

KARAKTERISASI KARBURASI BAJA AISI 4140 MENGGUNAKAN PADUAN LIMBAH SERBUK *FOTOCOPY* DAN ARANG BATOK KELAPA PADA TEMPERATUR 800⁰C TERHADAP LAJU ALIRAN GAS LPG

Hadiulloh Ansori¹, I.Komang A.W², Tito Arif S³

Teknik Mesin S-1 Fakultas Teknologi Industri, Insitut Teknologi Nasional Malang, Malang

hadiulloh@gmail.com

Abstrak

Carburizing merupakan proses perlakuan panas pada permukaan baja dengan memampatkan karbon sebagai unsur pengerasan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan, keausan dan unsur karbon yang terbentuk pada baja paduan rendah AISI 4140 setelah melakukan *carburizing* dengan menggunakan dapur *fluidized bed furnace* dengan laju aliran. Pada penelitian ini material yang akan di uji baja paduan rendah AISI 4140, media yang akan di gunakan dalam proses carburizing limbah serbuk fotocopy dan arang batok kelapa sebagai bahan pengkarbonan pada temperatur 800⁰ Selama 60 menit, dengan laju aliran 20 cm³ / min, 40 cm³ / min, 60 cm³ / min, dengan media pendingin air. material yang akan di uji baja paduan rendah AISI 4140. Hasil pengujian menunjukkan nilai kekerasan permukaan untuk raw baja AISI 4140 sebesar 284,7 VH . Maka nilai kekerasan yang meningkat setelah melakukan *carburizing* pada tempratur 800⁰ terutama pada laju aliran 60 cm³/min, dengan rata-rata 745,04, Nilai keausan untuk raw baja AISI 4140 Sebesar 0,4 gram, Nilai ketahanan aus semakin menurun setelah proses perlakuan carburizing pada tempratur 800⁰ dan berat rata-rata yang hilang 0,03 gram, dengan laju alir 60 cm³/min, pada hasil pengujian SEM EDX mengalami peningkatan sangat tinggi, yang semula tanpa perlakuan untuk raw sebesar 14,864%, setelah perlakuan carburizing dengan teperatur 800⁰ dan laju alir 60 cm³/min dengan nilai karbon (C) 22,760% , ini menunjukan pada karbon (C) mengalami peningkatan sangat tinggi.

Kata Kunci : Laju Keausan, Baja AISI 4140, SEM EDX. Kekerasan

PENDAHULUAN

Baja mempunyai karakterisasi dari yang paling lunak sampai yang paling keras, dari bahan baja berbagai bentuk struktur logam dapat dibuat, hal ini yang menyebabkan baja disebut material yang kaya dengan sifat-sifat, dimana unsur paduan utamanya adalah karbon. Karbon merupakan unsur utama untuk menguatkan baja, sehingga baja harus mengandung karbon sampai kadar tertentu. Berdasarkan kandungan karbonnya, baja dapat di bedakan menjadi 3 jenis, yaitu: (1) Baja karbo rendah (C<0,3%), (2) Baja karbon sedang (C 0,3%), (3) Baja karbon tinggi(0,7-1,7%) (Smallman dan Bishop, 1999).

Baja AISI 4140 merupakan baja paduan rendah yang memiliki kandungan paduan yakni *chromium* dan *molybdenum*, menurut AISI (*American Iron and Steel Institute*) pemberian angka 4140 itu memiliki makna yaitu dua digit angka pertamanya menyebutkan paduan yang terkandung didalamnya sedangkan dua angka terakhir menunjukkan kadar karbon yang terkandung pada baja tersebut. Baja ini biasa diaplikasikan pada poros, baut, kopling, as roda, piston dll. Aplikasi tersebut memerlukan kekuatan yang lumayan besar, ketahanan aus yang baik serta tahan terhadap korosi. Sehingga perlu dilakukan perlakuan panas khusus sehingga bisa menciptakan baja dengan permukaan yang keras

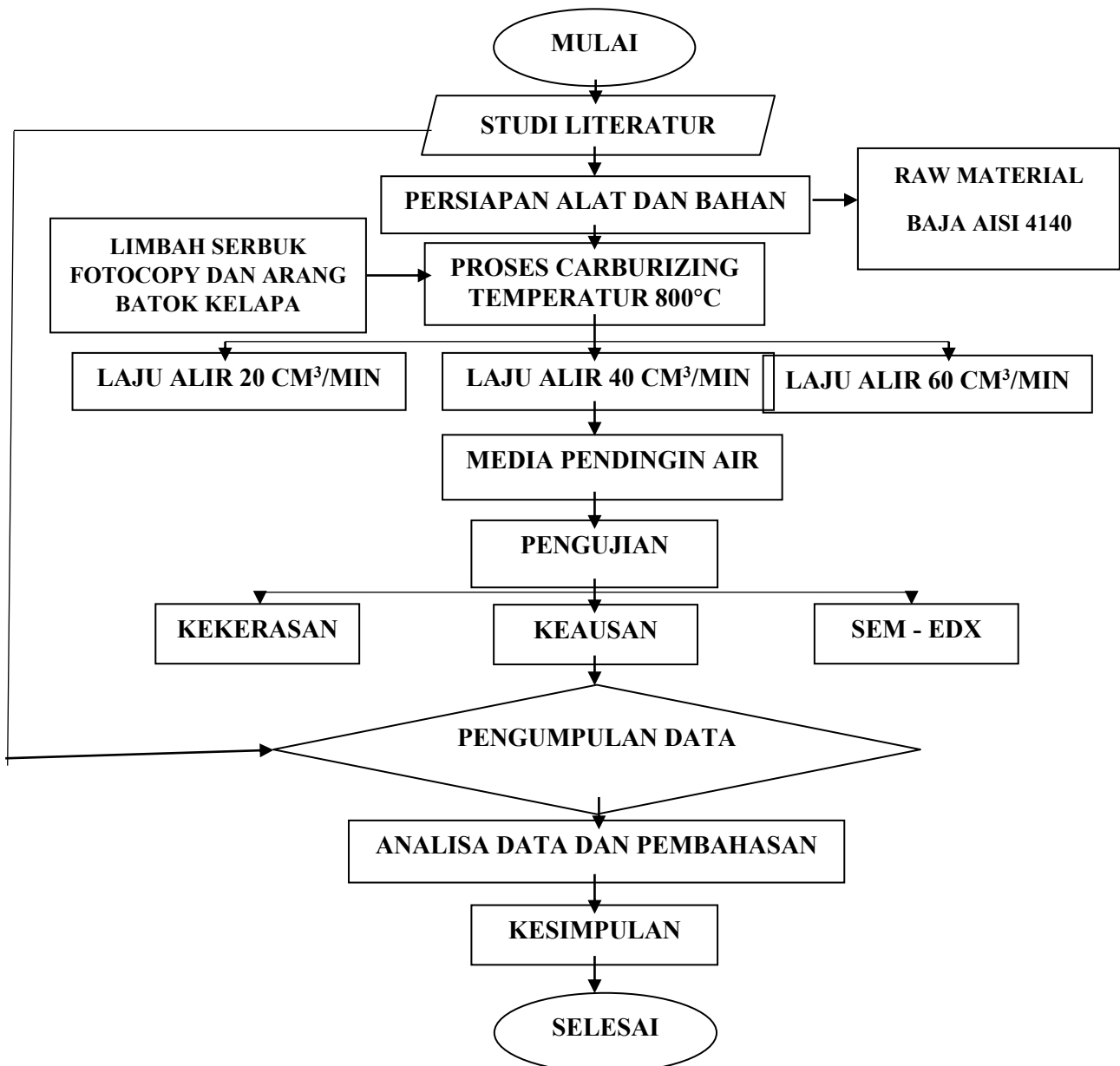
serta inti yang sedikit lebih lunak agar bisa mengurangi kegetasan dalam baja tersebut (Manta dkk, 2012).

