

Analisa Variasi Media Serbuk Karburisasi Temperatur 800°C Terhadap Kedalaman Pengerasan Dan Struktur Mikro Baja AISI 4140

Bilal Arif Wahyudi^{1,*}, I Komang Astana Widi¹

¹ Program Studi Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Nasional Malang

Kata kunci

Fluidized bed furnace
Baja AISI 4140
Temperatur 800°C
Arang batok kelapa
Toner fotokopi

ABSTRAK

Baja memiliki peran penting dalam industri manufaktur, konstruksi, dan otomotif karena kekerasan dan ketangguhan. Salah satu metode peningkatan kualitas baja adalah karburisasi, yaitu proses pemanasan baja di atas suhu A1 (>723°C) dalam suasana karbon. Contohnya, baja AISI 4140 dipanaskan pada suhu 800°C dalam fase austenit untuk memastikan difusi karbon yang efektif.

Fluidized bed furnace memungkinkan gas karbon diserap oleh permukaan baja. Limbah batok kelapa yang diubah menjadi arang berkarbon tinggi digunakan bersama gas seperti metana atau propana untuk meningkatkan kekerasan permukaan baja. Beberapa faktor yang mempengaruhi ketebalan lapisan karbon adalah durasi, perlakuan, media serbuk pemanas, dan suhu. Serbuk alumina sebagai katalis, serta serbuk toner dan limbahnya, juga membantu efisiensi proses ini.

Microscope optic digunakan untuk menentukan lapisan karbon, yang sangat memengaruhi sifat mekanik material, *Micro vickers hardness tester* membantu menilai efektivitas karburisasi. SEM-EDX memberikan informasi mengenai komposisi unsur kimia pada sampel. Hasil penelitian serbuk toner fotokopi + arang batok kelapa menghasilkan tebal lapisan karbon tertinggi (23,733 µm), nilai kekerasan tertinggi (795,9 HV), Kadar karbon (19,691%), sebagai perbandingan serbuk limbah fotokopi + arang batok kelapa memiliki ketebalan lapisan (15,648 µm), kekerasan (784,9 HV), dan kadar karbon (67,857%) Variasi alumina memiliki ketebalan lapisan (19,038 µm), kekerasan (654,6 HV), dan kadar karbon (19,529%).

* Corresponding author:

Bilal Arif Wahyudi (email: bilalarifwahyudi@gmail.com)

Diterima: 3 September 2024

Disetujui: 21 Agustus 2025

Dipublikasikan: 11 November 2025

1 Pendahuluan

Baja (*steel*) adalah campuran antara besi (Fe) dan karbon, dengan kandungan 1.0% Baja ini secara teknis disebut sebagai baja karbon. Pembuatan baja dapat dilakukan melalui konverter, dapur *Siemens Martin*, dan dapur listrik. Baja juga dapat mengalami perlakuan panas maupun dingin [1].

Proses karburisasi dengan media campuran arang batok kelapa dan gas (metana, propana) meningkatkan kekerasan dengan peningkatan kadar karbon pada permukaan spesimen. Faktor-faktor seperti waktu, lamanya perlakuan, media serbuk pemanas dan suhu memengaruhi ketebalan lapisan karbon. Salah satu proses karburisasi dengan menggunakan *fluidized bed furnace* kandungan karbon pada gas diserap oleh permukaan baja. Proses ini adalah gabungan antara gas karburisasi padat berperan untuk meningkatkan kekerasan dan ketangguhan [2].

Baja tersebut dipanaskan di atas suhu A1 (>723°C) dalam suasana karbon untuk meningkatkan kekerasan permukaannya. pada saat suhu 800°C, baja AISI 4140 berada dalam fase austenit, yang memungkinkan difusi karbon ke dalam permukaan baja dengan lebih efektif. Fase austenit ini sangat penting untuk mencapai kedalaman karburisasi yang diinginkan dan memastikan distribusi karbon yang seragam di permukaan baja [3].

Karakteristik utama dari baja AISI 4140 meliputi kekerasan yang baik dan kemampuan untuk dikerjakan (mampu mesin). Kekerasan ini berasal dari kandungan kromium dan molibdenum dalam baja tersebut, yang menyebabkan kekerasan yang seragam serta kekuatan yang tinggi [4].

Baja Karbon Menengah (*Medium Carbon Steel*) memiliki kandungan karbon antara 0,25% - 0,60% C. Baja karbon menengah ini sering digunakan untuk alat-alat perkakas bagian mesin dan juga dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti industri kendaraan, roda gigi, pegas, dan sebagainya [5]. Struktur mikro baja dalam diagram fasa Fe-Fe₃C, juga dikenal sebagai diagram fasa besi-karbon, menggambarkan rentang suhu di mana fase-fase baja stabil berubah seiring dengan variasi konsentrasi karbon. Hal ini mengakibatkan pembentukan beberapa fase *non-ekuilibrium* yang tidak tergambar dalam diagram fasa tersebut. Oleh karena itu, pemahaman tentang sifat *non-ekuilibrium* ini penting dalam interpretasi dan penggunaan diagram fasa dalam konteks praktis [6]. Dari diagram CCT digunakan untuk memprediksi struktur mikro yang terbentuk pada berbagai tingkat pendinginan ketika austenit didinginkan dari suhu 727°C hingga 60°C. Jika tingkat pendinginan sangat cepat (8,3°C/s), hanya struktur mikro martensit yang akan terbentuk [7]. Sifat mekanis Kekerasan dan kekuatan adalah dua sifat mekanik yang berbeda dari material logam. Kekerasan mengacu pada kemampuan material untuk menerima gaya penetrasi, sedangkan kekuatan mengacu pada kemampuan material untuk menahan tegangan tanpa patah. Kedua sifat ini menunjukkan seberapa baik logam atau material tersebut dapat menahan beban atau gaya tanpa mengalami kerusakan [8].

