

KARAKTERISASI PROSES KARBURISASI MENGGUNAKAN LIMBAH SERBUK FOTOKOPI DAN ARANG BATOK KELAPA PADA BAJA AISI 1050 DENGAN TEMPERATUR 800°C TERHADAP VARIASI ALIRAN GAS

Dimas Firmansyah¹, I Komang Astana Widi², T. A. Sutrisno³

Program Studi Teknik Mesin S-1, Institut Teknologi Nasional Malang, Kota Malang, Indonesia

Email: dimasfirmanu@gmail.com

ABSTRAK

Dalam kehidupan sehari-hari, kebutuhan manusia terus meningkat, sehingga limbah yang dihasilkan juga semakin banyak. Hal ini menuntut kita untuk menjadi lebih kreatif dalam mengatasi masalah baru dengan meningkatkan kualitas bahan yang dihasilkan dan sekaligus memanfaatkan limbah. Salah satu contoh penggunaan bahan dalam aplikasi ilmu adalah penggunaan baja AISI 1050 sebagai komponen mesin, seperti gear dan poros propeller. Baja ini membutuhkan karakteristik surface hardening yang baik, dan keuletan di dalamnya. Dalam penelitian ini, tujuannya adalah untuk mengetahui apakah serbuk fotokopi dengan campuran arang tempurung kelapa dapat meningkatkan kadar karbon pada baja AISI 1050 melalui proses carburizing menggunakan alat *Fluized Bed Furnace*. Untuk mengetahui kadar karbon dalam material penelitian ini, digunakan SEM EDX. Selain itu, dilakukan pengujian kekerasan dan keausan untuk membandingkan kekerasan dan laju aus material sebelum dan setelah perlakuan carburizing. Penelitian ini hanya berfokus pada kadar karbon, kekerasan, dan keausan material. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan nilai kadar karbon, kekerasan, serta penurunan laju aus material yang diteliti, yang merupakan temuan yang signifikan. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi sebagai bahan kajian dan informasi yang penting bagi dunia kerja, terutama dalam bidang produksi. Melalui peningkatan kadar karbon, kekerasan, dan pengurangan laju aus material, penelitian ini memberikan hasil yang cukup signifikan dan dapat memberikan wawasan baru bagi industri

Kata Kunci: Baja AISI 1050, Carburizing, Serbuk fotokopi, Arang Kelapa, Pengujian Kekerasan, Pengujian Keausan, SEM-EDX

PENDAHULUAN

Pada zaman sekarang dengan perkembangan teknologi serta ilmu yang sangat pesat dibutuhkan juga perkembangan dalam perihal material sebagai bahan dari aplikasi ilmu yang ada pada saat ini, karena itu untuk mencari bahan yang membutuhkan spesifikasi yang diinginkan untuk aplikasi ilmu sangat penting, serta pemanfaatan limbah juga tidak kalah penting dikarenakan hal ini juga akan mengurangi biaya produksi dan lain lain

Logam memiliki peran penting dalam kehidupan manusia dan mendukung teknologi modern. Kebutuhan manusia banyak bergantung pada 5 unsur logam. Manusia berusaha memperbaiki sifat-sifat logam melalui penelitian dan pengembangan agar lebih efisien dan sesuai untuk berbagai aplikasi Baja karbon AISI 1050 digunakan luas dalam berbagai aplikasi seperti roda rel kereta api, roda gigi, komponen mesin, dan komponen struktural yang memerlukan kombinasi kekuatan, ketahanan terhadap gesekan, dan ketangguhan untuk meningkatkan sifatnya, baja karbon biasanya menjalani proses pengerasan, tempering dan lain lain,

Dalam proses perlakuan panas, ada tahapan pendinginan material yang disebut quenching atau penggumpalan. Salah satu metode yang sering digunakan dalam quenching adalah metode direct quenching atau quenching langsung. Metode direct quenching melibatkan pendinginan material dengan cepat langsung setelah mencapai suhu tertentu selama perlakuan panas. Pendinginan yang cepat ini menyebabkan pembentukan struktur paduan yang lebih keras dan lebih kuat daripada jika material didinginkan secara perlahan. Dan membuatnya lebih tahan terhadap deformasi plastis serta gesekan

Carburizing (karburasi) adalah suatu proses menambah lapisan benda kerja dengan karbon melalui perlakuan termokimia, akan tetapi untuk baja karbon tinggi tidak di inginkan untuk melakukan karburasi dikarenakan cukup sulit pembentukan jaringan sementit pada lapisan. Karburasi menggunakan alata *Fluized Bed Furnance* harus selalu diperhatikan suhu operasi nya, dengan maksimum suhu mencapai 1050°C , karena pada suhu tinggi sangat mungkin terjadi over pressure, atau jelaga yang terlalu banyak serta alumuium oxide yang panas bisa menyembur keluar dari tungku , hal ini berbahaya dan dapat menyebabkan kecelakaan kerja

TINJAUAN PUSTAKA

A. Serbuk *fotocopy*

Serbuk toner, yang juga sering disebut sebagai limbah serbuk *fotocopy*,. Secara keseluruhan, toner terdiri dari bubuk karbon yang dicampur dengan berbagai bahan aditif seperti styrene akrilat kopolimer, styrene kopolimer, styrene polimer, resin hidrokarbon, dan bahan lainnya. karena serbuk toner sudah berbentuk serbuk berbeda dengan sumber karbon seperti arang dan lainnya hal ini akan memudahkan karbon yang sudah berbentuk serbuk untuk berdifusi ke dalam lapisan luar spesimen yang akan di karburasi dengan suhu 800°C

B. *Fluized Bed Furnance*

Alat *Fluized Bed Furnance* digunakan untuk proses termokimia gas seperti *carburizing, nitriding, carbonitriding, annealing, dan normalizing*, hal ini bertujuan untuk melakukan kekerasan permukaan pada spesimen uji, dengan bentuk tungku yang silinder atau persegi yang terdapat kisi logam atau plat beton dan valve untuk membuat ledakan udara atau distribusi gas ke dalam ruang perapian dan terdistribusi yang seragam diatas penampang seluruh ruang tungku dengan efisiensi yang tinggi dihasilkan oleh perpindahan panas hal ini menjadi karakteristik dari *fluized bed furnance*, diameter partikel pada media perpindahan panas memberikan pengaruh dengan semakin kecil semakin baik akan tetapi jika terlalu kecil dari ukuran yang sudah ditentukan akan menyulitkan

C. Uji Kekerasan *Microvikers*

Uji kekerasan *microvikers* dengan menggunakan metode yang serupa dengan brinell akan tetapi dengan menggunakan indentor berbentuk piramida berlian dengan sudut 136°, mengukur kekerasan spesimen dengan menekan bagian yang akan diuji dengan indentor