Proses pengerasan permukaan merupakan salah satu pengerjaan tahap penyelesaian (finishing) untuk meningkatkan kualitas produk. Salah satu proses perlakuan panas untuk

mengeraskan permukaan logam adalah dengan Carburizing. Carburizing adalah proses perlakuan panas dengan penambahan kandungan karbon pada permukaan logam. Untuk mendapatkan struktur mikro dan sifat yang diinginkan pada logam tersebut dapat diperoleh melalui proses pemanasan dan pendinginan pada temperatur tertentu. (Daniel saputro 2019)

METODE PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian. Pengujian bertujuan untuk mengetahui serta mengamati sifat fisik dan sifat mekanik dari material baja paduan AISI 4140 hasil proses *carburizing* dengan variasi laju alir 20, 40, dan 60. Berikut hasil data pengujian pada penelitian ini.

Data Hasil Pengujian Kekerasan

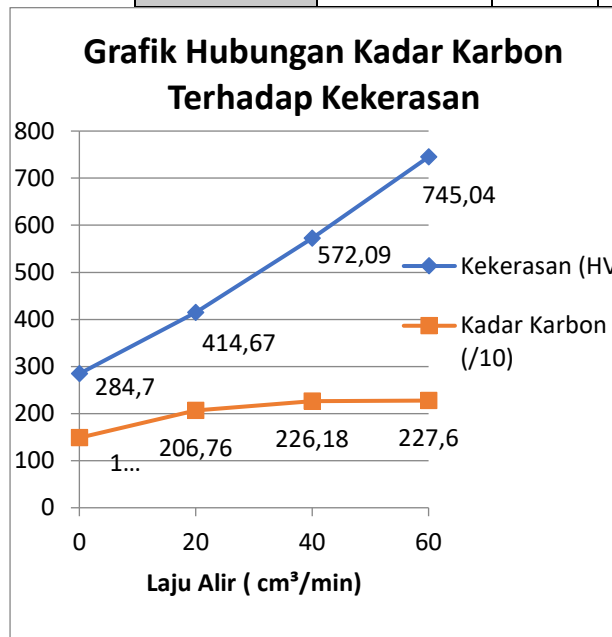
Dari proses kombinasi antara *carburizing* dan laju alir yang dilakukan menggunakan *fluidized*

bed urnace dapat di evaluasi dengan melakukan pengujian kekerasan dengan tujuan untuk mengetahui kedalaman difusi permukaan dengan menggunakan metode pengujian *micro-vickers*. Data diambil sebanyak 3 titik dengan jarak 15µm, 45µm, dan 75µm untuk mengetahui sejauh mana difusi karbon dan juga nitrogen pada permukaan baja AISI 4140.

Data hasil pengujian kekerasan permukaan dapat dilihat pada table dibawah ini :

Variasi Laju alir	Titik Pengujian	Titik A	Titik B	Titik C	Nilai Rata-rata Kekerasan (HV)	Nilai Rata – rata Kekerasan Laju alir (HV)
AISI 4140 Tanpa Perlakuan (Base Material)	1	306,7	267,9	279,6	284,7	284,7
	2	306,7	267,9	279,6	284,7	
	3	306,7	267,9	279,6	284,7	
Laju Alir 20	1	461.5	389	437.3	429,26	414.67
	2	412.4	371	414.9	399,43	
	3	404.9	385.8	455.3	415,33	
Laju Alir 40	1	649.7	623.7	671.7	648,36	572.09
	2	354.8	330	406.8	363,86	

	3	729.4	816.5	566.3	704,06	
Laju Alir 60	1	530.9	480.7	458	489,86	745,04
	2	810.1	796.8	834.1	813,66	
	3	849.5	781.4	798.9	931,6	



Pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *micro-vickers* ini menghasilkan nilai kekerasan berbeda setiap variasi laju alir. Pengujian kekerasan pada raw material dan variasi laju aliran 20 cm³/min, 40 cm³/min, 60 cm³/min, dilakukan dengan 3 titik dengan jarak 15µm, 45 µm, 75µm, serta pembebanan 100 kgf dan penekan 8 detik. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan, raw material memiliki nilai kekerasan rata-rata sebesar 284,7 HV, menurut teori dan juga penelitian **Reinaldo Evan, 2022** yang dilakukan sebelumnya mengatakan bahwa nilai kekerasan baja paduan rendah AISI 4140 ialah ± 305,06 HV. Hal ini dikarenakan pada baja AISI 4140 tanpa perlakuan memiliki nilai kekerasan antara ± 305.06 HV.

