



Jurnal Artikel

ANALISIS PENGARUH PROSES VARIASI TEMPERATUR PACK CARBURIZING ARANG SEKAM PADI TERHADAP KEKERASAN, STRUKTUR MIKRO & KOMPOSISI KIMIA BAJA ASTM A36

Farras Noor Fauzan^{1*}, Ratna Dewi Anjani², Rizal Hanifi³

¹Teknik Mesin, Universitas Singaperbangsa Karawang

² Teknik Mesin, Universitas Singaperbangsa Karawang

³ Teknik Mesin, Universitas Singaperbangsa Karawang

¹farras.noorfauzan@gmail.com

²ratna.dewi@ft.unsika.ac.id

*Farras Nor– Email : farras.noorfauzan@gmail.com

Artikel Info - : Received : ; Revised : ; Accepted:

Abstrak

Pada proses perlakuan panas, terdapat beberapa metode perlakuan panas pada baja karbon yaitu pack carburizing, carbonitriding, cyaniding, dan nitriding. pack carburizing merupakan proses perlakuan panas (heat treatment) yang dilakukan dengan cara mendifusikan unsur karbon pada permukaan logam yang kemudian dipanaskan pada suhu austenitnya. Tujuan pack carburizing yaitu untuk menaikkan kadar karbon pada lapisan permukaan baja sehingga didapatkan material baja yang memiliki permukaan keras dan sifat mekanik lain-nya. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode penelitian kuantitatif eksperimental, yaitu metode uji coba dan analisis terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro pada proses pack carburizing dengan variasi temperatur yang berbeda. Pada pengujian komposisi kimia terhadap sampel baja karbon rendah ASTM A36 sebelum dan sesudah proses pack carburizing terjadi kenaikan kadar karbon sebesar 94,4%. 2. Pada pengujian kekerasan Rockwell setelah proses pack carburizing 870°C dengan arang sekam padi 90% dan BaCO₃ 10% didapat nilai kekerasan rata-rata sebesar 22,41 HRC dan case depth 179,64 µm. 3. Pada pengujian kekerasan Rockwell t setelah proses pack carburizing 910°C dengan arang sekam padi 90% dan BaCO₃ 10% didapat nilai kekerasan rata-rata sebesar 41,93 HRC dan case depth 186,54 µm. 4. Berdasarkan perbandingan variasi temperatur 870°C dan 910°C terhadap nilai persentase kenaikan karbon terjadi kenaikan sebesar 87,10%. 5. Berdasarkan struktur mikro pada temperatur 870°C didapatkan struktur fasa 6. Berdasarkan struktur mikro pada temperatur 910°C didapatkan struktur fasa.

Kata kunci: carburizing, struktur mikro, kekerasan, rockwell

Abstract

In the heat treatment process, there are several heat treatment methods for carbon steel, namely pack carburizing, carbonitriding, cyaniding, and nitriding. pack carburizing is a heat treatment process that is carried out by diffusing carbon elements on a metal surface which is then heated to its austenite temperature. The purpose of pack carburizing is to increase the carbon content in the steel surface layer so that a steel material that has a hard surface and other mechanical properties is obtained. In this study the method used was quantitative experimental research method, namely the method of testing and analysis of hardness values and microstructures in the pack carburizing process with different temperature variations. In testing the chemical composition of ASTM A36 low carbon steel samples before and after the pack carburizing process, there was an increase in carbon content of 94.4%. 2. In the Rockwell hardness test after the pack carburizing process at 870°C with 90% rice husk charcoal and 10% BaCO₃, the average hardness value was 22.41 HRC and a case depth of 179.64 µm. 3. In the Rockwell t hardness test after the pack carburizing process at 910°C with 90% rice husk charcoal and 10% BaCO₃, the average hardness value was 41.93 HRC and a case depth of 186.54 µm. 4. Based on a comparison of temperature variations of 870°C and 910°C to the percentage increase in carbon, there was an increase of 87.10%. 5. Based on the microstructure at 870°C, the phase structure is obtained. 6. Based on the microstructure, at 910°C, the phase structure is obtained.