2 Metode Penelitian

Metode penelitian dengan cara karburisasi ada 3 spesimen berdasarkan variabel bebas yang akan dipakai, kemudian setelah di karburisasi akan dilakukan tahap pengujian *microscope optic*, *micro vickers*, dan SEM-EDX berikut tahap penjabarannya :

A. Standard Pembuatan Spesimen Baja AISI 4140 (model *Round Bar* diameter 10 mm)

Pada 3 spesimen tersebut dilakukan proses pemotongan menggunakan gergaji/hacksaw dengan panjang 10mm, kemudian di ratakan permukaan spesimen menggunakan gerinda, setelah itu proses pembubutan untuk lubang seling ukuran 3 mm sebagai pengangkatan setelah karburisasi.

B. Proses Karburisasi

1. Proses karburisasi di Laboratorium Material, jurusan Teknik Mesin S-1, Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Menyiapkan 3 spesimen Baja AISI 4140 yang telah di seling dan media serbuk media panas sebagai variabelnya dengan perbandingan 4:1, ukuran mesh media 120.
3. Nyalakan alat *fluidized bed furnace* ke posisi ON, aktifkan saklar pemanas dan udara ke posisi ON
4. Buka saluran udara dari kompresor ke *fluidized bed furnace*.
5. Siapkan wadah pendinginan menggunakan air (*quenching*).
6. Atur suhu 800°C dengan *holding time* selama 60 min, ketika suhu mencapai 500°C geser ke posisi nitrogen dan propana dari tabung gas disini dimulainya penyaluran karbon.
7. Setelah selesai, matikan saklar nitrogen dan propana dan dinginkan peralatan seperti alat *fluidized bed furnace* suhu harus mencapai suhu ruang kemudian dimatikan.

C. Tahap uji alat *Microscope optic*, *Micro vickers*, dan SEM-EDX

1. Pengujian tebal lapisan harus dilakukan preparasi seperti pemolesan menentukan grit dari terkasar hingga halus, setelah itu spesimen di etsa menggunakan campuran ethanol dan asam nitrat lalu keringkan, tempatkan spesimen yang telah disediakan alat uji, atur lensa dan *spot* yang diambil dengan perbesaran 200x tarik garis μm , dan ulangi dengan langkah-langkah yang sama pada spesimen selanjutnya, catat hasil dan berikan analisa.
2. Pengujian kedalaman pengerasan, siapkan spesimen yang akan di uji *micro vickers*, tempatkan sampel yang telah ditentukan, operasikan alat *micro vickers*, tentukan *spot* yang akan di uji kedalaman pengerasan berikan *load* 1 kgf, ulangi langkah yang sama catat hasil dan berikan analisa.

3. Pengujian komposisi baja harus dilakukan preparasi terlebih dahulu, langkah awal siapkan spesimen, tempatkan spesimen yang telah ditentukan, operasikan alat uji SEM-EDX, ulangi dengan langkah-langkah yang sama berdasarkan variabelnya, langkah akhir catat dan analisa

3 Hasil dan Pembahasan

Pada proses perlakuan panas karburisasi dilakukan di Laboratorium Material Teknik Mesin FTI-ITN Malang terhadap Baja AISI 4140. Kemudian dilakukan pengujian tebal lapisan karbon di Laboratorium uji Material Unmer Malang dan *Micro vickers* di Laboratorium Metalurgi FTI-ITN Malang. Untuk pengujian SEM-EDX akan dilakukan Laboratorium Biosains Universitas Brawijaya, sehingga didapatkan hasil sebagai berikut :

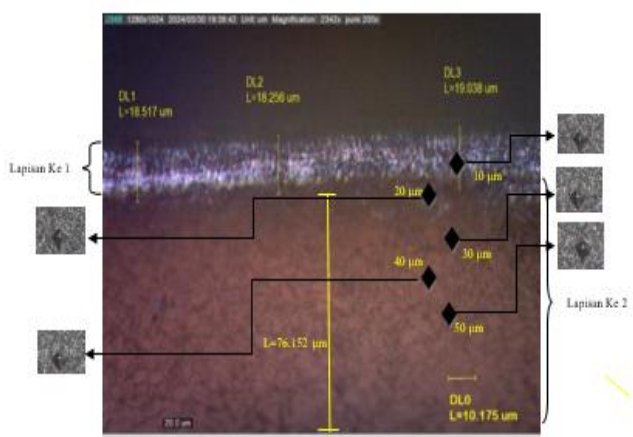
3.1 Data Hasil Uji Lapisan Karbon (Microscope Optic)

Dari proses Perlakuan karburisasi temperatur 800°C dengan variasi Serbuk Alumina, Serbuk Toner Fotokopi + Arang Batok Kelapa, Limbah Serbuk Fotokopi + Arang Batok Kelapa pada reaktor *fluidized bed furnace*, dapat diketahui tebal lapisan ini dipengaruhi adanya kandungan karbon di dalam gas *LPG* dan nitrogen yang mengalami difusi saat proses berlangsung. Tebal lapisan menunjukkan sejauh mana difusi yang akan terjadi. Dengan spesimen yang bervariasi serbuk pemanas menjadi salah satu faktor difusi yang terjadi.