Kemudian untuk nilai kekerasan proses *carburizing* dan variasi laju alir, yaitu untuk nilai kekerasan permukaan pada laju alir 20 cm³/min sebesar 414,67 HV, lalu pada nilai kekerasan permukaan pada laju aliran 40 cm³/min sebesar 572,09 HV. Dan untuk nilai kekerasan pada laju aliran 60 cm³/min sebesar 745,04 HV. Pada gambar 4.1 menunjukkan grafik antara kedalaman pengerasan dengan kekerasan setelah proses *carburizing* dan laju alir mengalami kenaikan dan menurun dari raw material maupun sesudah perlakuan *carburizing* dan laju aliran. Peningkatan nilai kekerasan terjadi pada bagian tepi atau permukaan baja. Dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh **Rahayu dkk, 2017** menjelaskan bagian sisi permukaan memiliki nilai kekerasan paling tinggi dan menurun seiring dengan meningkatnya kedalaman pada permukaan spesimen uji berupa baja AISI. Hal ini terjadi karena konsentrasi dari atom-atom karbon dan juga nitrogen yang terdifusi pada permukaan baja akan jauh lebih besar dibandingkan dengan daerah pusat sumbu permukaan atau inti baja.

Dari data penelitian uji kekerasan *micro vickers* ini berbanding lurus karena didapatkan bahwa kekerasan terbentuk paling tinggi pada tepi permukaan dan menurun seiring dengan kedalaman permukaan pada spesimen sehingga penelitian ini proses *carburizing* dan laju alir akan berpengaruh pada nilai kekerasan material baja paduan AISI 4140 dan kedalaman permukaan yang dikeraskan (*hardening*). Semakin banyak campuran nitrogen

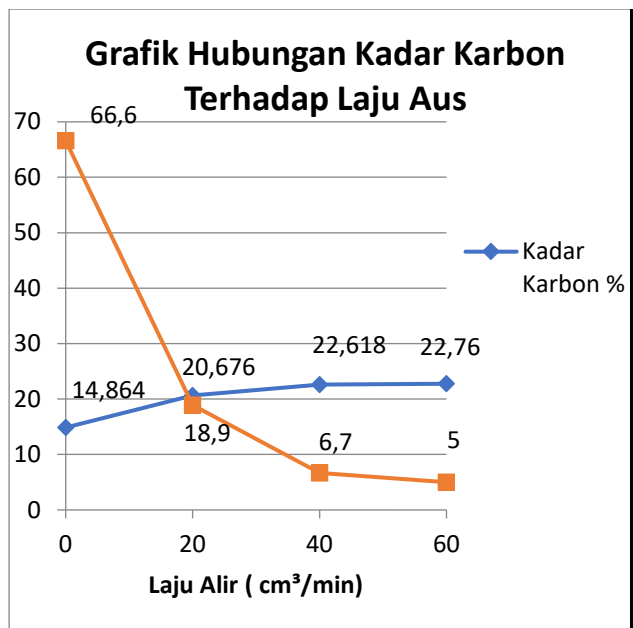
dan propanpada laju aliran akan menyebabkan nilai kekerasan menjadi semakin tinggi dan permukaan baja yang dilakukan pengerasan semakin dalam.

laju alir 20 , aliran 40, aliran 60 dengan beban 8 Kg dengan putaran rasio sebesar 250 RPM dan durasi 1 jam dapat dilihat pada table di bawah ini :

Data Hasil Pengujian Keausan

Uji Keausan *Pin On Disk* pada hasil *carburizing* baja paduan AISI 4140 dengan variasi

Variasi Laju alir	Spesimen	Berat Awal (Gram)	Berat Akhir (Gram)	Berat yang Hilang (Gram)	Rata – Rata Berat yang Hilang (Gram)	Volome Keausan (mm ³)	Rata-rata Volume keausan (mm ³)
Raw Material	1	197.74	197.34	0.4	0,4	50,955	55,626
	2	197,74	197,34	0.4		50,955	
	3	197.74	197.34	0.4		50,955	
Laju Alir 20	1	215,76	215,72	0,04	0,11	5,095	14,437
	2	198,11	197,98	0,13		16,560	
	3	201,39	201,22	0,17		21,656	
Laju Alir 40	1	210	209,98	0,02	0,04	2,547	5,095
	2	201,16	201,15	0,01		1,273	
	3	203,02	202,93	0,09		11,464	
Laju Alir 60	1	205,84	205,81	0,03	0,03	3,821	3,821
	2	198,76	198,73	0,03		3,821	
	3	207,87	207,84	0,03		3,821	



Pengujian keausan spesimen baja AISI 4140 tipe *Pin On Disk* dengan variasi laju alir 20 cm³/min, 40 cm³/min, 60 cm³/min didapatkan nilai berat awal yang hasil data pengujian keausan baja paduan AISI 4140 memiliki berat rata-rata yang hilang, raw material sebesar 0,4 gram dan sedangkan proses *carburizing* dan variasi laju aliran 20 cm³/min memiliki berat rata-rata yang hilang sebesar 0,11 untuk laju aliran 40 cm³/min memiliki berat rata-rata yang hilang sebesar 0,04 gram, lalu pada laju aliran 60 memiliki berat rata-rata yang hilang sebesar 0,03 Hal ini dikarenakan semakin banyak kandungan nitrogen dan propan pada aliran yang digunakan maka penurunan berat akibat uji keausan semakin kecil.