Keywords: carburizing, microstructure, hardness, rockwell

1. PENDAHULUAN

Bersamaan dengan berkembangnya kemajuan zaman dan teknologi khususnya pada dunia industri yang dimana menggunakan logam sebagai bahan baku utamanya menjadikan kebutuhan material logam haruslah memiliki sifat mekanik dan sifat fisik yang baik. Namun saat ini material logam yang memiliki sifat dan karakteristik tersebut belum sepenuhnya sesuai dengan apa yang diinginkan.[1]

Besi dan baja saat ini merupakan material logam yang sering digunakan dan sangat dibutuhkan hampir 95% dalam dunia industri. Besi dan baja selain memiliki persyaratan teknik juga relatif murah dipasaran, akan tetapi di beberapa bidang logam ini mulai mendapatkan persaingan dari logam non besi. Demi mencukupi keperluan masyarakat akan produksi perkakas, komponen otomotif, alat-alat pertanian, serta kebutuhan rumah tangga. Dibutuhkan Sifat-sifat logam yang terdiri dari sifat mekanik (kekerasan, keuletan, kekakuan, dan kekuatan), sifat thermal (penghantar panas), dan sifat fisik (massa jenis, dapat diukur, dan mudah dibentuk).[2]

Baja merupakan logam campuran yang terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C) dimana unsur senyawa besi lebih dominan dibandingkan unsur karbon. Baja karbon dibedakan berdasarkan jumlah unsur karbon yang terkandung di dalamnya yaitu baja karbon rendah (<0,25%), baja karbon medium (0,2-0,5%), dan baja karbon tinggi (0,6-1,4%) [3]. Salah satu usaha yang bisa dilakukan untuk meningkatkan sifat baja yang bervariasi tersebut menjadi lebih kuat terhadap tingkat kekerasan, keuletan, dan tahan gesekan adalah dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*) [4]. Baja ASTM A36 termasuk golongan baja structural yang banyak digunakan dalam bidang industri seperti konstruksi jembatan, struktur bangunan, roda gigi, dan konstruksi kapal.[5]

Pada proses perlakuan panas, terdapat beberapa metode perlakuan panas pada baja karbon yaitu *pack carburizing*, *carbonitriding*, *cyaniding*, dan *nitriding* [6]. *pack carburizing* merupakan proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang dilakukan dengan cara mendifusikan unsur karbon pada permukaan logam yang kemudian dipanaskan pada suhu austenitnya. Tujuan *pack carburizing* yaitu untuk menaikkan kadar karbon pada lapisan permukaan baja sehingga didapatkan material baja yang memiliki permukaan keras dan sifat mekanik lain-nya [7]. *Pack carburizing* biasanya menggunakan sumber karbon aktif seperti arang kayu, arang tempurung, arang sekam padi dan lain sebagainya [8]. yang kemudian disatukan dengan *energizer* berupa barium karbonat, sodium karbonat, dan kalsium karbonat sebagai media *pack carburizing* dengan proses perlakuan pemanasan [9].

Sedangkan pada hasil proses *pack carburizing* ada beberapa faktor yang mempengaruhi perubahan sifat-sifat mekanik logam tersebut diantaranya media *carburizing*, waktu penahanan (*holding time*), temperatur pemanasan, dan media pendinginan (*quenching*). Penggunaan bahan karbon aktif dengan campuran katalis berfungsi sebagai *energizer* akan menghasilkan nilai kekerasan yang berbeda pada material logam [10].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode penelitian kuantitatif eksperimental, yaitu metode uji coba dan analisis terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro pada proses *pack carburizing* dengan variasi temperatur yang berbeda.

Pembuatan spesimen benda uji dilaksanakan di Universitas Singaperbangsa Karawang dan pengujian dilaksanakan di Laboratorium Kalibrasi dan Pengujian (BBLM), Bandung.

Variabel merupakan suatu objek yang menjadi acuan pada suatu penelitian. Dalam

penelitian ini menggunakan dua variabel, yang terdiri dari variabel bebas dan variabel terikat yaitu :

1. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi ataupun menjadi sebab munculnya variabel dependen (terikat). Variabel bebas yang digunakan yaitu variasi temperatur 870°C dan 910°C terhadap baja karbon rendah dengan komposisi arang sekam padi 90% dan barium karbonat (BaCO3) 10% menggunakan metode pack carburizing.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang tidak mengalami perubahan dalam suatu penelitian. Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu pengujian kekerasan, pengujian struktur mikro serta kedalaman total difusi karbon.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Komposisi Kimia

