% AT	34,11	34,13	0,02
		20% AB + 80% AT	34,01	34,03	0,02
950	3	80% AB + 20% AT	36,76	36,96	0,20
		60% AB + 40% AT	36,62	36,79	0,17
		40% AB + 60% AT	36,49	36,65	0,16
		20% AB + 80% AT	36,24	36,37	0,13
1000	3	80% AB + 20% AT	37,03	37,19	0,16
		60% AB + 40% AT	36,84	37,05	0,21
		40% AB + 60% AT	36,78	37,01	0,23
		20% AB + 80% AT	36,71	36,98	0,27

Dari **Tabel 5** menunjukkan hasil penimbangan spesimen sebelum dan sesudah dilakukan proses karburisasi terdapat penambahan berat spesimen.

Proses Pack Carburizing.

Tahap pengarbonan zat padat yang perlu dilakukan yaitu benda kerja yang akan dikarbonisasi dimasukkan kedalam kotak karbonisasi yang sebelumnya sudah diisi media karbonisasi, selanjutnya benda kerja ditimbun dengan bahan karbonisasi dan benda kerja lain diletakkan diatasnya demikian selanjutnya. Kandungan karbon dari setiap jenis arang adalah berbeda-beda. Semakin tinggi kandungan karbon dalam arang, maka penetrasi karbon ke permukaan baja akan semakin baik pula. Sebenarnya tanpa ditambah bahan karbonat, karbonisasi masih dapat terjadi karena temperatur yang tinggi ini mulai mula karbon teroksidasi oleh oksigen dari udara yang terperangkap dalam kotak menjadi karbon dioksida (CO_2).

Reaksi yang terjadi adalah



Uji Komposisi Kimia Logam

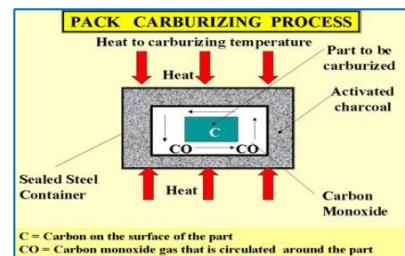
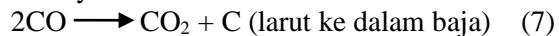
Tabel 6. Komposisi Kimia Sebelum Dan Sesudah Dilakukan *Pack Carburizing*.

Temperatur (°C)	Waktu (Jam)	Komposisi Arang	Unsur Logam (%)						
			Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr
RM	900	100% AB	98.3	0.106	0.157	0.769	0.021	0.016	0.112
		80% AB + 20% AT	97.6	0.776	0.148	0.695	0.069	0.076	0.096
		60% AB + 40% AT	97.6	0.710	0.157	0.762	0.012	0.051	0.108
		40% AB + 60% AT	97.7	0.897	0.146	0.664	0.018	0.026	0.092
		100% AT	97.6	0.886	0.153	0.690	0.018	0.020	0.099
	950	100% AB	97.6	0.846	0.139	0.701	0.090	0.057	0.106
		80% AB + 20% AT	97.5	1.00	0.148	0.683	0.013	0.016	0.106
		60% AB + 40% AT	97.5	1.05	0.153	0.656	0.013	0.015	0.100
		40% AB + 60% AT	97.4	1.08	0.151	0.672	0.014	0.017	0.112
		100% AT	97.4	1.09	0.147	0.666	0.016	0.017	0.094
1000	3	100% AB	97.4	1.12	0.159	0.686	0.016	0.024	0.105
		80% AB + 20% AT	97.3	1.20	0.152	0.669	0.011	0.019	0.097
		60% AB + 40% AT	97.3	1.15	0.145	0.639	0.026	0.017	0.091
		40% AB + 60% AT	97.4	1.12	0.154	0.667	0.017	0.020	0.102
		100% AT	97.3	1.14	0.153	0.685	0.011	0.016	0.102

Uji Kekerasan Rockwell (HRc).

Material yang telah melewati proses *pack carburizing* dilakukan pengujian Rockwell, hal ini untuk melihat perubahan kekerasan yang terjadi pada material sebelum dan sesudah mengalami

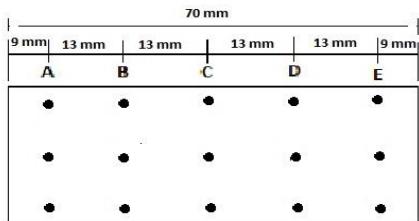
Dengan temperatur yang semakin tinggi kesetimbangan reaksi makin cenderung ke kanan makin banyak CO.



Gambar 3. Proses Pack Carburizing

Karbon (C) yang terbentuk merupakan atom karbon (*carbon nascent*) yang aktif berdifusi masuk kedalam fase austenit dari baja ketika baja dipanaskan. Besarnya kadar karbon yang terlarut dalam baja selama karbonisasi maksimal 2%. Kotak karbonisasi yang dipanaskan harus dalam keadaan tertutup rapat, hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya reaksi antara media karbonisasi dengan udara luar, untuk menghindari hal tersebut cukup dilapisan dengan tanah liat (*clay*) antara tutup dengan kotak karbonisasi.

proses *pack carburizing*. Kekerasan material sebelum dan sesudah dilakukan proses *pack carburizing* mengalami peningkatan.