Pada gambar grafik 2 menunjukkan nilai ketahanan aus bahwa keausan tertinggi pada raw material yaitu 0,4 Hasil uji keausan setelah perlakuan *carburizing* dan variasi laju aliran menunjukkan bahwa terjadi penurunan laju keausan dibandingkan dengan raw material. Spesimen yang perlakuan *carburizing* dan laju aliran 60 cm³/min memiliki keausan terkecil yaitu 0,03. Laju aliran 40 cm³/min terjadi peningkatan keausan sebesar 0,04 gram, sedangkan pada laju aliran 20 cm³/min ini

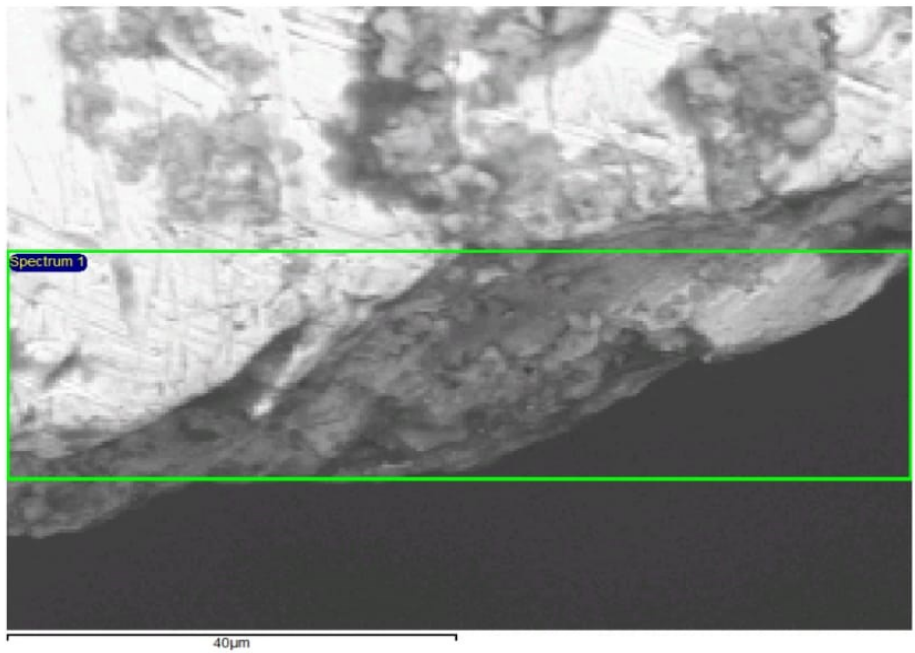
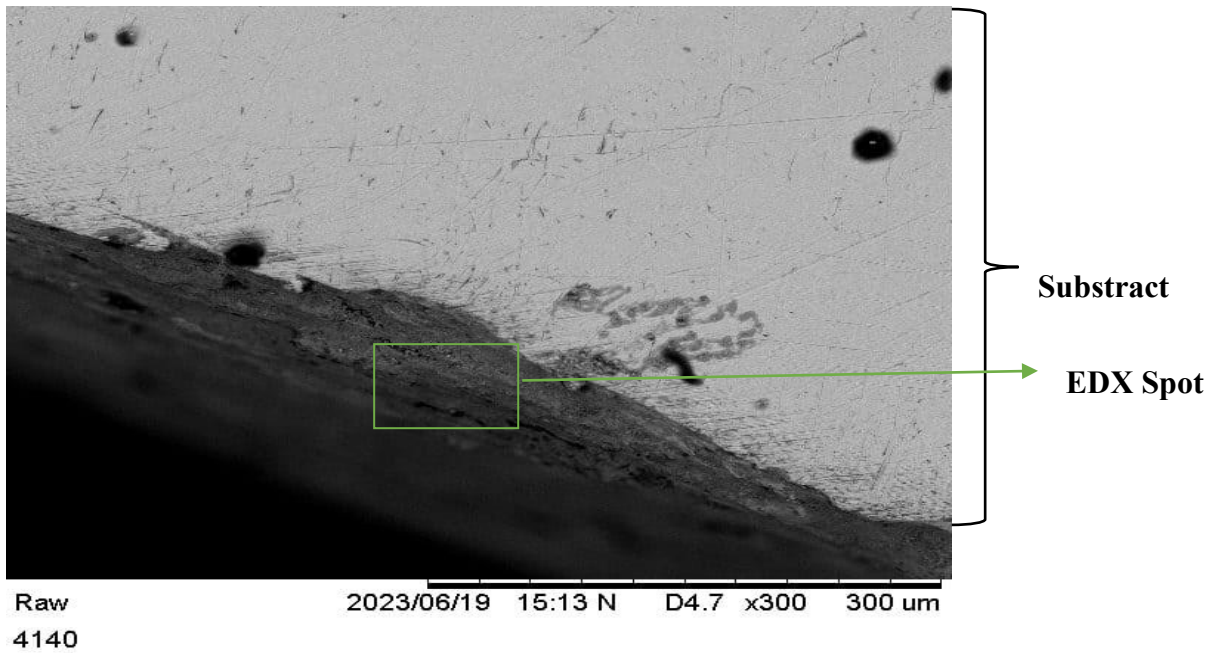
peningkatan lumayan tinggi sebesar 0,11 gram, Hal ini menunjukkan perlakuan proses *carburizing* dan variasi laju aliran 60 cm³/min dengan menggunakan baja paduan AISI 4140 memiliki ketahanan aus paling baik. Hal ini dikarenakan bila dihubungkan dengan hasil uji kekerasan dan keausan yang berarti benda uji dengan kekerasan tertinggi akan menghasilkan keausan spesifik rendah.

Penelitian ini berbanding lurus dengan penelitian sebelumnya oleh **Dimas Sanjaya, 2012** Tentang proses *high concentration carburizing* terhadap karakteristik baja SCM 440 pada komponen rantai tipe chain dimana hasilnya menunjukkan bahwa semakin lama karburasi, kekerasan permukaan yang dihasilkan meningkat dan laju ausnya semakin rendah.