D. Uji Keausan Pin On Disc

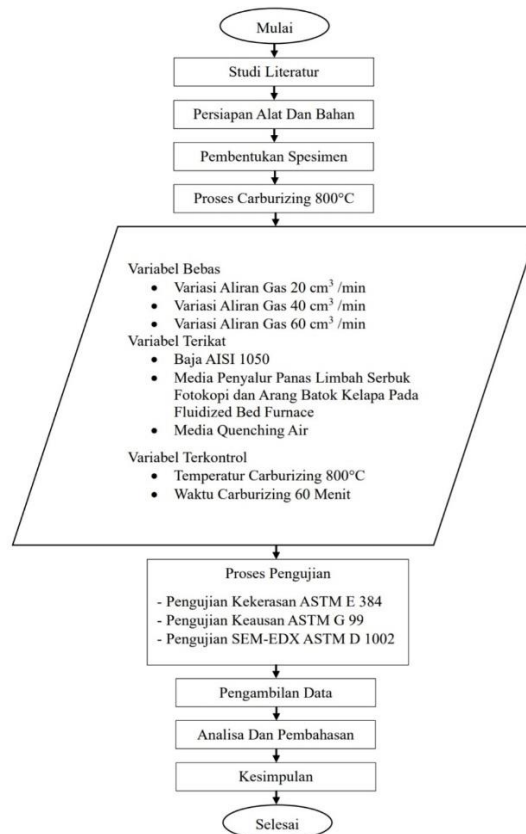
Uji Keausan Pin On Disc dilakukan untuk mencari tahu nilai laju keausan yang ada pada spesimen raw material dan spesimen setelah perlakuan, dengan membandingkan kedua nilai tersebut

E. Uji SEM-EDX

Uji SEM-EDX digunakan untuk melihat ketebalan lapisan *carburizing* dari spesimen setelah perlakuan panas serta untuk mengetahui kadar karbon yang ada pada lapisan *carburizing* tersebut

METODE PENELITIAN

A. Diagram Alir



Gambar. 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan *Fluidized Bed Furnance* sebagai alat untuk karburasi spesimen dengan menggunakan media pengantar panas adalah campuran arang kepala dan serbuk *fotocopy*, variasi yang digunakan adalah variasi laju alir gas yang masuk ke *Fluidized Bed Furnance* dengan laju alir 20 cm³/min, laju alir 40 cm³/min, dan laju alir 60 cm³/min, penahanan waktu pada saat carburizing adalah 60 menit di lanjutkan dengan proses *direct quenching* menggunakan air selama 45 menit, setelah spesimen sudah diberi perlakuan dilanjutkan dengan pengujian, pengujian kekerasan dilakukan dengan spesimen ASTM E 385 untuk mengetahui kekerasan dengan satuan HV, pengujian keausan dilakukan dengan spesimen ASTM G99 pada alat uji keausan *Pin On Disc*, pengujian SEM-EDX dengan spesimen D 1002 untuk mengetahui kadar karbon dalam spesimen dan lapisan karburasi pada spesimen

B. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian dimulai dari bulan Maret 2023 - juni 2023. Pembuatan spesimen dilaksanakan di Balai Besar Pengembangan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi Bidang Otomotif dan Elektronika (BBPPMPV BOE) Malang, proses karburasi dan pengambilan data dilakukan di Lab. Material Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Nasional Malang, pengujian dan pengambilan data kekerasan dilakukan di Lab. Pengujian Bahan Politeknik Negeri Malang, pengujian dan pengambilan data keausan dilakukan di Lab. Material Institut teknologi Nasional Malang, pengujian dan pengambilan data SEM EDX dilakukan di Lab. Biosanins Universitas Brawijaya

HASIL DAN PEMBAHASAN

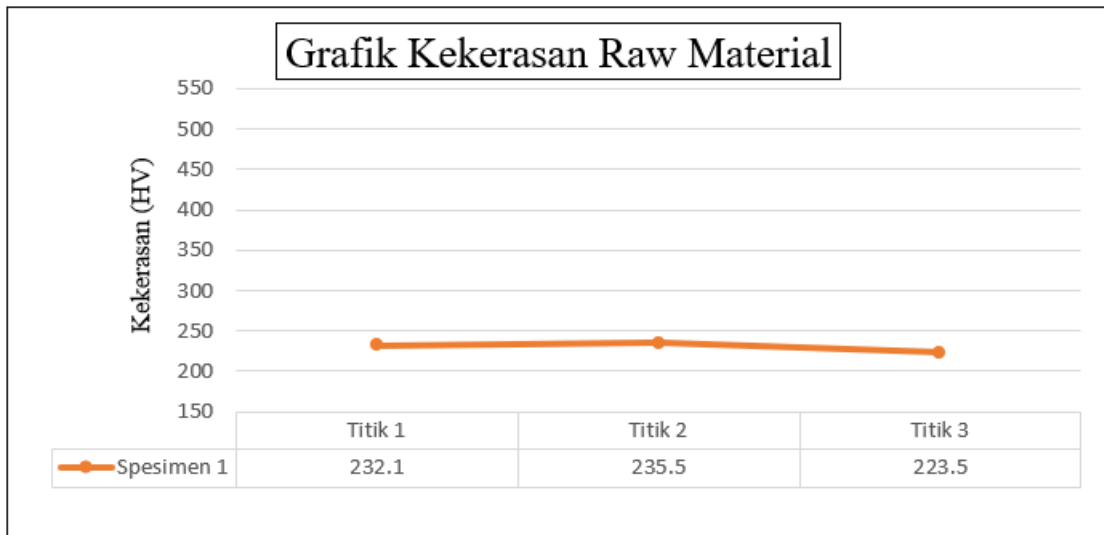
A. Pengolahan Data dan Pembahasan Hasil Pengujian Kekerasan *Microvikers*

Dengan hasil pengujian kekerasan *Microvikers* pada raw material dan spesimen setelah proses *carburizing* dengan media penyalur panas arang batok kelapa dan serbuk *fotocopy* dengan variasi laju alir 20 cm³/min, 40 cm³/min dan 60 cm³/min. Didapatkan hasil data sebagai berikut :

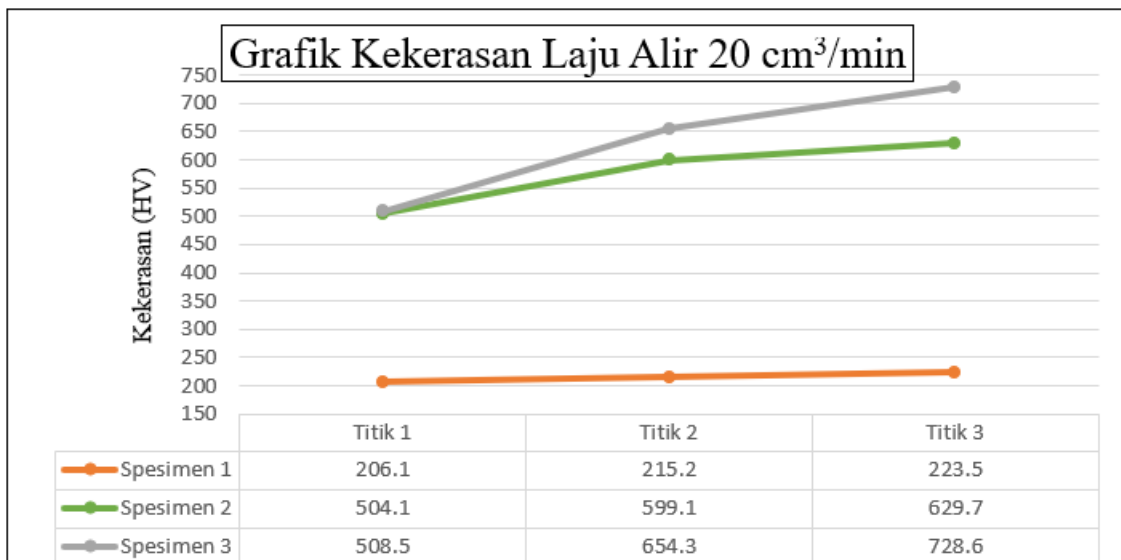
Tabel Hasil Pengujian Kekerasan *Microvikers*