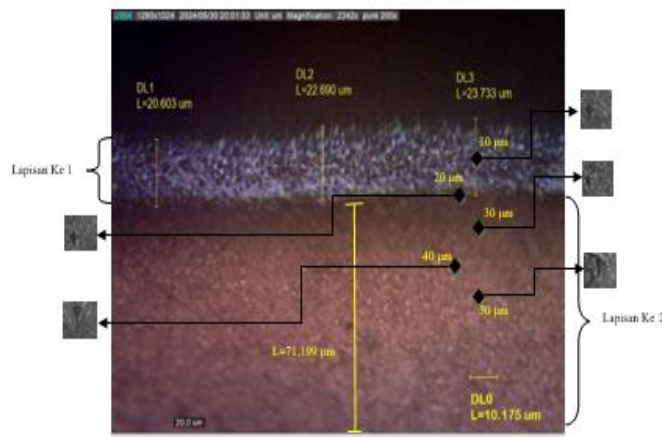


Gambar 1 Base Material AISI 4140.

Gambar 1 menunjukkan Raw Material Baja AISI 4140 tanpa perlakuan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 100X dengan ketinggian 121.705 μm tidak ada lapisan karbon yang masuk.



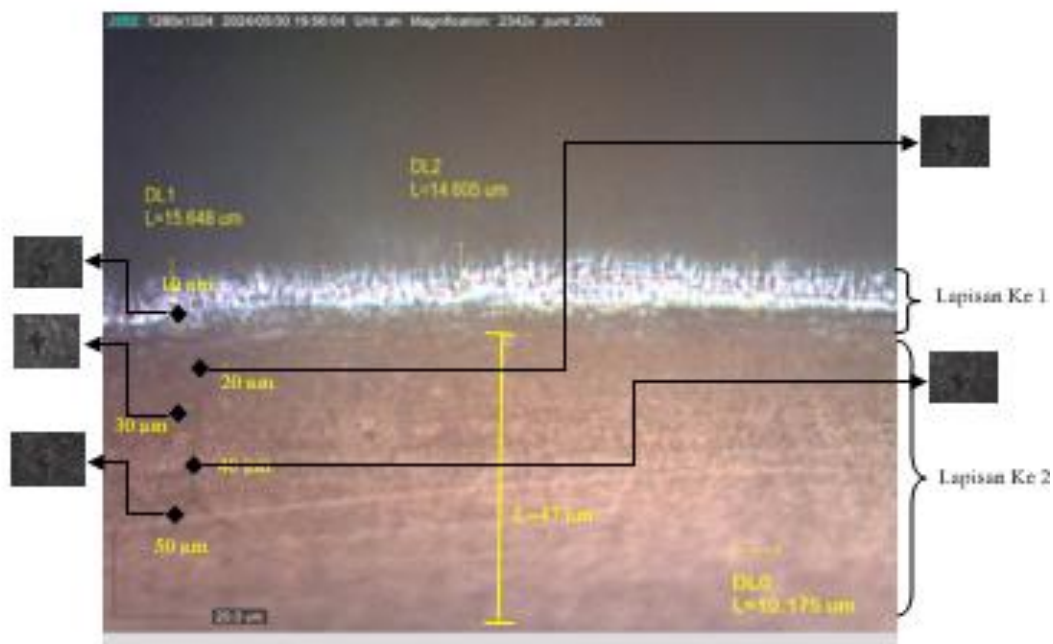
Gambar 2 variasi Serbuk Alumina



Gambar 3 Variasi TFK + ABK

Gambar 2 menunjukkan Material Baja AISI 4140 temperatur 800°C dengan variasi serbuk Alumina dilakukan perlakuan panas karburisasi dengan perbesaran 200X terjadi penambahan lapisan karbon ke 1 pada garis 1 Tebal lapisan 18.517, garis 2 Tebal lapisan 18.256, garis 3 Tebal lapisan 19.038, kemudian pada lapisan ke 2 garis 4 menampilkan 76.152 dalam satuan (μm).

Gambar 3 menunjukkan Material Baja AISI 4140 temperatur 800°C dengan variasi Toner Fotokopi + Arang Batok Kelapa dilakukan perlakuan panas karburisasi dengan perbesaran 200X terjadi penambahan lapisan karbon ke 1 pada garis 1 Tebal lapisan 20.603, garis 2 Tebal lapisan 22.690, garis 3 Tebal lapisan 23.733, kemudian pada lapisan ke 2 garis 4 menampilkan 71.199 dalam satuan (μm).



Gambar 4 Variasi LBK + ABK

Gambar 4 menunjukkan material Baja AISI 4140 temperatur 800°C dengan variasi Limbah Fotokopi + Arang Batok Kelapa dilakukan perlakuan panas karburisasi dengan perbesaran 200X terjadi penambahan lapisan karbon ke 1 pada garis 1 Tebal lapisan 15.648, garis 2 Tebal lapisan 14.605, kemudian pada lapisan ke 2 garis 3 menampilkan 71.199 dalam satuan (μm)