Data Hasil Pengujian SEM-EDX

Pada proses *carburizing* dan laju alir pada *fluidized bed furnace* maka dapat mengevaluasi hasilnya dengan pengujian SEM-EDX yang bertujuan untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung pada baja AISI 4140 yang telah melalui proses *surface hardening* berupa kombinasi *carburizing* dan laju alir.

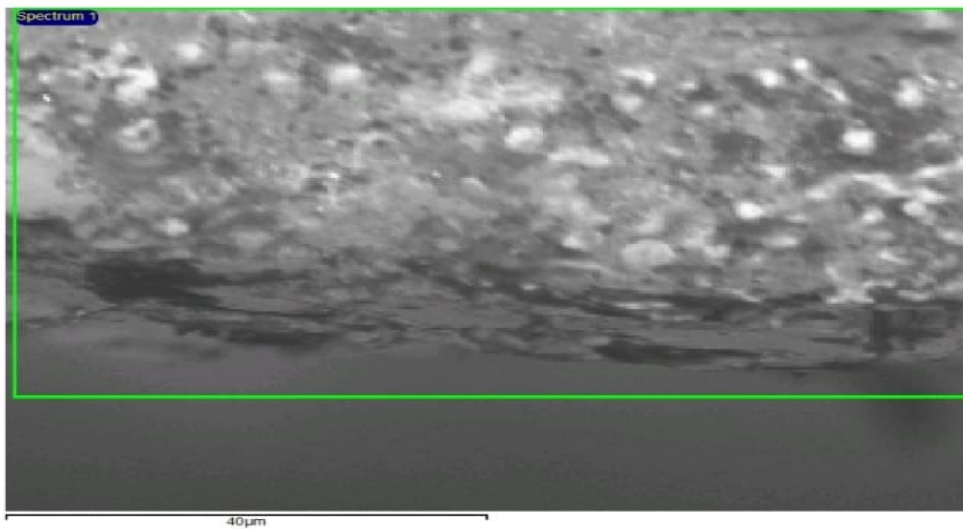
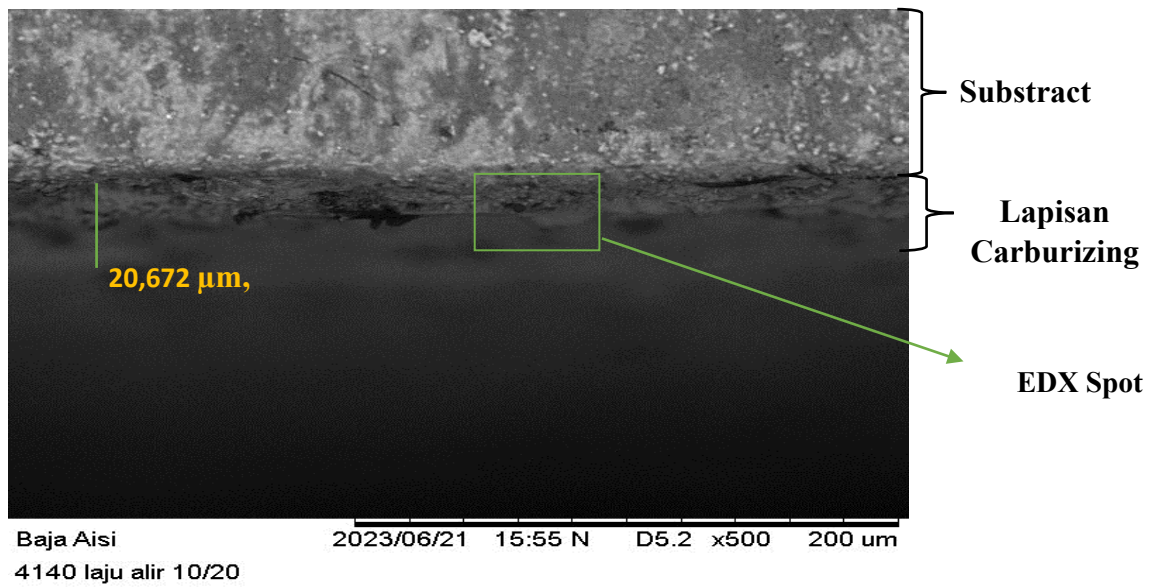
a. Data Hasil Pengamatan SEM-EDX Tanpa Perlakuan (Raw Material)



Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Carbon	14.864	0.475	39.731
Oxygen	5.536	0.318	11.110
Sodium	0.448	0.103	0.626
Magnesium	0.515	0.082	0.680
Aluminum	3.717	0.106	4.423
Silicon	0.579	0.065	0.661

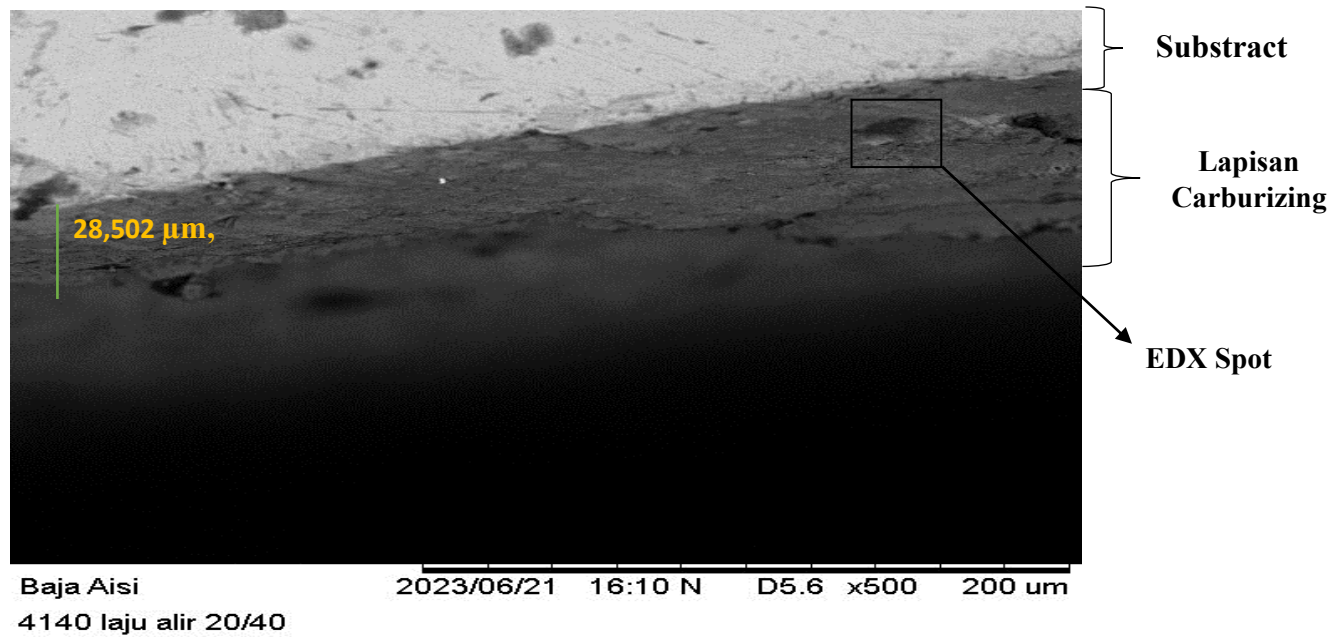
Chromium	0.712	0.099	0.439
Iron	73.630	0.516	42.329