No	Kode Spesimen	Kekerasan (HV)			Rata-rata Kekerasan (HV)
		Titik 1	Titik 2	Titik 3	
1	Raw material Baja AISI 1050	232,1	253,5	238,2	235,26
Laju Alir 20 cm ³ /min					
No	Kode Spesimen	Kekerasan (HV)			Rata-rata Kekerasan (HV)
		Titik 1	Titik 2	Titik 3	
1	Spesimen 1	206,1	215,2	223,5	214,93
2	Spesimen 2	504,1	599,1	629,7	577,83
3	Spesimen 3	508,5	654,3	728,6	630,47
		Rata – rata			474,41
Laju alir 40 cm ³ /min					
No	Kode Spesimen	Kekerasan (HV)			Rata-rata Kekerasan (HV)
		Titik 1	Titik 2	Titik 3	
1	Spesimen 4	633,4	699,2	734,9	698,16
2	Spesimen 5	747,5	788	802,6	766,03

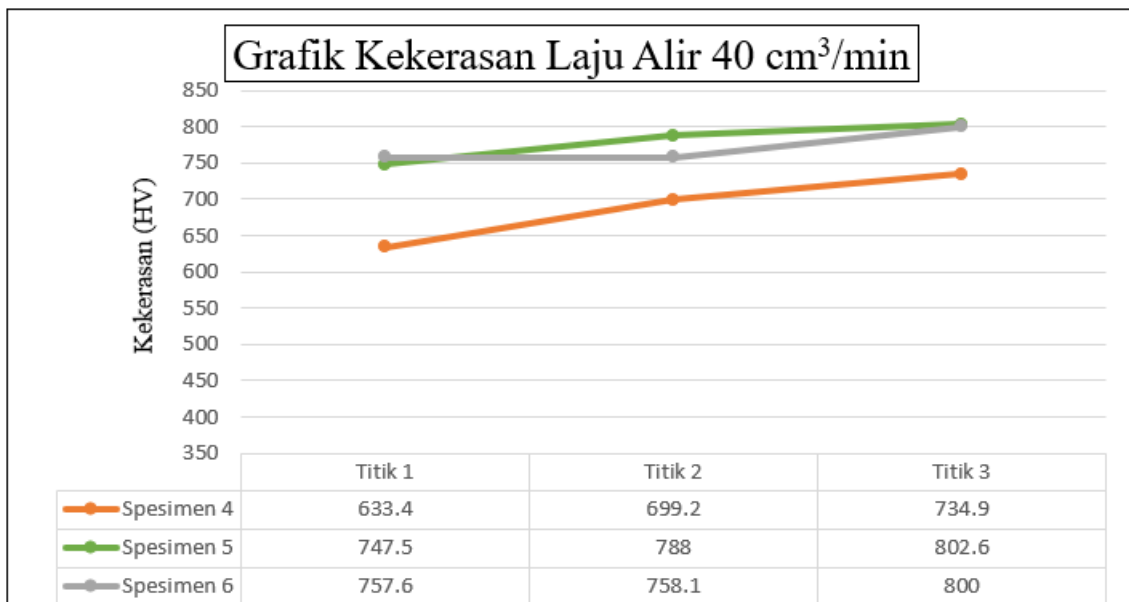
3	Spesimen 6	757,6	758.1	800	771,9
Rata-rata					742,37
Laju alir 60 cm ³ /min					
No	Kode Spesimen	Kekerasan (HV)			Rata-rata Kekerasan (HV)
		Titik 1	Titik 2	Titik 1	
1	Spesimen 7	772,8	783,4	800	785,4
2	Spesimen 8	758,6	769,9	854,7	806,05
3	Spesimen 9	791,6	814,9	931,4	803,25
Rata-rata					798,43



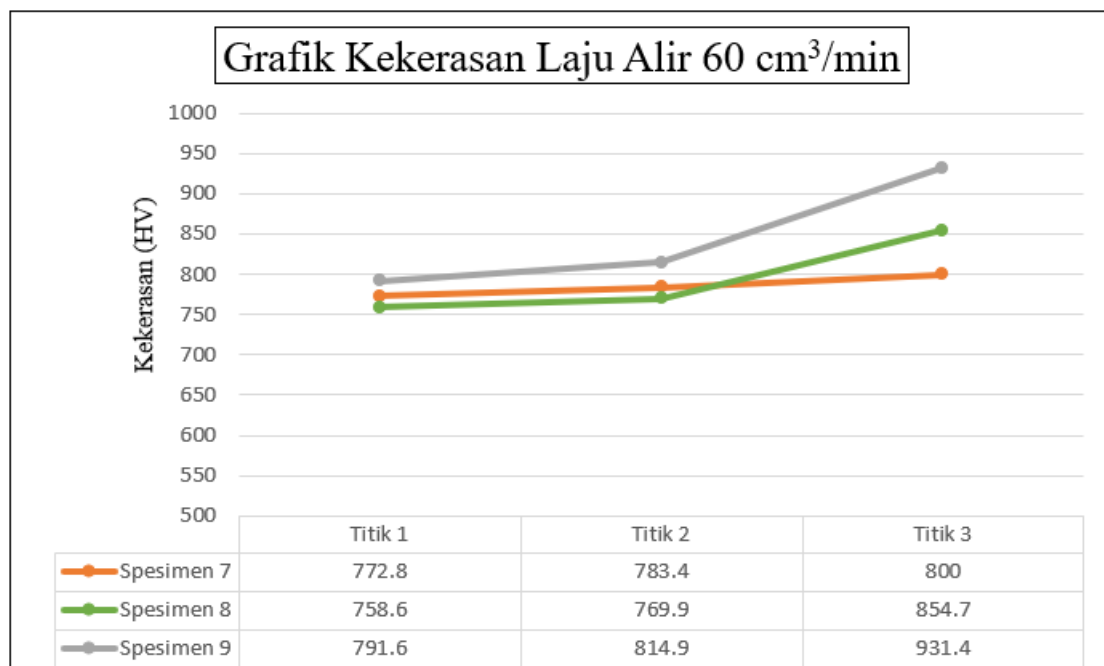
Grafik Kekerasan Raw Material



Grafik Kekerasan Laju Alir 20 cm³/menit



Grafik Kekerasan Laju Alir 40 cm³/menit



Grafik Kekerasan Laju Alir 40 cm³/menit

Berdasarkan semua grafik diatas dapat dilihat bahwa kekerasan semakin meningkat searah dengan meningkatnya laju alir yang di tambahkan pada Fluized Bed Furnance dengan nilai kekerasan raw material adalah 235,26 HV dengan kadar karbon 13,482 % , nilai rata-rata kekerasan laju alir 20 cm³/min adalah 474,41 HV dengan kadar karbon 17,689 % , nilai rata-rata kekerasan laju alir 40 cm³/min adalah 742,37 HV dengan kadar karbon 20,139 % , dan nilai kekerasan rata-rata laju alir 60 cm³/min adalah 798,43 cm³/min dengan kadar karbon 21,328 %