3.1.1 Tabel

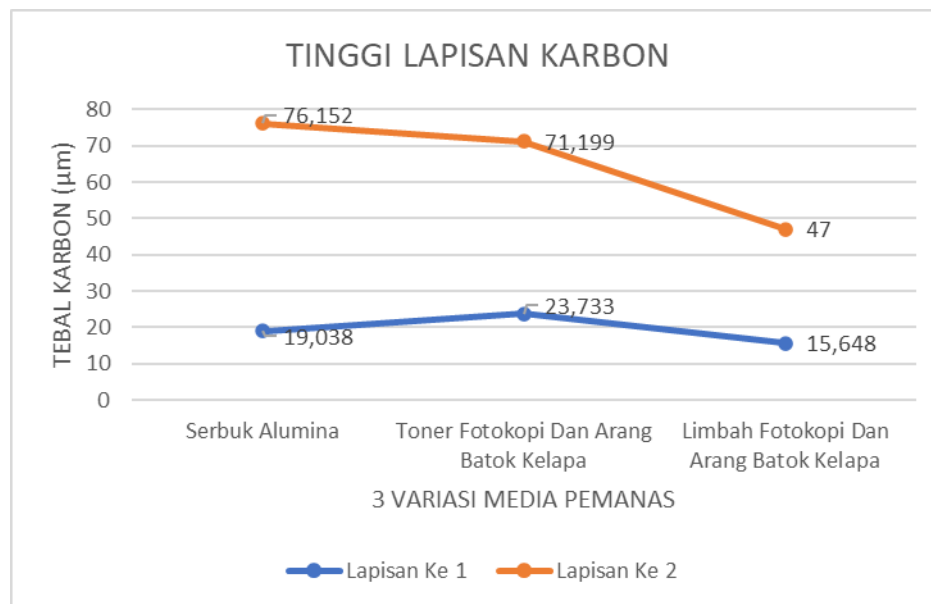
Berikut tabel data dari pengujian Tebal Lapisan Tertinggi

Tabel 1 variasi serbuk Toner Fotokopi + Arang Batok Kelapa

Kode Spesimen	Nama	Tebal Lapisan 1 (μm)	Tebal Lapisan 2 (μm)
Variasi TFK + ABK Temperatur 800°C	DL 1	20.603	
	DL 2	22.690	71.199
	DL 3	23.733	

3.1.2 Grafik

Gabungan tinggi lapisan 1 dan 2 berdasarkan 3 Variasi

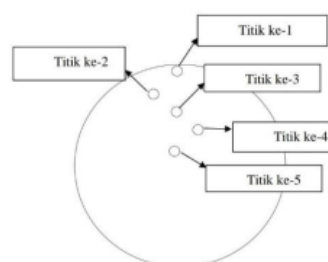


Grafik 1 Perbandingan Ketebalan Lapisan Karbon

Dari grafik 4.1 peneliti dapat menganalisa bahwasannya Variasi Serbuk Alumina, Toner Fotokopi dan Arang Batok Kelapa, Limbah Fotokopi dan Arang Batok Kelapa memiliki tebal lapisan ke 1 dan lapisan ke 2 sangat kecil juga tidak berubah secara signifikan saat proses karburisasi, yang dapat dikatakan lapisan karbon tersebut memiliki tebal minimal 100 μm - 750 μm [11]. Namun sedikitnya dapat mempengaruhi nilai pengerasan yang terjadi saat di micro vickers dikarenakan perlakuan karburisasi. Peran variasi media pemanas dapat berkontribusi dalam menyuplai karbon ke permukaan baja.

3.2 Data Hasil Uji Kedalaman Pengerasan (Micro Vickers)

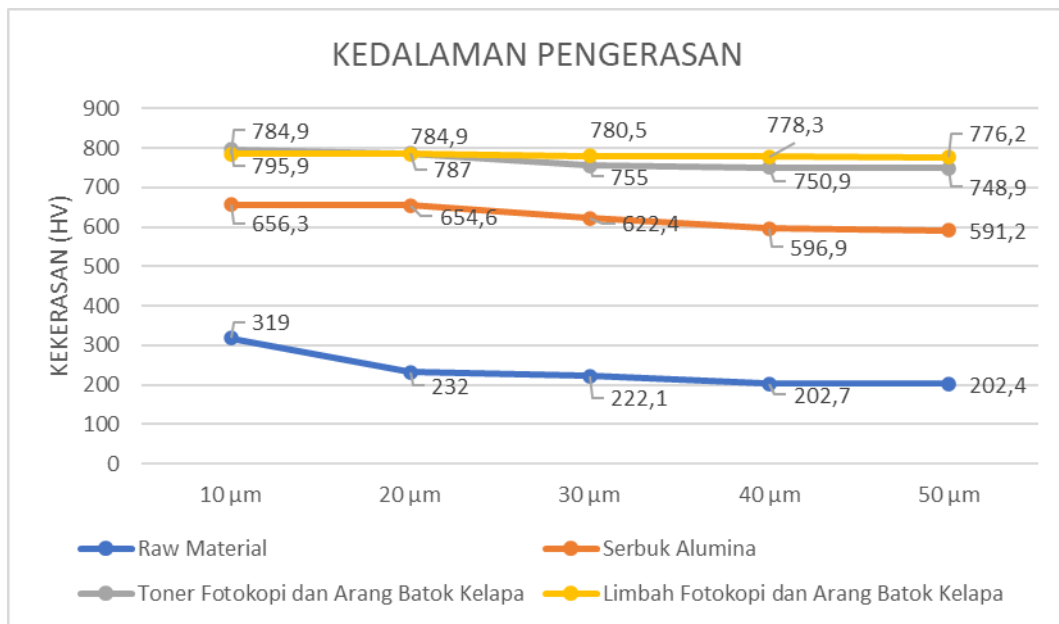
Dari proses perlakuan panas karburisasi temperatur 800°C dengan variasi serbuk alumina, serbuk toner fotokopi + arang batok kelapa, limbah serbuk fotokopi + arang batok kelapa sebagai media pemanas dalam *reaktor fluidized bed furnace*, maka didapatkan data kekerasan yang bertujuan untuk mengetahui kedalaman distribusi pengerasan pada spesimen hasil perlakuan panas karburisasi. Pada pengujian kekerasan ini menggunakan alat uji *micro vickers* dengan beban 1 kgf dan waktu penekanan selama 10 detik. Data diambil sebanyak 5 titik dengan jarak tergantung tiap ketebalan karbon dalam 3 variasi serbuk untuk mengetahui sejauh mana difusi karbon pada permukaan baja AISI 4140.