b. Data Hasil Pengamatan SEM-EDX Proses Perlakuan *Carburizing* dan Laju alir 20 cm³/min



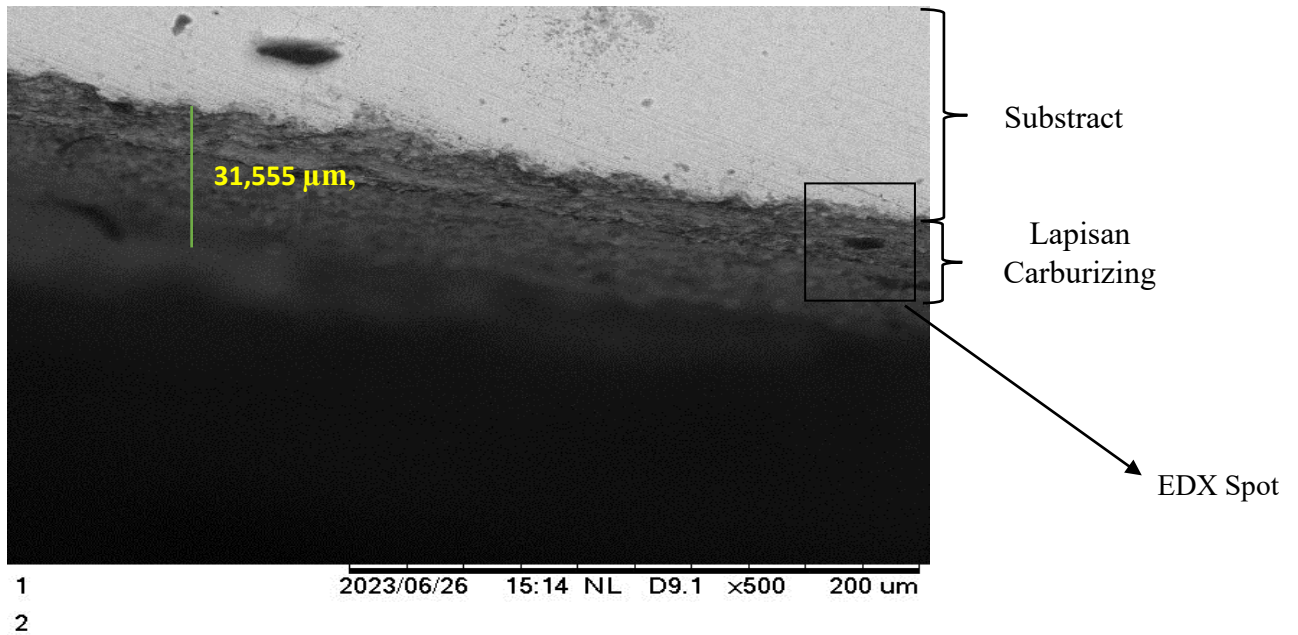
Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Carbon	20.676	0.344	38.737
Oxygen	27.527	0.322	38.717
Sodium	0.545	0.074	0.533
Silicon	3.109	0.063	2.491
Calcium	0.643	0.046	0.361
Chromium	0.625	0.068	0.271
Manganese	0.533	0.091	0.218
Iron	46.342	0.322	18.673

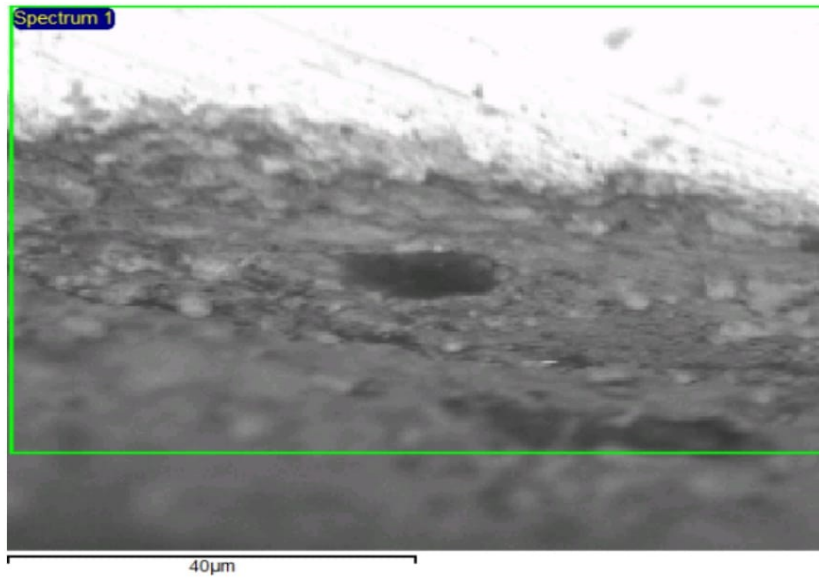
a. Data Hasil Pengamatan SEM-EDX Proses Perlakuan *Carburizing* dan Laju aliran $40 \text{ cm}^3 / \text{min}$