Material yang digunakan berupa baja karbon rendah Astm A36 dengan unsur karbon sebesar 0.18% yang biasa digunakan sebagai konstruksi jembatan, struktur bangunan, roda gigi, dan konstruksi kapal. Untuk mengetahui kandungan unsur-unsur paduan yang terdapat dalam baja Astm A36 sebelum dan setelah proses *pack carburizing* maka dilakukan uji komposisi kimia sesuai standar pengujian Astm E415-21. Pada tabel 4.1 terlihat komposisi kimia baja ASTM A36 sebelum di proses pack carburizing sedangkan pada pengujian menunjukkan baja karbon setelah di proses *pack carburizing* dengan variasi temperatur mengalami perubahan seperti yang terlihat pada tabel 4.2 dan tabel 4.3 berikut.

Tabel 3.1 Komposisi Kimia Baja ASTM 36

Nama	Komposisi (% Max)
Karbon (C)	0.18%
Mangan (Mn)	0.82 %
Posfor (P)	0.012%
Sulfur (S)	0.0081 %
Silikon (Si)	0.368 %
Copper (Cu)	0.15%
Iron (Fe)	98%

Tabel 3.2 Komposisi Kimia Temperatur 870°C

Unsur Kimia	Komposisi (%)	Unsur Kimia	Komposisi (%)
Fe	98,8	Nb	0,0023
C	0,355	Ti	<0,0010
Si	0,105	V	<0,0010
Mn	0,328	W	<0,00400
P	<0,0030	Pb	<0,0150
S	0,0039	Sn	0,0160
Cr	0,0998	B	<0,0010
Mo	0,0139	Ca	0,0017
Ni	0,0784	Zr	<0,0020
Al	0,0193	As	0,0111
Co	0,0039	Bi	<0,250
Cu	0,207		

Tabel 3.3 Komposisi Kimia Temperatur 910°C

Unsur Kimia	Komposisi (%)	Unsur Kimia	Komposisi (%)
Fe	98,4	Nb	<0,0020
C	0,697	Ti	<0,0010
Si	0,102	V	<0,0010
Mn	0,321	W	<0,0400

P	<0,0030	Pb	<0,0150
S	0,0054	Sn	0,0161
Cr	0,0894	B	<0,0010
Mo	0,0149	Ca	0,0024
Ni	0,0720	Zr	<0,0020
Al	0,0206	As	0,0144
Co	0,0021	Bi	<0,0250
Cu	0,204		

Sumber : Laboratorium Kalibrasi dan Penguji BBLM

Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia terlihat pada tabel 3.1 dan tabel 3.2 dengan temperatur 870°C memiliki kandungan karbon sebesar 0.35% yang bisa dikategorikan sebagai baja karbon medium, pada temperatur 910°C memiliki kandungan karbon sebesar 0,69% sehingga dikategorikan baja karbon tinggi. Untuk data pengujian komposisi kimia dari raw material ke temperatur 870 °C terjadi kenaikan kadar karbon sebesar 50%, lalu dari temperatur 870 kepada temperatur 910°C didapat nilai kenaikan sebesar 94,4%. Sedangkan untuk unsur-unsur lain tidak terjadi kenaikan yang cukup signifikan.

Hasil Uji Kekerasan Rockwell

Hasil dari pengujian kekerasan *Hardness Rockwell* menggunakan skala C dengan pembebanan (P) major 150 kgf dan standar pengujian Astm E18. Pengujian ini dilakukan kepada dua sampel benda uji yang telah di proses *pack carburizing* dengan variasi temperatur yang berbeda yakni 870°C dan 910°C. Sedangkan pengujian dilakukan terhadap masing-masing spesimen uji sebanyak 5 titik yang kemudian diambil nilai rata-rata dari titik tersebut. Hasil uji kekerasan dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut :

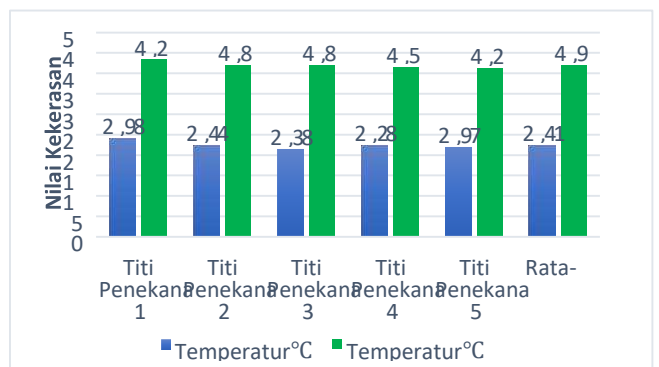
Tabel 3.4 Hasil data pengujian Rockwell temperatur 870°C dan 910°C