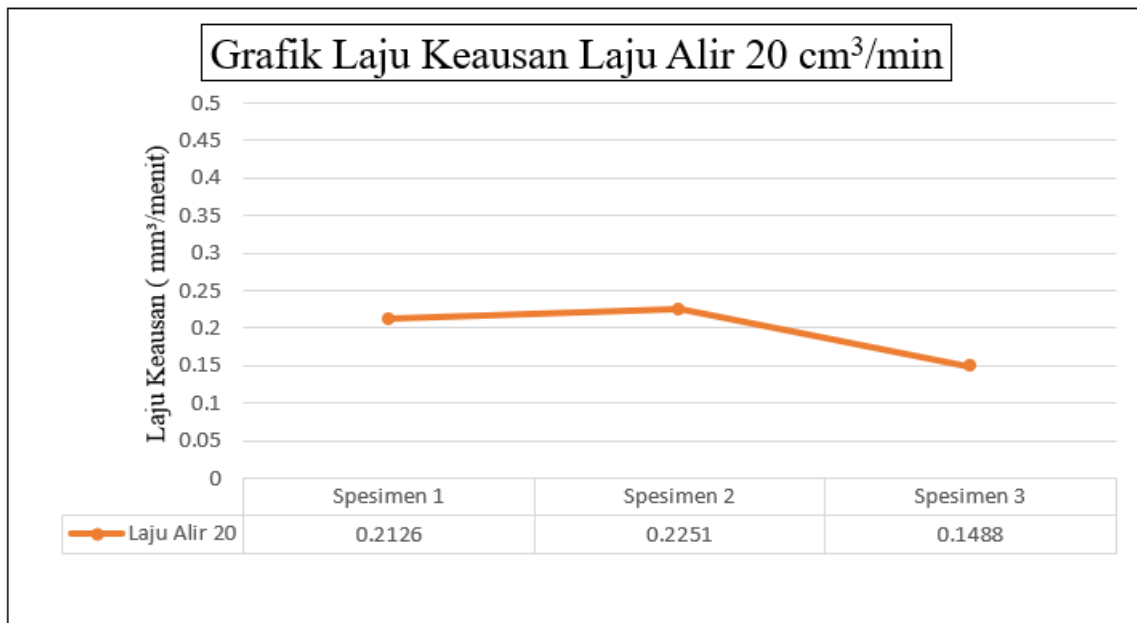
Dapat dihitung bahwa kenaikan nilai kekerasan dari laju alir 40 cm³/min ke laju alir 60 cm³/min adalah 56,06 HV dengan kenaikan karbon 1,189 % peningkatan nilai kekerasan ini kurang signifikan dibanding peningkatan kekerasan spesimen laju alir 20 cm³/min ke laju alir 40 cm³/min hal ini dikarenakan kurangnya teliti pada saat penempatan spesimen laju alir 60 cm³/min ke dalam tungku carburizing , kenaikan nilai kekerasan dari laju alir 20 cm³/min ke 40 cm³/min adalah 267,96 HV dengan kenaikan karbon 6,45 % , kenaikan nilai kekerasan dari raw material ke laju alir 20 cm³/min adalah 239,51 HV dengan kenaikan karbon 4,207 % dengan kenaikan kadar karbon dan kekerasan tersebut dapat diketahui bahwa Carburizing

dengan media campuran antara arang kelapa dan serbuk fotokopi dapat meningkatkan nilai kekerasan dan kadar karbon dalam spesimen

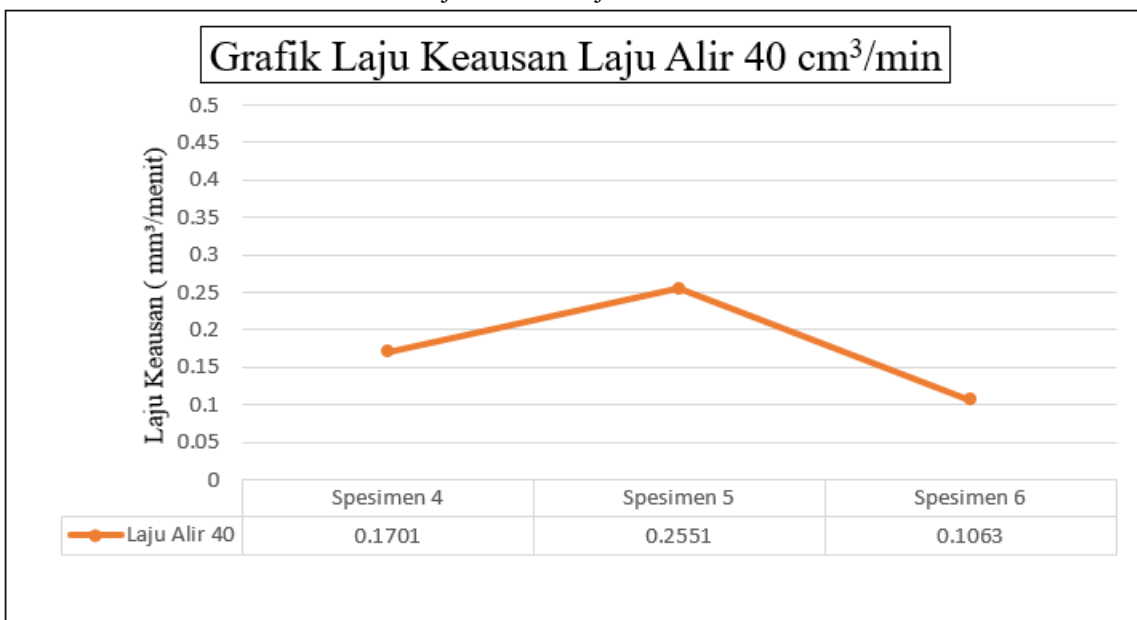
B. Pengolahan Data dan Pembahasan Hasil Pengujian Keausan