Gambar 5 Penempatan Titik Uji Micro Vickers

3.2.1 Grafik

Gabungan hubungan kedalaman pengerasan *base material* dan 3 variasi serbuk



Grafik 2 Perbandingan Nilai Pengerasan *Raw Material* dan 3 Variasi

Dari analisa grafik 2 terlihat *Raw Material* saat di uji kedalaman pengerasan dengan jarak 10 μm, memperoleh nilai tertinggi yaitu sebesar 319,0 HV, saat menggunakan sampel serbuk alumina di uji kedalaman pengerasan dengan jarak 10 μm, memperoleh nilai sebesar 656,3 HV meningkat sebesar 337,3 HV terhadap raw material, saat menggunakan sampel toner fotokopi + arang batok kelapa di uji kedalaman pengerasan dengan jarak 10 μm, tingkat pengerasan lebih tinggi dibandingkan serbuk alumina dengan memperoleh nilai sebesar 795,9 HV meningkat sebesar 476,9 HV terhadap Raw material, kemudian saat menggunakan sampel limbah fotokopi + arang batok kelapa di uji kedalaman pengerasan dengan jarak 10 μm semakin naik tingkat pengerasannya memperoleh 784,9 meningkat sebesar 465,9 HV terhadap raw material.

3.2.2 Tabel

Berikut tabel data dari pengujian kedalaman pengerasan tertinggi pada jarak 10 μm dengan nilai kekerasannya dipengaruhi oleh tebal lapisan karbon

Tabel 2 Nilai Kedalaman Pengerasan Toner Fotokopi + Arang Batok Kelapa

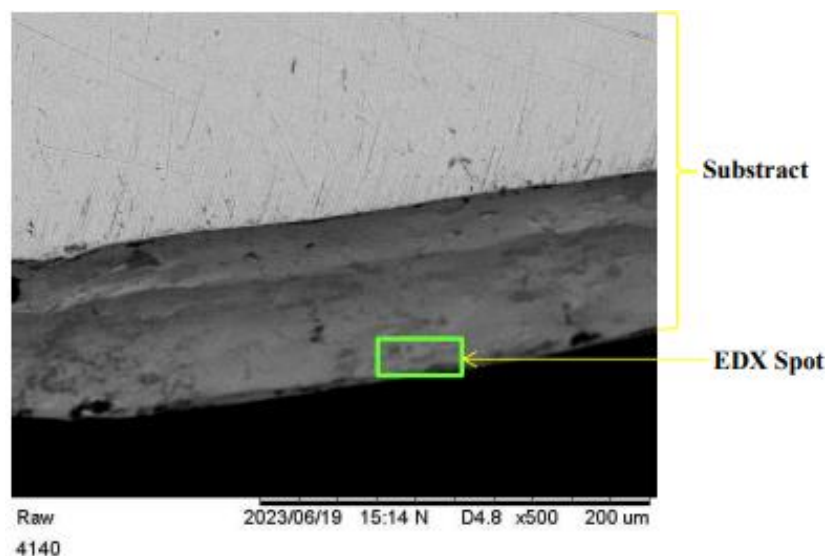
Kode Spesimen	Titik Pengujian	Jarak (μm)	Kekerasan (HV)
Variasi TFK + ABK	Titik Ke 1	10 μm	795,9
	Titik Ke 2	20 μm	787,0
	Titik Ke 3	30 μm	755,0

Temperatur 800°C	Titik Ke 4	40 μm	750,9
	Titik Ke 5	50 μm	748,9

Analisa Peneliti menunjukkan bahwa pada jarak 10 μm terjadi peningkatan nilai pengerasan yang signifikan karena proses awal penetrasi karbon. Namun, pada jarak 20 μm , terjadi penurunan sebesar 8,9 HV (1,1%), diikuti dengan penurunan yang cukup drastis sebesar 32 HV (4,2%) pada jarak 30 μm . Selanjutnya, pada jarak 40 μm , terjadi penurunan yang lebih kecil dibandingkan dengan jarak 20 μm , yaitu sebesar 4,1 HV (0,5 %), dan terakhir, pada jarak 50 μm terjadi penurunan sebesar 1,1 HV (0,1%), hanya sedikit berbeda dari jarak 40 μm . Oleh sebab itu semakin di uji kedalaman pengerasannya semakin kecil difusi karbon yang terjadi sehingga nilai pengerasan otomatis menurun [9].

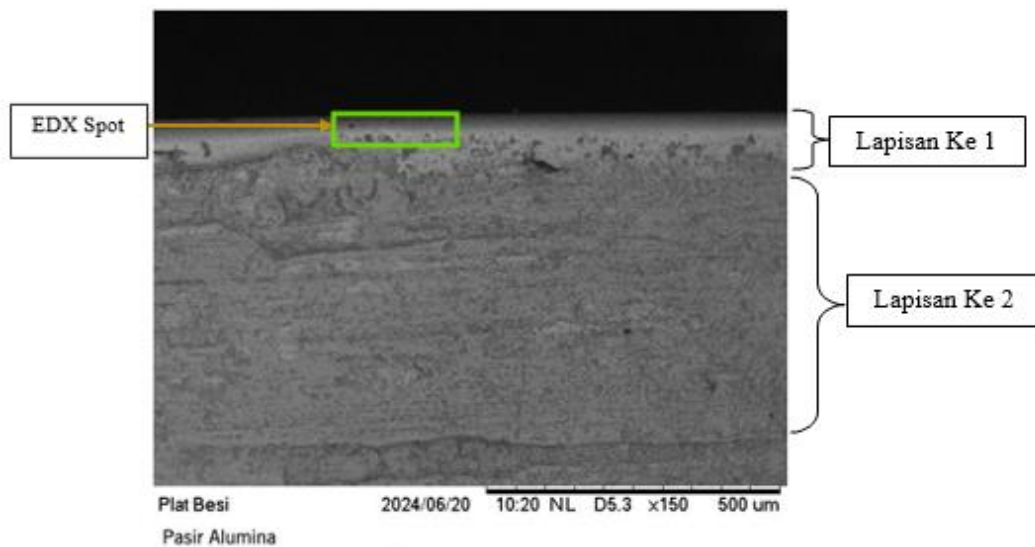
3.3 Data Hasil Uji Komposisi Baja (SEM-EDX)