No	Waktu penahanan	Tem	Beban (kgf)	Titik beban	Nilai	Case depth (µm)
----	-----------------	-----	-------------	-------------	-------	-----------------

No	Waktu penahanan (jam)	Temperatur (°C)	Beban (kgf)	Kekerasan (HRC)		Case depth (µm)
				Titik	Nilai	
1.	3	870	150	1	23,98	179.64
				2	22,44	
				3	21,38	
				4	22,28	
				5	21,97	
Rata-rata (HRC)				22,41		
2.	3	910	150	1	43,25	186,54
				2	41,86	
				3	41,84	
				4	41,51	
				5	41,21	
Rata-rata (HRC)				41,93		

Sumber : Laboratorium Kalibrasi dan Penguji BBLM

Dari tabel 3.4 diatas dapat dilihat bahwa kekerasan baja Astm A36 setelah proses *pack carburizing* dengan pengujian *Rockwell* dalam waktu penahanan 3 jam dan temperatur 870°C sebesar 22,41 HRC dengan case depth 179.64 µm, sedangkan dalam waktu penahanan 3 jam dan temperatur 910°C sebesar 41,93 HRC dengan case depth 186,54 µm. Untuk grafik kekerasan Rockwell dapat dilihat

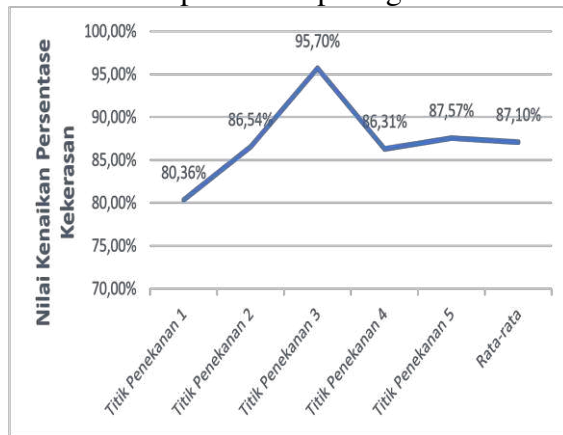


pada gambar 3.1.

Gambar 3.1 Grafik pengujian Rockwell perlakuan panas pack carburizing temperature 870°C dan 910°C dengan waktu penahanan 3 jam.

Sedangkan untuk hasil kenaikan persentase kekerasan berdasarkan

perbandingan variasi temperatur 870°C dan 910°C dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 3.2 Grafik persentase kenaikan nilai kekerasan Rockwell berdasarkan perbandingan temperatur 870°C dan 910°C.

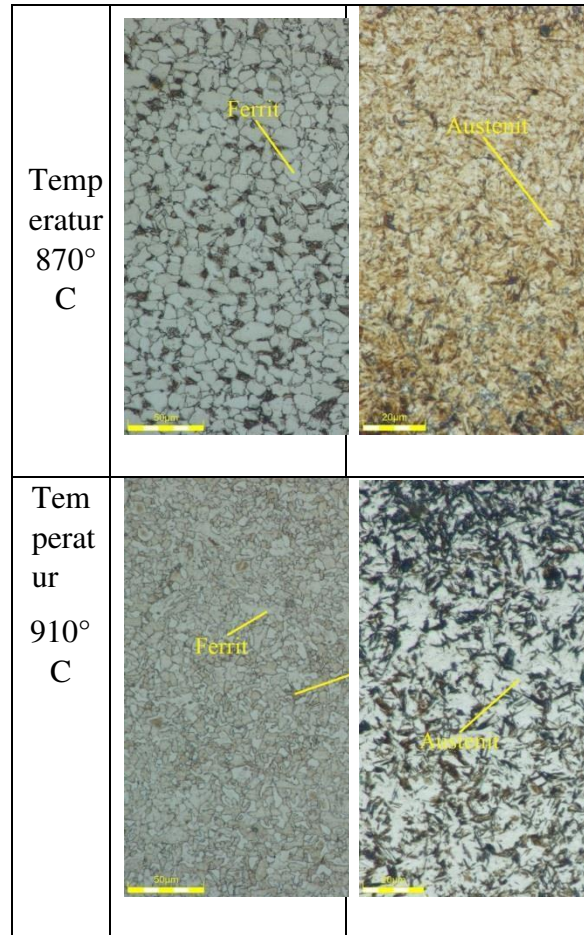
Dari data hasil pengujian yang terlihat pada gambar 3.2 menunjukkan bahwa spesimen baja Astm A36 mengalami kenaikan persentase kekerasan dari temperatur 870°C terhadap temperatur 910°C sebesar 87,10%.