Tabel Hasil Pengujian Keausan

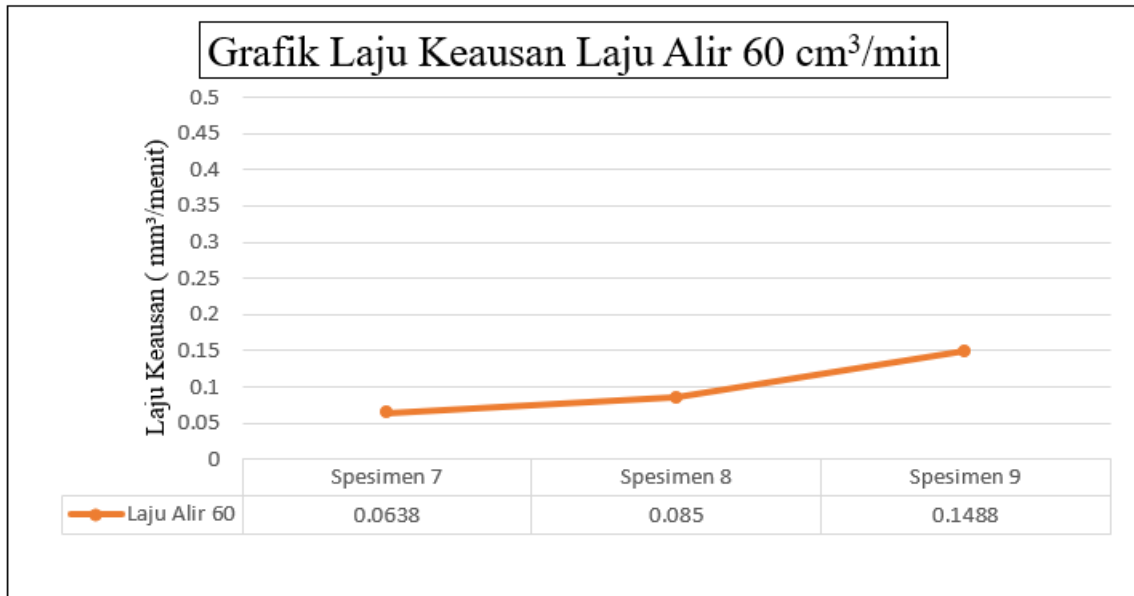
No	Kode Spesimen	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Berat yang hilang (gram)	Laju Aus (mm ³ /min)	Volume Berat Yang Hilang (mm ³)
1.	Raw Material	204,51	203,88	0,2	0,4252	25,51
Laju alir 20 cm ³ /min						
No	Kode Spesimen	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Berat yang hilang (gram)	Laju aus (mm ³ /min)	Volume Berat Yang Hilang (mm ³)
1.	Spesimen 1	202,94	202,84	0,1	0,2126	12,76
2.	Spesimen 2	204,25	204,13	0,12	0,2251	15,31
3.	Spesimen 3	200,42	200,35	0,07	0,1488	8,93
	Rata rata			0,097	0,2055	12,32
Laju alir 40 cm ³ /min						
No	Kode Spesimen	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Berat yang Hilang (gram)	Laju Aus (mm ³ /min)	Volume Berat yang Hilang (mm ³)
1.	Spesimen 4	207,81	207,73	0,08	0,1701	10,20
2.	Spesimen 5	201,27	201,15	0,12	0,2551	15,31
3.	Spesimen 6	200,2	200,15	0,05	0,1063	6,38
	Rata rata			0,083	0,1772	10,629
Laju alir 60 cm ³ /min						
No	Kode Spesimen	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Berat yang Hilang (gram)	Laju Aus (mm ³ /min)	Volume Berat yang Hilang (mm ³)
1.	Spesimen 7	202,44	202,41	0,03	0,0638	3,83
2.	Spesimen 8	204,31	204,27	0,04	0,0850	5,10
3.	Spesimen 9	203,06	202,99	0,07	0,1488	8,93
	Rata rata			0,047	0,0992	5,952



Grafik Laju Keausan Laju Alir 20 cm³/menit



Grafik laju Keausan Laju Alir 40 cm³/menit

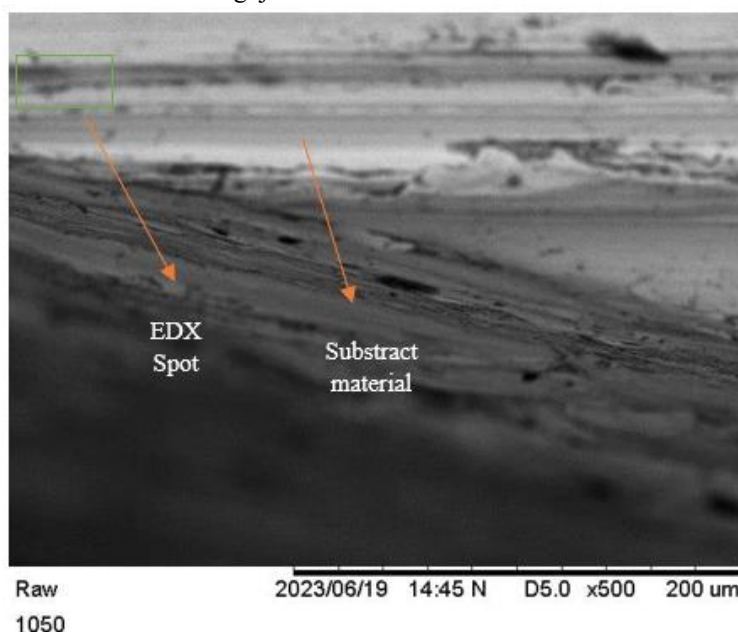


Grafik Laju Keausan Laju Alir 60 cm³/min

Berdasarkan grafik hubungan kadar karbon dengan laju keausan terlihat bahwa nilai laju keausan raw material adalah 0,4252 mm³/menit, nilai laju keausan rata-rata spesimen laju alir 20 mm³/s adalah 0,2055 mm³/s lebih rendah dari nilai rata-rata laju keausan spesimen raw material dengan nilai 0,4252 mm³/menit, nilai laju keausan rata-rata spesimen laju alir 40 mm³/s adalah 0,1772 mm³/s lebih rendah dari nilai rata-rata laju keausan spesimen laju alir 20 cm³/min dengan nilai 0,2055 mm³/menit, nilai laju keausan rata-rata spesimen laju alir 60 mm³/s adalah 0,0992 mm³/min lebih rendah dari nilai rata-rata laju keausan spesimen laju alir 40 cm³/min dengan nilai 0,2055 mm³/min, penurunan nilai laju keausan ini searah dengan meningkatnya laju alir yang di pakai pada Fluized Bed Furnance

Dapat dihitung bahwa penurunan laju aus dari raw material ke laju alir 20 cm³/min adalah 0,2164 mm³/min dengan kenaikan karbon 4,207 % , penurunan nilai laju keausan dari laju alir 20 cm³/min ke 40 cm³/min adalah 0,0283 mm³/min dengan kenaikan karbon 2,45 % , penurunan nilai laju keausan dari laju alir 40 cm³/min ke 60 cm³/min adalah 0,078 mm³/min dengan kenaikan karbon 1,189 % dengan kenaikan kadar karbon dan kekerasan tersebut dapat diketahui bahwa Carburizing dengan media campuran antara arang kelapa dan serbuk fotokopi dapat menurunkan nilai laju keausan dan meningkatkan kadar karbon dalam spesimen

C. Pengolahan Data dan Pembahasan Hasil Pengujian SEM-EDX



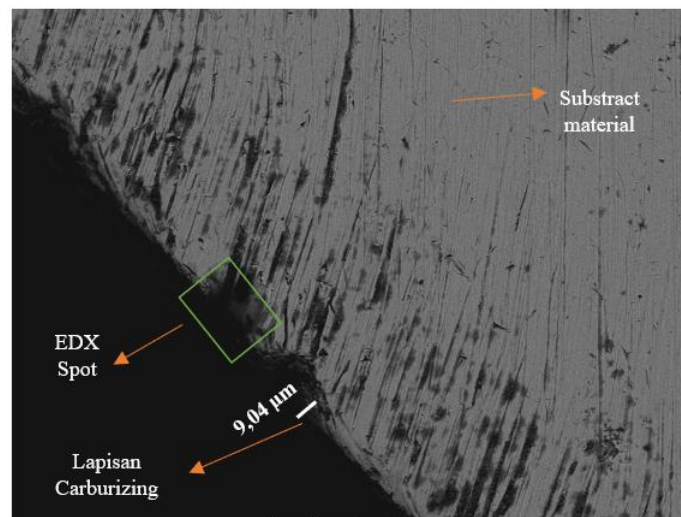
Gambar SEM Raw Material



EDX spot raw material

Tabel Komposisi Raw Material

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Carbon	13.482	0.455	33.700
Sodium	0.651	0.117	0.850
Silicon	1.296	0.075	1.385
Calcium	0.672	0.068	0.503
Iron	83,899	0.466	63,561