Dari proses pengujian SEM-EDX bertujuan mengetahui pengaruh perlakuan panas karburisasi dengan temperatur 800°C berdasarkan variasi media pemanas serbuk alumina, serbuk toner fotokopi + arang batok kelapa, dan limbah serbuk fotokopi + arang batok kelapa, terhadap lapisan karbon saat di uji memungkinkan perubahan komposisi struktur mikro, sifat mekanis dan sifat fisik baja AISI 4140.



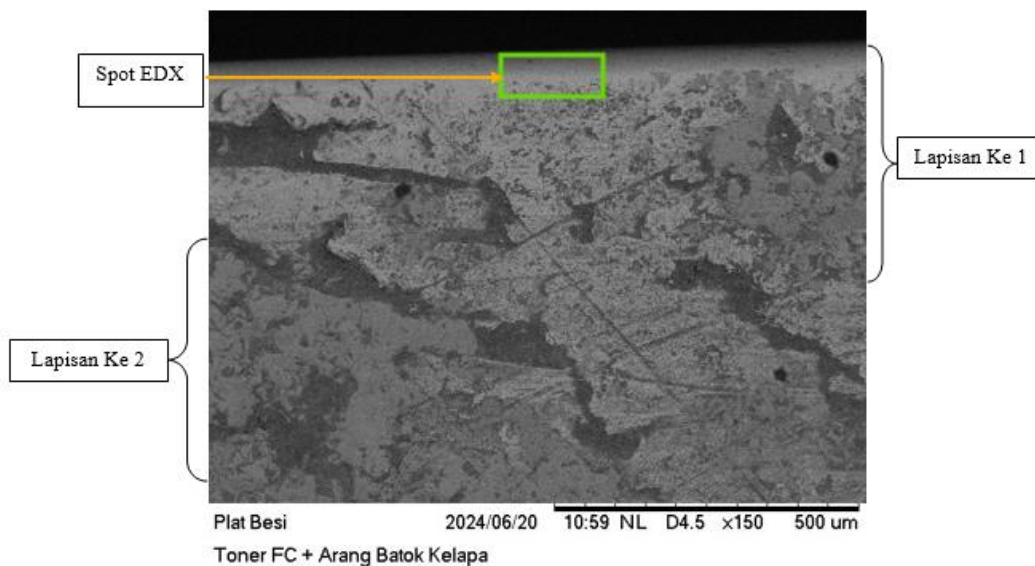
Gambar 1 SEM Raw Material Baja AISI 4140

Gambar 6 menampilkan hasil foto SEM yang menunjukkan permukaan sampel Bahan Baku dengan perbesaran 500X. Informasi mengenai jumlah kandungan spesimen Bahan Baku berdasarkan pengujian EDX dapat ditemukan bahwa raw material mengandung C 14,846% dan iron 73,630%.



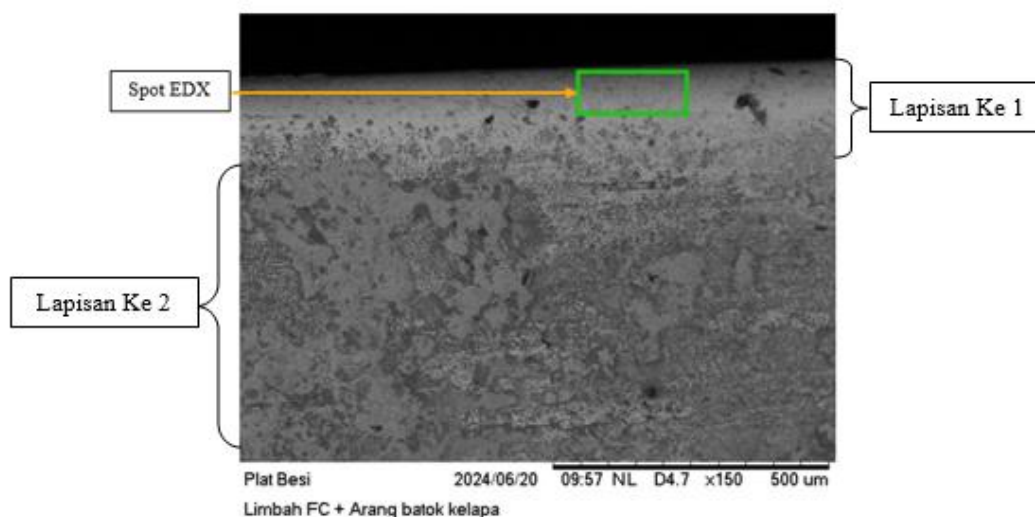
Gambar 7 SEM Variasi Serbuk Alumina

Gambar 7 Menunjukkan hasil foto SEM yang memperlihatkan permukaan sampel media karburisasi dengan temperatur 800°C menggunakan variasi Serbuk Alumina dengan perbesaran 150X. berdasarkan uji struktur mikro mencari tebal lapisan karbon yang ter-karburisasi diperoleh 19.038 μm pada perbesaran 200X. Sementara itu, untuk informasi mengenai jumlah kandungan komposisi dengan variasi serbuk alumina sebagai media pemanas melalui pengujian EDX dapat ditemukan kandungan komposisi C 19,529% dan *iron* 45,232%.