Hasil Uji Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro pada baja ASTM A36 dilakukan pada sampel menggunakan mesin uji *Olympus Microscope DSX-HRS* dengan pembesaran 1000x. sampel yang diamati terdiri dari satu sampel dari masing-masing variasi. Pada tabel 4.5 terlihat hasil pengamatan struktur mikro pada bagian tengah dan tepi dari sampel.

Tabel 4.5 Pengamatan struktur mikro baja ASTM A36 setelah proses pack carburizing dengan variasi temperatur.

Variasi	Bagian tengah	Bagian tepi



Berdasarkan tabel 3.5 hasil pengamatan struktur mikro pada sampel dengan proses pack carburizing. Pada bagian tengah sampel dengan temperatur 870°C terlihat unsur struktur fasa yang didominasi fasa ferrit dan perlit. Sedangkan pada bagian tepi memiliki struktur fasa austenit dan dan martensit yang berbentuk seperti jarum yang tidak beraturan, sehingga menyebabkan kenaikan pada nilai kekerasannya.

Sama halnya pada sampel uji dengan variasi temperatur 910°C terlihat pada bagian tengahnya memiliki stuktur fasa ferrit dan perlit, namun terlihat unsur fasa perlit jauh lebih banyak dibandingkan unsur ferrit yang mendominasi pada bagian tengah.

Pada struktur mikro baja ASTM A36 dengan proses carburizing terdapat fasa austenite sisa yang yang ditandai dengan warna (putih) seperti layaknya ferrit.

Austenit akan mengalami transformasi menjadi struktur martensit jika dilakukan proses quenching ke temperatur kamar, namun terdapat sebagian austenite yang tidak mengalami transformasi yang hal ini biasa disebut dengan austenite sisa atau *retained austenite*. Austenit sisa akan meningkat seiring meningkatnya kadar karbon pada material.

Peningkatan nilai kekerasan pada permukaan baja astm a36 dapat disebabkan oleh banyaknya struktur ferrit yang memiliki sifat keras, serta martensit yang bersifat sangat keras namun getas. Pada saat proses pack carburizing terjadi difusi atom karbon dalam jumlah banyak, sehingga mengalami peningkatan kadar karbon pada spesimen uji yang kemudian menghasilkan struktur perlit. Sedangkan struktur martensit terbentuk karena adanya laju pendinginan cepat dengan menggunakan air. Sehingga hal ini menyebabkan nilai kekerasan spesimen uji baja ASTM A36 sangat tinggi.

4. PENUTUP KESIMPULAN

Berdasarkan hasil data dari pengujian komposisi kimia, kekerasan Rockwell, dan struktur mikro dengan metode pack carburizing arang sekam padi dengan perbandingan variasi temperatur 870°C dan 910°C dengan waktu holding time 3 jam didapat kesimpulan sebagai berikut :

Pada pengujian komposisi kimia terhadap sampel baja karbon rendah ASTM A36 sebelum dan sesudah proses pack carburizing terjadi kenaikan kadar karbon sebesar 94,4%.

Pada pengujian kekerasan Rockwell setelah proses pack carburizing 870°C dengan arang sekam padi 90% dan BaCO₃ 10% didapat nilai kekerasan rata-rata sebesar 22,41 HRC dan case depth 179.64 µm.

Pada pengujian kekerasan Rockwell t setelah proses pack carburizing 910°C dengan arang sekam padi 90% dan BaCO₃

10% didapat nilai kekerasan rata-rata sebesar 41,93 HRC dan case depth 186,54 µm.