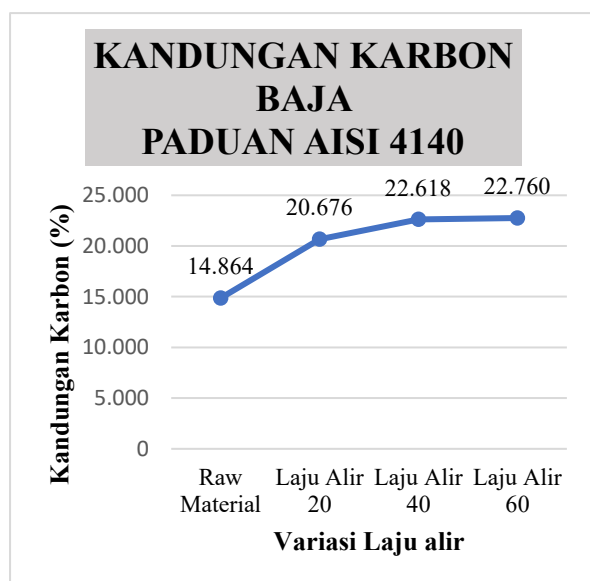
Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Carbon	22.618	0.323	45.069
Oxygen	19.700	0.308	29.469
Sodium	0.392	0.074	0.408
Silicon	0.958	0.046	0.816
Calcium	0.445	0.042	0.265
Chromium	0.508	0.062	0.234
Manganese	0.607	0.087	0.265
Iron	54.772	0.335	23.473

Data Hasil Pengamatan SEM-EDX Proses Pelakuan *Carburizing* dan Laju aliran 60 cm³/min





Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Carbon	22.760	1.470	40.972
Oxygen	27.843	0.633	37.628
Sodium	0.623	0.081	0.586
Magnesium	0.453	0.058	0.403
Aluminum	0.423	0.050	0.339
Silicon	2.906	0.085	2.237
Chlorine	0.299	0.045	0.182
Potassium	0.202	0.044	0.112
Calcium	1.926	0.071	1.039
Chromium	0.639	0.075	0.266
Manganese	0.555	0.099	0.219
Iron	41.370	0.833	16.017



Pada proses *carburizing* tempertatur 800°C dan laju alir menggunakan limbah serbuk fotocopy dan arang batok kelapa dengan media air pada *fluidized bed furnace* maka dapat mengevaluasi hasilnya dengan pengujian SEM-EDX yang bertujuan untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung pada baja AISI 4140 yang telah melalui proses *surface hardening* berupa *carburizing* dan laju alir. Pengujian SEM ini menyajikan gambar struktur mikro dan lokasi bagian sampel yang mengalami penembakan untuk pengujian EDX, untuk pengujian EDX ini mendapatkan data puncak (*peak*) unsur-unsur yang terkandung pada specimen tanpa perlakuan (Raw Material) dan sesudah proses perlakuan *carburizing* dan laju alir. Semakin tinggi puncak yang terbentuk maka semakin banyak kandungan unsur dari material tersebut.

Dari hasil pengamatan SEM-EDX unsur-unsur kandungan ialah karbon pada hasil proses *carburizing* dengan temperature 800°C

dan variasi laju alir 20 cm³/min sebesar 20,676% dan yang semula tanpa perlakuan (raw material) sebesar 14,864%, Ini menunjukkan kadar karbon (C) mengalami peningkatan sangat tinggi

setelah perlakuan *carburizing* dan laju alir sebesar 5,812%. Lalu pada proses perlakuan *carburizing* dan variasi laju aliran 40 cm³/min mendapatkan hasil dengan nilai kandungan karbon sebesar 22,616%, ini menunjukkan kadar karbon (C) terus mengalami peningkatan sebesar 1,94%, Pada proses perlakuan *carburizing* dan variasi laju alir 60 cm³/min mendapatkan hasil kandungan karbon (C) 22,760, dari hasil ini menunjukkan kandungan karbon (C) mengalami peningkatan walau tidak jauh dari sebelumnya sebesar 0,144% . Hal ini menunjukkan proses *carburizing* dan variasi laju alir dengan menggunakan bahan baja paduan AISI 4140 akan mengalami penambahan unsur yang dapat mengakibatkan terbentuknya sifat material yang lebih baik, dan laju keausan akan makin rendah. Baja karbon akan mengalami peningkatan kadar karbon apabila dilakukan proses *carburizing*.

Berbanding lurus dengan hasil uji kekerasan *micro vickers*, uji keausan, uji SEM-EDX, lapisan yang paling keras pada hasil proses perlakuan *carburizing* dan laju alir 60 dengan kekerasan rata-rata 745,04 HV. Hasil uji keausan hasil proses perlakuan *carburizing* dan laju alir 60 cm³/min mendapatkan nilai rata-rata berat yang hilang sebesar 0,03. Dan pada hasil SEM-EDX persentase karbon paling tinggi terdapat pada hasil perlakuan *carburizing* dan laju alir 60 sebesar 22,760%.