Gambar 8 SEM Variasi TFK + ABK

Gambar 8 menunjukkan hasil foto SEM yang memperlihatkan permukaan sampel media karburisasi dengan temperatur 800°C menggunakan variasi toner fotokopi + arang batok kelapa dengan perbesaran 150X. berdasarkan uji struktur mikro mencari tebal lapisan karbon yang ter-karburisasi diperoleh 23,733 μm pada perbesaran 200X. Sementara itu, untuk informasi mengenai jumlah kandungan komposisi dengan variasi toner fotokopi + arang batok kelapa sebagai media pemanas melalui pengujian EDX dapat ditemukan kandungan komposisi C 19,691% dan *iron* 64,452%.



Gambar 9 SEM Variasi LFK + ABK

Gambar 9 menunjukkan hasil foto SEM yang memperlihatkan permukaan sampel media karburisasi dengan temperatur 800°C menggunakan variasi limbah fotokopi + arang batok kelapa dengan perbesaran 150X. berdasarkan uji struktur mikro mencari tebal lapisan karbon yang ter karburisasi diperoleh 15,648 μm pada perbesaran 200X. Sementara itu, untuk informasi mengenai jumlah kandungan komposisi dengan variasi limbah fotokopi + arang batok kelapa sebagai media pemanas melalui pengujian EDX dapat ditemukan kandungan komposisi Karbon C 67,857% dan *iron* 21,516%.

3.3.1 Tabel

Berikut perbandingan jumlah komposisi *Raw Material* dan 3 Variasi Serbuk Media Penghantar Panas

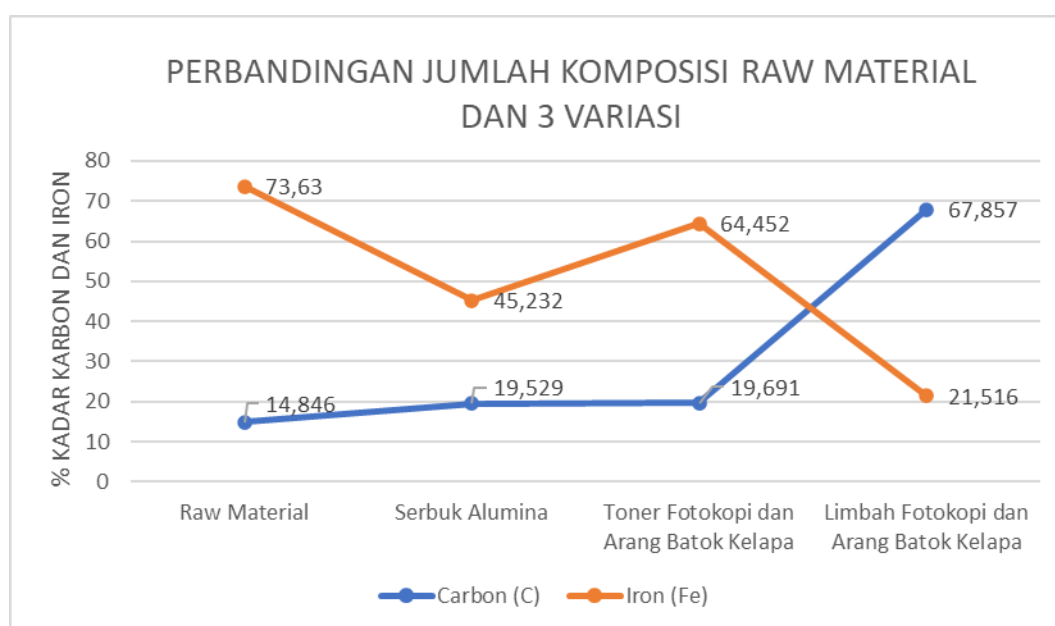
Tabel 3 jumlah komposisi *Raw Material* dan 3 Variasi Serbuk

Unsur	Perlakuan			
	Raw Material	Serbuk Alumina	Toner	Limbah
	AISI 4140		Fotokopi + Arang Batok Kelapa	Fotokopi + Arang Batok Kelapa
C	14.846%	19.529%	19.691%	67.857%
Fe	73.630%	45,232%	64.452%	21.516%
Cr	0.712%	0.719%	1.501%	0.702%
Mo	-	-	-	-

Al	3.717%	5.868%	0.581%	-
Si	0.579%	0.423%	0.647%	0.568%
O	5.536%	27.576%	11.612%	9.357%
Mn	0.515%	-	1.132%	-
Na	0.448%	0.491%	0.561%	-