Berdasarkan perbandingan variasi temperatur 870°C dan 910°C terhadap nilai persentase kenaikan karbon terjadi kenaikan sebesar 87,10%.

Berdasarkan struktur mikro pada temperatur 870°C didapatkan struktur fasa

Berdasarkan struktur mikro pada temperatur 910°C didapatkan struktur fasa

SARAN

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini antara lain :

Diperlukan penelitian lebih lanjut terkait pengaruh proses carburizing, media *quenching* dan waktu penahanan dengan menggunakan media arang yang berbeda. Pemilihan wadah karburasi perlu diperhatikan kekuatan tahan panas dan materialnya. Usahakan material wadah karburasi mampu menahan panas diatas suhu pemanasan yang tinggi. Peletakan sampel uji dalam wadah karburasi sangat berpengaruh terhadap hasil kekerasan dan difusi yang terjadi selama proses *pack carburizing*

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Sakura, dkk. 2017. Pengaruh Variasi Karbon Aktif Dan Waktu Tahan Terhadap Kekerasan material JIS G-3123 Menggunakan Metode Pack Carburizing Rekayasa Energi Manufaktur (R.E.M) Jurnal. Vol.2, No.1. Institut Teknologi Adhi Tama. Surabaya.
- [2]. Syahri, B., Putra, Z. A., & Helmi, N. (2017). Analisis Kekerasan Baja Assad 705 Yang Diberikan Perlakuan Panas Hardening Dan Media Pendingin. Jurnal Inovasi, Vokasional dan Teknologi. Vol. 17, No. 1.
- [3]. Manurung, V., Wibowo, Y., Baskoro, S. (2020). Panduan Metalografi. Jakarta : LP2M Politeknik Manufaktur Astra
- [4]. Rizal, Y. 2017. Peningkatan kekuatan tarik baja karbon aisi 1040 akibat pengaruh media pendingin pada proses perlakuan panas. Jurnal

- Fakultas Teknik Universitas Pasir Pangaraian. Riau.
- [5]. Parmita, dkk. 2021. Analisis Pengaruh Variasi Temperatur Proses Pack Carburizing Terhadap Laju Korosi Material Baja Karbon Astm A36. Vol 5. No 2. Institusi Teknologi Kalimantan. Balikpapan.
- [6]. Kuswanto, B. 2010. Perlakuan Pack Carburizing Pada Baja Karbon Rendah Sebagai Material Alternatif Untuk Pisau Potong Pada Penerapan Teknologi Tepat Guna. Politeknik Negeri Semarang. Semarang.
- [7]. Fahreza, M. I., Farhriza, & Hamdan. (2017). Analisa Pengaruh Waktu Penahanan Terhadap Nilai Kekerasan Baja Aisi 1050 Dengan Metode Pack Carburizing. *Mesin Sains Terapan*, 1(1), 1–5.
- [8]. Eko, J.A., 2006, Pengaruh Media Karburasi Dan Bahan Kimia Aktif Terhadap Kekerasan Cangkul, Skripsi S1 Teknik Mesin Ft, Uns, Surakarta.
- [9]. Nanulaita, N. & Lilipaly, E.R.M 2011. Analisis Perbandingan Komposisi Karbon Dan Bubuk Tulang Sapi Dalam Proses Karburasi Padat Untuk Mendapatkan Nilai Kekerasan Tertinggi Pada Baja Karbon S-35 C. *ARIKA*. Vol. 05, No.2. Politeknik Negeri Ambon, Maluku.
- [10]. Nurharyanto, A. (2009). Pengaruh Media Carburizing Arang Sekam Padi Dan Arang Tempurung Kelapa Terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- [11]. Callister, W. D., dan Rethwisch, D. G. 2011. *Materials science and engineering*. NY: John wiley & sons.
- [12]. ASM Metals Handbook. 2005. "Heat Treating volume 04". American society for metals. United states of America.
- [13]. Smallman, R. E. and Bishop, R. J. 1999. *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering*. Oxford, Butterworth-Heinemann.
- [14]. Yunus, M., Rahman J., dan Ramesh A. 2012. Recent Vistas in Engineering Surface Modification Technique. *Jurnal IJMET*. 3(2): 92-107
- [15]. Bepari, M. M. A. 2017. carburizing: A method of case hardening of steel.
- [16]. Sumiyanto and Abdunnaser, "Pengaruh Proses Hardening dan Tempering Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro pada Baja Karbon Sedang Jenis SNCM 447." *Jurnal Teknik Mesin*, vol. II, pp. 1-20, 2016.
- [17]. Handoyo, Y. (2015). Pengaruh Quenching Dan Tempering Pada Baja Jis Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Crankshaft. Bekasi : Universitas Islam 45 Bekasi.
- [18]. Mersilia, A. 2016. Pengaruh Heat Treatment Dengan Variasi Media Quenching Air Garam dan Oli Terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja Pegas Daun AISI 6135.
- [19]. Dieter, G. E., & Djaprie, S. 1987. *Metalurgi mekanik*. Erlangga.
- [20]. Budinski G. Kenneth. 1999. *Engineering Material*. Edisi 7, Dalam Pengaruh Jenis Katalis pada Proses Carburizing Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Sriwijaya*.
- [21]. Surdianto, Y., Sutrisna, Nana., Basuno. dan Solihin. 2018. Cara membuat arang sekam. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Jawa Barat: Bandung.
- [22]. ASM Handbook. (1991), "Heat Treating Volume 4" © ASM International.