Dari hasil pengujian kekerasan dan persentase karbon dengan nilai tertinggi adalah pada hasil proses perlakuan *carburizing* dan laju alir 60 ccm³/min. hasil keausan terendah pada proses perlakuan *carburizing* dan laju alir 60 cm³/min. Maka semakin tinggi nilai kekerasan dan persentase karbon yang akan dihasilkan. Kehadiran oksigen menandakan terjadinya keausan, dimana oksigen diperoleh dari udara yang berdifusi ke

dalam air yang akan meningkatkan laju keausan

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil serangkaian penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Kekerasan permukaan baja paduan AISI 4140 tanpa perlakuan (Raw Material) adalah 284,7 HV. Setelah proses perlakuan *carburizing* dan laju alir terjadi peningkatan kekerasan permukaan baja paduan AISI 4140, peningkatan kekerasan tertinggi pada laju alir 60 cm³/min sebesar 745,04 HV.
2. Peningkatan kekerasan pada proses perlakuan *carburizing* 800°C dan laju alir dapat mengurangi laju keausan dan volume keausan dari hasil pengujian yang dilakukan yaitu laju keausan pada laju alir 20 cm³/min mengalami berat yang hilang sebesar 0,11 gram yang awalnya tanpa perlakuan berat yang tinggi sebesar 0,4 gram, lalu pada laju alir 40 cm³/min mengalami berat yang hilang sebesar 0,04 gram, untuk laju alir 60 cm³/min berat yang hilang sebesar 0,03.
3. Kandungan karbon (C) pada baja paduan AISI 4140 setelah proses perlakuan *carburizing* temperature 800°C dan laju alir 20 cm³/min terjadi peningkatan kadar karbon sebesar 20,676% yang semula tanpa perlakuan (raw material) sebesar 14,864%, lalu pada laju alir 40 mm/s kandungan karbon (C) sebesar 22,618%, dan untuk laju alir 60 cm³/min kandungan karbon (C) sebesar 22,760%.

Saran

1. Pada proses pencampuran media karburasi perlu diperhatikan nilai perbandingan limbah serbuk fotocopy dan arang batok kelapa, dikarenakan limbah serbuk fotocopy masih mengandung polimer

pada baja (Sumarji, 2011)

2. Pada penelitian selanjutnya untuk penggunaan *fluidized bed furnace* perlu adanya kalibrasi ulang untuk mendapatkan hasil yang optimal dari penelitian *heat treatmen*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adelina Irawati, 2017. *Analisa Pengaruh Variasi Waktu Penahanan Pada Perlakuan Panas Pengerasan Terhadap Stuktur Micro, Nilai Kekerasan Dan Kekuatan Impak Pada Baja AISI 1050*. Surabaya: Institute Technology of Sepuluh Nopember.
- [2] Afif, Faris Naufal (2021) Universitas Muhammadiyah Malang. *Analisa Pengaruh Quenching Media Oli Dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (HoldingTime) Pada Baja AISI 1045 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Mikrostruktur*.
- [3] Bahri, S. (2018) Universitas Tjut Nyak Dhien. *Analisa Perlakuan Panas Terhadap Baja Karbon NS 1045*.
- [4] Fahreza, M. I., Fakhriza, F., & Hamdani, H. (2017). *Analisa pengaruh waktu penahanan terhadap nilai kekerasan baja AISI 1050 dengan metode pack carburizing*. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 1(1), 52-56.
- [5] Fakhruddin, F. (2021) Institut Teknologi Nasional Malang. *Analisa Pengaruh Penahanan Awal Pada Variasi Temperatur Perlakuan Panas Carburizing Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja AISI 1050*.
- [6] Ghufron, A., Syafa'at, I & Darmanto (2016) Universitas Wahid Hasyim Semarang. *Analisa Keausan Point Contact Menggunakan Tribometer Pin-On-Disc Dan*

- Pemodelan *Global Incremental Wear Model* Dengan Variasi Pembebanan. Prosiding SNST ke-7.
- [7] Hafni, H. (2015). Pengaruh Waktu Tahan Proses Pack Carburizing Pada Baja Karbon Rendah Dengan Menggunakan Calcium Carbonat Dan Arang Tempurung Kelapa, Di Tinjau Dari Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, 5(2).
- [8] Hamzah, M. S., & Iqbal, M. (2008). Peningkatan ketahanan aus baja karbon rendah dengan metode carburizing. *SMARTek*, 6(3).
- [9] Hafni, H. (2015). Pengaruh Waktu Tahan Proses Pack Carburizing Pada Baja Karbon Rendah Dengan Menggunakan Calcium Carbonat Dan Arang Tempurung Kelapa, Di Tinjau Dari Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, 5(2).
- [10] Muhammad Zuchry M, 2011 Pengaruh Karburisasi Dengan Variasi Media pendingin Terhadap Mikro Struktur Baja Karbon
- [11] 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>.
- [12] Nurharyanto, A., Halim, D. A., & Surojo, E. (2019). Perbandingan Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah pada Proses Pack Carburizing dengan Media Arang Sekam Padi dan Arang Tempurung Kelapa. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 15(1), 39-48.
- [13] Probowo, A. A., & Sunyoto. (2020). Pengaruh Media Pendinginan Pada proses Quenching Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, dan kekuatan Bending Baja AISI1010. *Journal of Mechanical Engineering Learning*, 9(1).
- [14] 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.
- [15] Rahardjo, T. (2008). Proses Nitriding Untuk Peningkatan Sifat Mekanik Permukaan Material Dies. *Jurnal Flywheel*, 1(2).
- [16] RIZKI, M. A., RAZI, M., & BUKHARI, B. (2022). PENGARUH PROSES PACK CARBURIZING DENGAN VARIASI TEMPARATUR DAN KARBON AKTIF TERHADAP KEKERASAN PERMUKAAN BAJA AISI 1020. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 6(2), 63-67.
- [17] Sujana, & Widi. (2016). Serbuk Alumina Sebagai Katalis Didalam Reaktor Fluidised Bed. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*.
- [18] Supriyanto, Y. (2018). *Analisis Sifat Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Aisi 4140 Hasil Karburasi Plasma Dengan Variasi Tekanan*. Thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [19] 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.

- [20] Wahyudi, S. (2022) Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Malang, *Analisa Proses Surface Hardening Dengan Metode Carburizing Terhadap Kekerasan, Kedalaman Kekerasan, Dan Komposisi Baja ASTM A36,* *Kekerasan, Kedalaman, Kekerasan, Dan Komposisi Baja ASTM 36,* Institut Teknologi Nasional Malang
- [21] Wardani, P.Y. (2013) Jurusan Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang, *Sintesis dan Karakterisasi Tinta Serbuk (TONER) berbahan baku Pasir Besi Menggunakan XRD dan SEM-EDAX*
- [22] Wahyudi, S. (2022). *Analisis Proses Surface Dengan Metode Carburizing Terhadap*