Gambar 4. Titik Pengujian Rockwell (HRC)

Tabel 7. Uji Kekerasan Rockwell (HRC) pada Raw Material

A	B	C	D	E	Rata-rata
57,2	58,5	57,0	57	55,0	
56,5	59,0	56,2	58	55,4	
56,7	60,8	58,0	57	55,0	
56,8	59,43	57,06	57,33	55,13	57,15

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian kekerasan Rockwell (HRC) pada material dasar mempunyai nilai kekerasan 57,15 kgf/mm², sedangkan material yang sudah dilakukan *pack carburizing* menunjukkan nilai kekerasan yang meningkat antara 60,57 sampai dengan 64,28 kgf/mm².

Tabel 8. Uji Kekerasan Rockwell (HRC) Dengan Berbagai Komposisi Arang

Temperatur (°C)	Waktu (Jam)	Komposisi Arang	Uji Kekerasan Rockwell (HRC)
Raw Material			57,15
900	3	80% AB + 20% AT	63,61
		60% AB + 40% AT	62,43
		40% AB + 60% AT	61,28
		20% AB + 80% AT	60,57
950	3	80% AB + 20% AT	64,05
		60% AB + 40% AT	63,76
		40% AB + 60% AT	62,89
		20% AB + 80% AT	61,58
1000	3	80% AB + 20% AT	64,28
		60% AB + 40% AT	64,03
		40% AB + 60% AT	63,57
		20% AB + 80% AT	63,14

Kesimpulan

- Waktu yang dibutuhkan dalam pembuatan arang batok kelapa yaitu 285 menit dengan suhu yang dicapai 450°C dan waktu untuk pembuatan arang tulang sapi yaitu 330 menit dengan suhu yang capai 746°C.
- Arang batok kelapa mempunyai *fixed carbon* yang lebih baik yaitu 82,67%C bila dibandingkan dengan arang tulang sapi mempunyai *fixed carbon* yaitu 3,15%C.
- Nilai kekerasan *raw material* sebelum dilakukan proses *pack carburizing* 57,15 kgf/mm² sedangkan nilai kekerasan setelah dilakukan proses *pack carburizing* mengalami peningkatan antara 60,57 kgf/mm² sampai dengan 64,28 kgf/mm².
- Semakin tinggi tempertur proses *pack carburizing* maka kekerasan semakin

meningkat, akan tetapi kekerasan arang batok kelapa lebih baik dari pada arang tulang sapi.

Referensi

- Ahmad, AS., 2007, “Pengaruh Suhu Carburizing Menggunakan Arang Batok Kelapa Terhadap Kekerasan Dan Ketahanan Aus Roda Gigi Baja Aisi 4140”. Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang 2007., Semarang.
- BPTP (Balai Pengolahan Teknologi Mineral) Lampung. 2016. Analisis Perhitungan *Fixed Carbon* Pada Arang.
- Callister, 2009, “Materials Science And Engineering An Introduction Eight Edition”. Wiley, USA.
- Ibnu, KP., 2007, “Perbedan Nilai Kekerasan Pada Proses Double Hardening

- Dengan Media Pendingin Air Dan Oli Sae 20 Pada Baja Karbon Rendah". Skripsi, Universitas Negeri Semarang, Semarang.*
- [5] Ihom, AP., 2013, "Case Hardening of Mild Steel using Cowbone as energiser". African Journal Of Engineering, Vol. 1, PP. 97-101, October 2013., University Of Uyo, Nigeria.
- [6] Mujiyono dan Arianto, LS., 2008, "Meningkatkan Efektifitas Karburisasi Padat Pada Baja Karbon Rendah Dengan Optimasi Ukuran Serbuk Arang Tempurung Kelapa". Jurnal Teknik Mesin, Vol. 10, No. 1, Hal. 8-14, April 2008., Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- [7] Pramuko, I., dan Purboputro, 2006, "Pengaruh Penahanan Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pada Proses Pengarbonan Padat Baja Mild Steel". Jurnal Media Mesin, Vol. 7, No. 1, Hal. 9-16, Januari 2006., Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- [8] Rustan, H., 2011, "Sosialisasi Teknik Pembuatan Arang Tempurung Kelapa Dengan Pembakaran Sistem Suplai Udara Terkendali" Buletin Teknik Pertanian, Vol. 16, No. 2, Hal. 77-80, 2011., Litbang BPTP Jambi.
- [9] Schonmetz A. dan Gruber. K., 1985, "Pengetahuan Bahan dalam Pengeraaan Logam" Angkasa, Bandung.
- [10] Surdia Tata dan Shinroku, S., 2000, "Pengetahuan Bahan Teknik". PT. Pradnya Paramitha Edisi kelima, Jakarta.
- [11] Tumpal Ojahan R., 2010, "Perlakuan Panas Dan Permukaan" Diktat Perkuliahan, Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Malahayati, Bandar Lampung.
- [12] Tumpal Ojahan R., Slamet Sumardi, Miswanto, April 2018, "Proses Pembuatan Arang Batok Kelapa Dan Tulang Sapi Dengan Pembakaran Sistem Pirolisis Sebagai Media Pack Carburizing" Seminar Nasional Mesin dan Industri (SNMI XII), Universitas Tarumanagara, Bukit Tinggi, Padang.
- [13] Vlack, VLH., dan Djaprie, S., 1991, "Ilmu dan Teknologi Bahan" Erlangga, Jakarta.
- [14] Tumpal Ojahan R., Miswanto, Juli 2018,"The StudyPack Carburizing Uses The Media Bone Cows And Coconut Across His LowCarbon Steel to Increse The Hardness"2nd National Conference on Industrial Engineering (NCIE) Universitas Sumatera Utara.