- [23]. Panjaitan, Aspan. (2015). "Pengaruh bahan baku arang aktif pada proses carburizing terhadap sifat mekanis baja bohler EMS-45 untuk center dead mesin bubut", Jurnal Ilmiah "MEKANIK" Teknik Mesin ITM, Vol. 1 No. 2: 88- 97.
- [24]. Ahmad, "Pengaruh Proses Tempering dan Proses Pengerolan Di Bawah dan Di Atas Temperatur Rekristalisasi pada Baja Karbon Sedang Terhadap Kekerasan dan Ketangguhan Serta Struktur Mikro Untuk Mata Pisau Pemanen Sawit," Jurnal e-Dinamis, vol. 2, no. 2, pp. 10-22, 2012.
- [25]. Afriany, R., Asmadi, A. and Nuryanti, S.Z. 2017. Analisa Pengaruh Variasi Katalis BaCO₃, NaCO₃ dan CaCO₃ pada Proses Karburasi Baja Karbon Sedang dengan Pendinginan Tunggal. *Teknika*. 4(1): 38-50.
- [26]. ASM Metals Handbook. 2005. "Metallography and Microstructures volume 09". American society for metals. United states of America.
- [27]. Prapaska, B. P. (2020) Pengaruh Karburisasi Padat dan Quenching Pada Suhu 8000 C Dengan Waktu Penahanan 4,6,8 Jam Menggunakan Media Arang Batok Kelapa dan Kulit Telur Sebagai Katalisator Terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah. Yogyakarta : Universitas Sanata Dharma.
- [28]. Ponang, A.P. (2018). Peningkatan Kekerasan Sprocket imitasi Melalui Proses Karburisasi Cair. Yogyakarta : Universitas Sanata Dharma.
- [29]. Qistina, I., Sukandar, D., & Trilaksono, T. (2016). Kajian Kualitas Briket Biomassa dari Sekam Padi dan Tempurung Kelapa. *Jurnal Kimia VALENSI*, 0(0).
- [30]. Schonmetz, A., & Gruber, K. 1985. Pengetahuan bahan dalam pengerjaan logam: pengerjaan benda-benda setengah jadi pengertian dasar kimia, pengertian dasar fisik. Angkasa, Bandung.
- [31]. Surdianto, Y., Sutrisna, N., Basuno., Solihin. (2015). Panduan Teknis Cara Membuat Arang Sekam Padi. Bandung : Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (Bptp) Jawa Barat.
- [32]. Xiong, L., Saito, K., Sekiya, E.H., Sujaridworakun, P. and Wada, S., 2017. Influence of impurity ions on rice husk combustion. *Journal of metals, materials and minerals*, 19(2).*Materials and Minerals*. 19 (2) : 73-77.
- [33]. Badan Pusat Statistik (BPS). 2016. Produksi Padi Menurut Provinsi (ton) 1993–2015. <https://www.bps.go.id/dynamictable/215/09/09/865/produksipadi-menurut-provinsi-ton-1993-2015.html>.
- [34]. Lakum, K.C. 2009, Pemanfaatan Abu Sekam Padi Sebagai Campuran Untuk Peningkatan Kekuatan Beton. Skripsi. FMIPA USU, Medan.