Baja aisi 2023/06/16 09:51 N D4.6 x500 200 um
1050 laju alir 1020

Gambar SEM Laju Alir 20 cm³/min

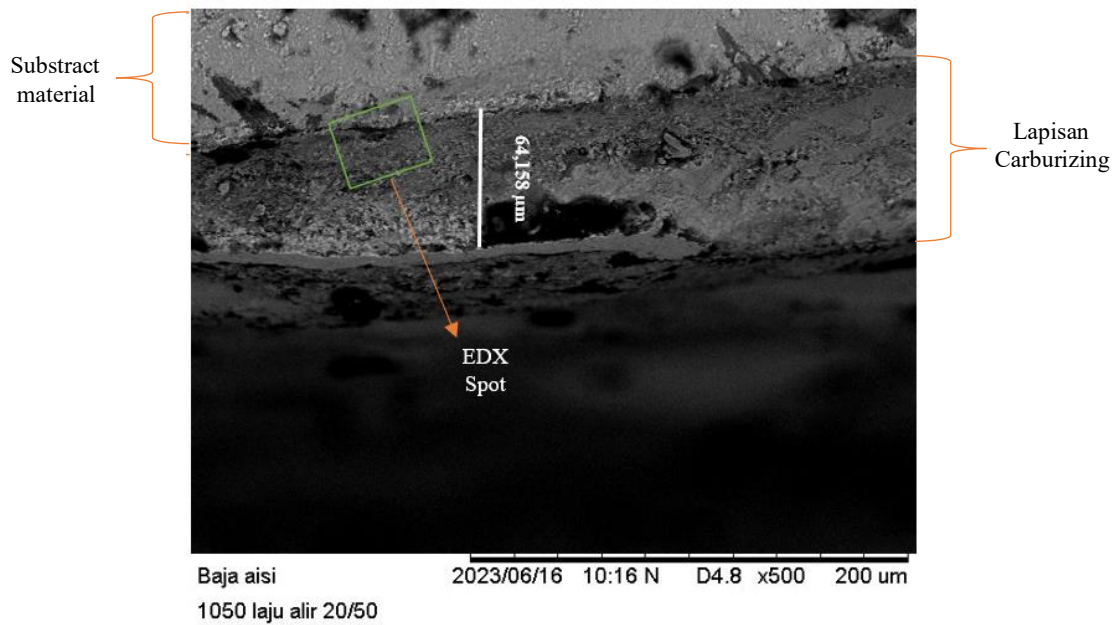


EDX spot laju alir 20 cm³/menit

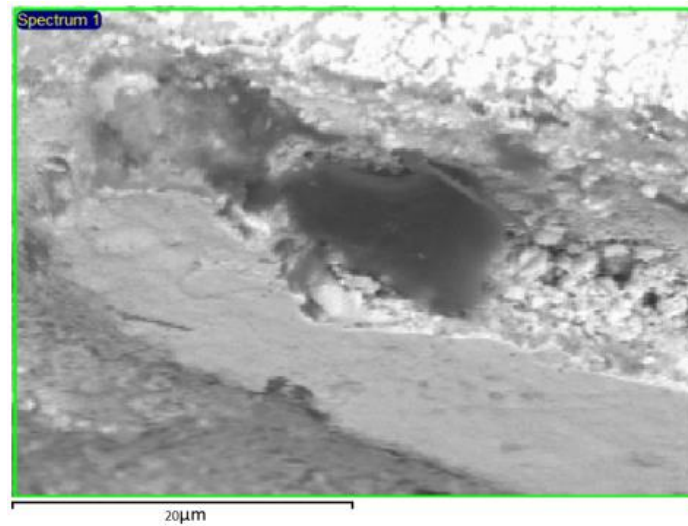
Tabel Komposisi Laju Alir 20 cm³/min

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Carbon	17,689	1,614	30,953
Oxygen	21,044	0,485	35,724
Sodium	0,511	0,088	0,604
Magnesium	0,284	0,061	0,318
Silicon	1,538	0,067	1,487
Sulfur	0,278	0,048	0,236
Chlorine	0,222	0,049	0,170
Potassium	0,314	0,050	0,218
Calcium	0,401	0,053	0,272
Manganese	0,517	0,111	0,256
Iron	65,202	1,180	29,764

Karakteristik Proses Carburizing Menggunakan Serbuk Fotokopi Pada Baja Aisi 1050 Dengan Temperatur 800°C Terhadap Variasi Aliran Gas LPG