3.3.2 Grafik

Berikut Perbandingan Jumlah Komposisi *Raw Material* Dan 3 Variasi



Grafik 3 Perbandingan Tinggi Kadar Karbon dan Besi

Dari grafik 4.10 peneliti dapat menganalisa kadar karbon raw material sebesar 14,846%, dan besi 73,63%. setelah mengalami proses karburisasi pada variasi serbuk alumina terjadinya peningkatan kadar karbon sebesar 4,73% menjadi 19,529% dan besi otomatis menurun 38,56% menjadi 45,232%, kemudian pada variasi toner fotokopi + arang batok kelapa jika dibandingkan dengan raw material maka terjadi peningkatan kadar karbon sebesar 4,84% menjadi 19,691% dan besi mengalami penurunan sebesar 12,465% menjadi 64,452 ini terjadi komposisi dari peran toner fotokopi mengandung *magnetit* terdiri dari Fe_3O_4 dalam rasio 3:4 memungkinkan mempengaruhi unsur besi, namun bila dibandingkan variasi serbuk alumina. Pada variasi limbah fotokopi + arang batok kelapa terjadinya peningkatan kadar karbon sebesar 53% menjadi 67,857% dan unsur besi menurun drastis 70,81% terhadap raw material. Apabila jika dibandingkan toner fotokopi tentunya limbah fotokopi lebih tinggi di sebabkan hilangnya unsur-unsur kadar yang lainnya seperti aluminium, magnesium, dan sodium. Sehingga mempengaruhi peningkatan kadar karbonnya.

Dari data hasil penelitian menunjukkan hasil SEM-EDX baja AISI 4140 setelah diberi perlakuan pengerasan permukaan berupa metode karburisasi unsur karbon mengalami kenaikan saat karburisasi dengan variasi serbuk alumina, namun ketika menggunakan variasi serbuk toner fotokopi + arang batok kelapa begitu juga dengan variasi serbuk limbah fotokopi + arang batok kelapa terjadinya peningkatan yang lebih tinggi, dikarenakan peran arang batok kelapa mempunyai unsur karbon sebesar 54,03% berdasarkan penelitian analisa proksimat dari [10]. bertujuan menentukan komposisi dasar. Saat membandingkan variasi serbuk toner fotokopi + arang batok kelapa dengan limbah fotokopi + arang batok kelapa kadar karbon meningkat 48,17% ini terjadi

ketika penggunaan sisa-sisa fotokopi baru yang disebut limbah fotokopi partikel atom semakin kecil namun potensi tersumbatnya pori-pori permukaan baja semakin besar sehingga nilai persentase atomnya meningkat sebesar 4,545% terhadap serbuk toner fotokopi baru.

4 Kesimpulan

Dari proses serangkaian penelitian yang telah dilakukan terhadap spesimen uji baja AISI 4140 dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi serbuk toner fotokopi + arang batok kelapa memiliki tebal lapisan karbon tertinggi (23,733 μm) dibandingkan limbah fotokopi + arang batok kelapa (15.648 μm), dan alumina (19.038 μm)
2. Variasi serbuk toner fotokopi + arang batok kelapa memiliki nilai kekerasan tertinggi (795,9 HV) dibandingkan alumina (654.6 HV), dan limbah fotokopi + arang batok kelapa (784.9 HV)
3. Variasi serbuk limbah fotokopi memiliki kadar karbon tertinggi (67.857%) dibandingkan alumina (19,529%), dan toner fotokopi + arang batok kelapa (19,691%).

5 Referensi

- [1] W. D. Callister Jr and D. G. Rethwisch, *Characteristics, Application, and Processing of Polymers*. 2003.
- [2] S. Kirono and A. Amri, "Pengaruh Tempering Pada Baja ST 37 Yang Mengalami Karburasi Dengan Bahan Padat Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro," *Jur. Mesin, Univ. Muhammadiyah Jakarta*, no. C, pp. 1–10, 2013.
- [3] G. L. Arumparithy, R. Adalarasan, M. Santhanakumar, N. Balaji, and Y. Asres, "Investigation in Gas Carburizing of AISI 4140, EN36, and 16MnCr5 Steels Using the Grey Incidence-Based Taguchi (GIBT) Method," *Adv. Mater. Sci. Eng.*, vol. 2022, 2022.
- [4] R. (2023). K. P. K. P. B. A. 4140 T. L. A. G. D. T. 800 °C D. V. M. K. 7. D. F. Razan, Razan, D. F., Widi, I. K. A., & Febritasari, I. K. A. Widi, and R. Febritasari, "Karakterisasi Proses Karburisasi Pada Baja Aisi 4140 Terhadap Laju Aliran Gas Dengan Temperatur 800 °C Dengan Variasi Media Karburisasi," vol. 7, 2023.
- [5] A. Murtiono, "Pengaruh Quenching dan Tempering Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik serta Struktur Mikro Baja Karbon Sedang untuk Mata Pisau Pemanen Sawit," *J. e-Dinamis*, vol. II, no. 2, pp. 57–70, 2012.
- [6] V. Atreya, "Unraveling the Role of Carbon on the Strengthening Mechanisms of Low Mn-Si Martensitic Steels," no. August 2017, 2017, doi: 10.13140/RG.2.2.23098.72645.
- [7] I. Kashyap, "M . Tech Thesis Effect of External Stress and Strain on Bainite Transformation Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the award of the degree of," no. May, 2017.
- [8] G. V. Kozlov and Y. G. Yanovskii, "- Microhardness," *Fractal Mech. Polym.*, vol. 5, pp. 256–265, 2014,.
- [9] S. Mizhar and Suherman, "Pengaruh Perbedaan Kondisi Tempering Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan dari Baja Aisi 4140," *J. Din.*, vol. II, no. 8, pp. 21–26, 2013.
- [10] S. Suyambazhahan, "Experimental Study of Coconut Shell Fluidized Bed Gasification for Production of Fuel Gas for End-Use Applications," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 13, no. August 2018, pp. 14682–14688, 2018.
- [11] Amstead B. H. (1979). *Manufacturing Processes*. Jhon wiley & Sons, New York.