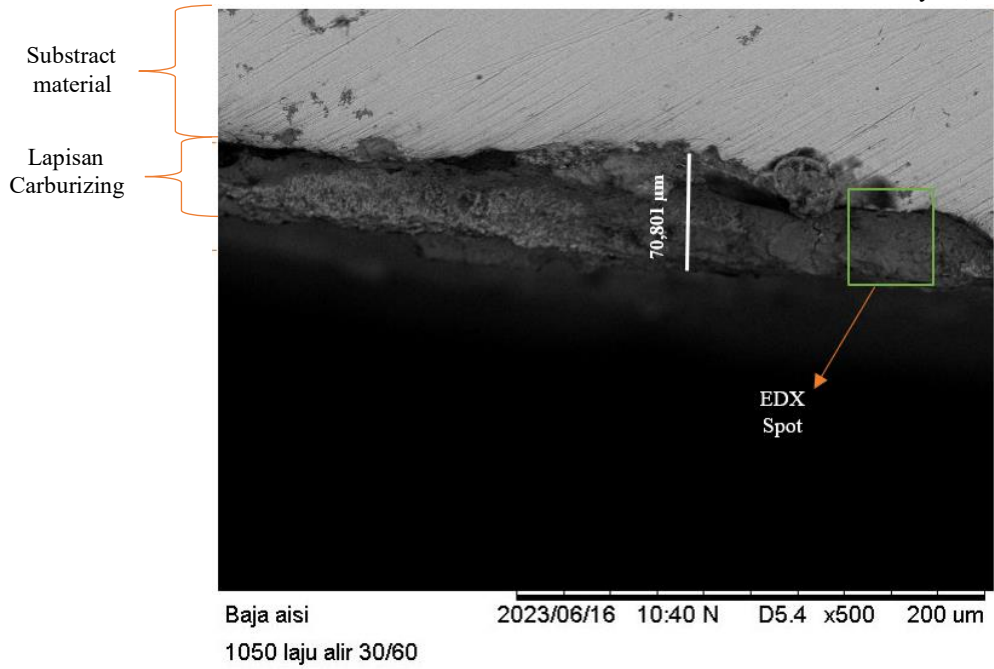
Gambar SEM Laju Alir 40 cm³/min



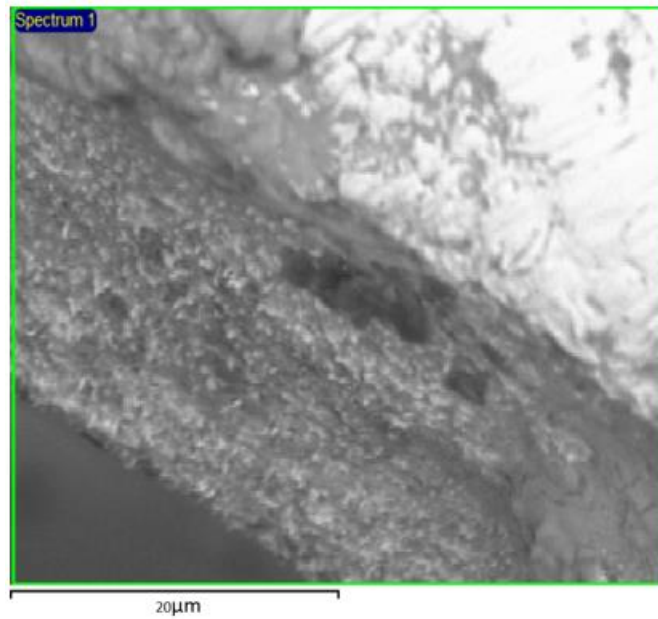
EDX spot laju alir 40 cm³/menit

Tabel Komposisi Laju Alir 40 cm³/min

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Carbon	20,139	0,298	47,428
Oxygen	8,953	0,187	15,829
Sodium	0,654	0,073	0,804
Silicon	0,700	0,042	0,705
Manganese	0,546	0,081	0,281
Iron	69,008	0,313	34,952



Gambar SEM Laju Alir 60 cm³/min

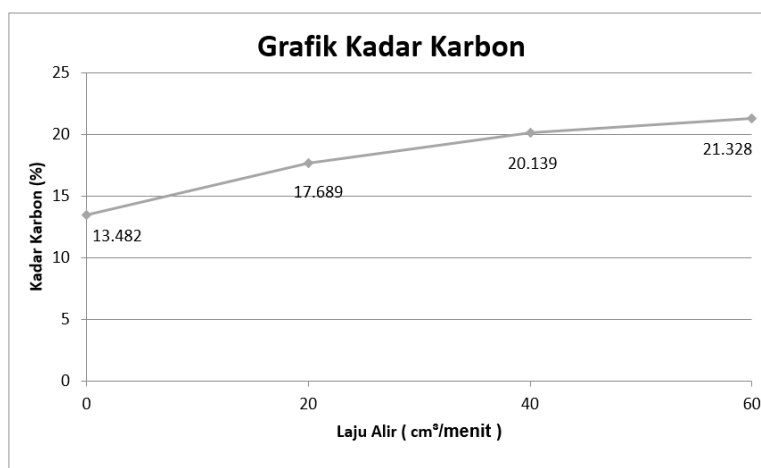


EDX spot laju alir 60 cm³/menit

Tabel Komposisi Laju Alir 60 cm³/min

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Carbon	21.328	1.237	44.424
Oxygen	28.021	0.531	36.897
Sodium	0.510	0.074	0.467
Magnesium	0.360	0.053	0.312
Aluminum	0.106	0.044	0.083
Silicon	0.802	0.048	0.601

Sulfur	0.278	0.044	0.183
Chlorine	0.244	0.041	0.145
Potassium	0.279	0.043	0.151
Calcium	0.754	0.050	0.396
Iron	47.318	0.756	16.341



Grafik Hubungan Kadar Karbon dan Laju Alir

Berdasarkan gambar Grafik hubungan kadar karbon dan laju alir terlihat bahwa nilai kadar karbon hasil EDX pada raw material adalah 13,482 % , kadar karbon pada spesimen laju alir 20 cm³/min adalah 17,689 % lebih tinggi dari kadar karbon raw material dengan selisih nilai 4,207 % , kadar karbon pada spesimen laju alir 40 cm³/min adalah 20,139 % lebih tinggi dari kadar karbon spesimen laju alir 20 cm³/min dengan selisih nilai 2,45 % , kadar karbon pada spesimen laju alir 60 cm³/min adalah 21,328 % lebih tinggi dari kadar karbon spesimen 40 cm³/min dengan nilai 20,139 % dengan selisih nilai 1.189 % , Dari seluruh data yang disajikan menyebutkan bahwa data dari laju alir 60 cm³/min yang memiliki nilai kekerasan yang tertinggi dan ketahanan aus yang tertinggi serta memiliki kadar karbon paling banyak yang ada pada lapisan hasil karburasi, dengan nilai rata-rata kekerasan 794,43 HV dan rata-rata nilai laju aus 0,0008 mm³/min serta memiliki kadar karbon sebesar 21,328 % pada lapisan hasil karburasi, peningkatan kadar karbon ini searah dengan meningkatnya laju alir yang dipakai pada Fluized Bed Furnance. Berdasarkan hal tersebut dengan proses carburizing menggunakan media arang batok kelapa dicampurkan dengan limbah serbuk fotokopi dan kemudian di berikan variasi Laju Alir gas LPG mampu meningkatkan nilai kekerasan dan ketahanan aus pada baja AISI 1050 dengan bertambahnya komposisi kadar karbon dan ketebalan lapisan Setelah melalui proses carburizing

KESIMPULAN

1. Pada pengujian kekerasan microvikers menunjukkan bahwa nilai kekerasan berbanding lurus dengan meningkatnya laju alir dari yang digunakan pada saat carburizing di Fluized Bed Furnance, dibuktikan dengan hasil kekerasan yang semakin meningkat dari nilai 235,33 HV pada raw material baja AISI 1050, dilanjutkan nilai 474,41 HV pada rata-rata kekerasan laju alir 20 cm³/min , dan nilai 742,37 HV pada rata-rata kekerasan laju alir 40 cm³/min , dan nilai 798,43 HV pada rata-rata kekerasan laju alir 60 cm³/min
2. Pada pengujian keausan menunjukkan bahwa laju aus menurun seiring bertambahnya laju alir yang digunakan pada Fluized Bed Furnance dengan nilai laju aus raw material baja AISI 1050 adalah 0,0033 mm³/min , rata-rata laju aus pada laju alir 20 cm³/min adalah 0,0016 mm³/min , rata-rata laju aus pada laju alir 40 cm³/min adalah 0,0013 mm³/min , rata-rata laju aus pada laju alir 60 cm³/min adalah 0,0007 mm³/min , sedang nilai rata-rata volume berat yang hilang pada laju alir 20 cm³/min adalah 12,29 mm³, nilai rata-rata volume berat yang hilang pada laju alir 40 cm³/min adalah 10,603 mm³, nilai rata-rata volume berat yang hilang pada laju alir 60 cm³/min adalah 5,937 mm³

3. Pada hasil SEM EDX menunjukkan bahwa ada peningkatan kadar karbon seiring dengan meningkatnya laju alir dengan kadar karbon raw material adalah 13,482 %, kadar karbon pada laju alir 20 cm³/min adalah 17,689 %, kadar karbon pada laju alir 40 cm³/min adalah 20,139 %, kadar karbon pada laju alir 60 cm³/min adalah 21,328 %

SARAN

Adapun saran dari peneliti ini untuk menyempurnakan penelitian yang akan datang sebagai berikut:

1. Pada proses carburizing perlu diperhatikan untuk penataan spesimen jika menempatkan lebih dari 1 spesimen dikarenakan hal itu sangat berpengaruh pada saat proses pemasukan karbon ke spesimen
2. Pada saat penggunaan Fluidized Bed Furnance perlu melakukan pengecekan suhu secara berkala karena Fluidized Bed Furnance sangat rawan untuk meledak dan ketika suhu menaik tidak konstan
3. Pada saat pemilihan media pengganti pada Fluidized Bed Furnance perlu diperhatikan untuk mengurangi bahan yang akan terbakar pada saat suhu tinggi seperti toner yang memiliki kandungan plastik karena akan menyebabkan resi dari bahan akanempel pada spesimen .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdulraoof Abdulrazzaq, M. (2016). Investigation The Mechanical Properties of Carburized Low Carbon Steel. Mohammed Abdulraoof Abdulrazzaq. Int. Journal of Engineering Research and Application Www.Ijera.Com, 6(2), 59–65. www.ijera.com
- [2] Amanto, H., & Daryanto. (2003). Ilmu Bahan. Bumi Aksara.
- [3] Azhari, S. K. (2016). Studi Ekperimen Dan Analisa Laju Keausan Pada Material Alternatif Dengan Pelumasan Pasta Pada Rotary Valve Mesin Pembuat Pasta. Its, 25–34.
- [4] Cahyadi, R., Oktadinata, H., & Sadiana, R. (2020). Analisis Laju Keausan Baja Suj2 Hasil Variasi Temperatur Tempering Untuk Aplikasi Ball Bearing. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, 7(2), 79–86. <https://doi.org/10.33558/jitm.v7i2.1914>
- [5] Fahreza, M. I., Fakhriza, & Hamdani. (2017). Analisa Pengaruh Waktu Penahanan Terhadap Nilai Kekerasan Baja AISI 1050 Dengan Metode Pack Carburizing. Jurnal Mesin Sains Terapan , Vol. 1(1), 52–56.
- [6] Harton, S. G. & S. B. (2015). Analisis pengaruh media. 15(2), 52–59.
- [7] Helmita, Rifai, H., & Dwiridal, L. (2022). Characterization and Identification of Magnetic Mineral Content in Industrial Dry Ink (Toner). Journal of Physics: Conference Series, 2309(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2309/1/012014>
- [8] Kirono, S., & Amri, A. (2013). Pengaruh Tempering Pada Baja St 37 Yang Mengalami Karburasi Dengan Bahan Padat Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro. Jurusan Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta, C, 1–10.
- [9] Kuswanto, B. (2010). Perlakuan Pack Carburizing Pada Baja Karbon Rendah Sebagai Material Altrenatif Untuk Pisau Potong Pada Penerapan Teknologi Tepat Guna. Prosiding SNST Fakultas Teknik, 1(1), 20–24. https://www.publikasiilmiah.unwahas.ac.id/index.php/PROSIDING_SNST_FT/article/view/198
- [10] Lesmanah, U., Marsyahyo, E., & Vitasari, P. (2013). Optimasi Sifat Mekanis Kekuatan Tarik Baja St 50 Dengan Perlakuan Gas Carburizing Variasi Holding Time Untuk Peningkatan Mutu Baja. Jurnal Mekanikal, 4(2), 366–375.
- [11] Manurung, V., Wibowo, Y., & Baskoro, S. (2020). Panduan Metalografi. LP2m Politeknik Manufaktur Astra.
- [12] Mersilia, A., Karo, P. K., & Iman Supriyatna, Y. (2016). Pengaruh Heat Treatment Dengan Variasi Media Quenching Air Garam dan Oli Terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja Pegas Daun AISI 6135. JURNAL Teori Dan Aplikasi Fisika, 4(02), 175–180.
- [13] Nascimento, F. R. M., González, A. M., Silva Lora, E. E., Ratner, A., Escobar Palacio, J. C., & Reinaldo, R. (2021). Bench-Scale Bubbling Fluidized Bed Systems Around The World - Bed Agglomeration And Collapse: A Comprehensive Review. International Journal of Hydrogen Energy, 46(36), 18740–18766. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.03.036>
- [14] Nasution, M. N. (2020). Analisis Ekerasan Dan Struktur Mikro Baja Aisi 1020 Terhadap Perlakuan Carburizing Dengan Arang Batok Kelapa. Buletin Utama Teknik, 15(2), 165–173.
- [15] Nur, H. (2017). Pengaruh Penggunaan Media Pendingin Air Garam, Air Tawar, dan Air Asam pada Perlakuan Panas terhadap Kekerasan Baja ST 60. Teknik Mesin" TEKNOLOGI", 1–11. <https://ojs.unm.ac.id/teknologi/article/view/7480%0Ahttps://ojs.unm.ac.id/teknologi/article/viewFile/7480/4351>
- [16] Permana, T. S. G., & Rumendi, U. (2018). Analisa Uji Keausan Material St 37 Hasil Carburizing Dan Hardening Dengan Menggunakan Mesin Uji Keausan Horizontal. Steman, April, 1–5.
- [17] Rahardjo, T. (2008). Proses Nitriding Untuk Peningkatan Sifat Mekanik Permukaan Material Dies. Jurnal Flywheel, 1(2), 50–60.
- [18] Scheuer, C. J., Cardoso, R. P., Mafra, M., & Brunatto, S. F. (2021). Effects of the voltage and pressure on the carburizing of martensitic stainless steel in pulsed DC glow discharge. Materials Research, 24(6), 22–24. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2021-0154>

- [19] Sembiring, M. T., & Sinaga, T. S. (2003). Arang Aktif (Pengenalan Dan Proses Pembuatannya). USU Digital Library, 1–9.
- [20] Sujana, & Widi. (2016). Serbuk Alumina Sebagai Katalis Didalam Reaktor Fluidised Bed. Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents, 7, 58–66.
- [21] Sukarno, N. A., & Azis, A. (2023). Pengaruh Lapisan Ni-Cr Pada Baja Aisi 4140 Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Dengan Plasma Sputtering. 3(1), 20–24.
- [22] Totten, G. E., Bates, C. E., & Clinton, N. A. (1993). Handbook of quenchants and quenching technology. ASM international.
- [23] Wicaksono, N. P., & Purboputro, I. P. I. (2021). Analisa Proses Carburizing Dengan Variasi Waktu Tahan 15, 30, 45, 60 Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Karbon St 60. http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/91017%0Ahttp://eprints.ums.ac.id/91017/1/NASKAH_PUBLIKASI_ILMIAH.pdf
- [24] Widi, K. A., Wardana, I., Suprpto, W., & Irawan, Y. S. (2016). The role of diffusion media in nitriding process on surface layers characteristics of AISI 4140 with and without hard chrome coatings. Tribology in Industry, 38(3), 308–317.
- [25] Yuliusman. (2015). Pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dengan bahan pengaktif koh dan gas N₂ / CO₂. Seminar Teknologi Dan Rekayasa (SENTRA), June, 978–979.