



Analisa Variasi Laju Aliran Gas Memanfaatkan Limbah Pada Temperatur Proses Karburasi 900°C Terhadap Struktur Mikro Dan Kedalaman Pengerasan Baja AISI 1020

Elfis Bria G.N^{1,*}, I Komang Astana W²

¹ Insititut Teknologi Nasional Malang

² Institut Teknologi Nasional Malang

Kata kunci

Baja AISI 1020
Carburizing
Limbah
Kandungan Karbon

ABSTRAK

Carburizing merupakan proses pengerasan permukaan dengan memanaskan logam (baja) di atas suhu 850°C dalam lingkup yang mengandung karbon. Pada penelitian ini media karburasi yang digunakan ialah limbah serbuk fotocopy dan arang bathok kelapa dengan menggunakan material baja AISI 1020 dan menggunakan dapur *fluidized bed furnace*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan media limbah pada proses karburasi terhadap karakteristik baja AISI 1020. Karakteristik yang diteliti meliputi kedalaman lapisan keras, ketebalan lapisan karbon, serta kandungan karbon dan besi pada permukaan baja. Variasi laju aliran gas juga dipertimbangkan dalam penelitian ini. Hasil Penelitian ini pengaruh media limbah pada proses *carburizing* meningkatkan kedalaman lapisan kekerasan permukaan baja AISI 1020 dengan variasi laju aliran 40 cm³/min merupakan kondisi paling optimal untuk menghasilkan pengerasan permukaan baja AISI 1020. Tingkat ketebalan baja AISI 1020 dengan variasi 40 cm³/min ini menunjukkan konsentrasi karbon semakin merata antara permukaan dan bagian dalam baja AISI 1020. Kandungan karbon dan besi pada baja AISI 1020 dengan variasi 40 cm³/min peningkatan signifikan pada kandungan karbon sebesar 103,9% dan peningkatan kandungan besi sebesar 34,8% dari raw material.

Elfis Bria Goncalves Nheu (email: elfisnheu09042000@gmail.com)

Diterima:

Disetujui:

Dipublikasikan:

1 Pendahuluan

Salah satu metode untuk meningkatkan sifat baja adalah melalui proses *surface hardening*. Hal ini dilakukan karena baja karbon dengan kandungan karbon yang rendah tidak dapat dikeraskan secara langsung. Baja karbon dengan kandungan karbon rendah perlu ditingkatkan kadar karbonnya terlebih dahulu untuk memperbaiki sifat mekaniknya. *Surface hardening* merupakan perlakuan panas pada material dengan tujuan menambah kekerasan permukaan, namun bagian intinya masih mempertahankan sifat keuletannya. Jenis *surface hardening* yang sering digunakan adalah *carburizing*. *Carburizing* adalah proses pengerasan permukaan dengan memanaskan logam (baja) di atas suhu 850°C dalam lingkungan yang mengandung karbon. Pada suhu 850°C, baja memiliki afinitas yang tinggi terhadap karbon. Ketebalan lapisan baja karbon bergantung pada waktu dan suhu yang digunakan. Media yang digunakan

untuk memberikan karbon dalam proses carburizing terbagi menjadi tiga, yaitu karburasi padat (*solid carburizing*), karburasi cair (*liquid carburizing*), dan karburasi gas (*gas carburizing*) [1].

Carburizing adalah proses meningkatkan kandungan karbon pada permukaan logam sehingga lebih keras dibandingkan bagian dalam yang tetap ulet. Struktur mikro yang diinginkan dapat diperoleh melalui pemanasan baja dan pendinginan pada suhu tertentu. Untuk mencapai kekerasan maksimal, dilakukan pendinginan cepat menggunakan air sebagai media. [2].

Berdasarkan kandungan karbonnya, baja dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu baja karbon rendah (*low carbon steel*), baja karbon sedang (*medium carbon steel*), dan baja karbon tinggi (*high carbon steel*). Berdasarkan kadar unsur paduannya, baja dibagi menjadi dua golongan, yaitu baja paduan rendah dan baja paduan tinggi atau baja paduan khusus. Baja paduan rendah adalah baja yang mengandung unsur paduan kurang dari 10%, sedangkan baja paduan tinggi mengandung unsur paduan lebih dari 10%. Salah satu contoh baja paduan rendah adalah baja AISI 1020. [3]

Baja dengan spesifikasi AISI 1020 adalah baja karbon rendah yang memiliki kandungan karbon sekitar 0,20 – 0,30%. Baja ini sering digunakan dalam berbagai komponen industri, seperti *gear* pada mesin bending plat. Untuk meningkatkan kekerasan dan struktur mikro yang tahan aus, baja ini dapat diperlakukan dengan proses carburizing yang diikuti dengan *quenching* [4]

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh media limbah pada proses carburizing terhadap kedalaman pengerasan, ketebalan lapisan, serta kandungan karbon dan besi pada baja AISI 1020, dengan variasi laju aliran gas 20, 40, dan 60 cm³/menit..

2 Metode Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Material Intitut Nasional Malang, yang dimulai pada tanggal maret – juli 2024, pengujian microvickers di lakukan di laboratorium Bahan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. Pengujian Struktur Mikro dilakukan di laboratorium uji logam, Universitas Merdeka Malang. Pengujian SEM-EDX dilakukan di laboratorium Biosains Universitas Brawijaya.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi baja AISI 1020, Serbuk Fotocopy, arang batok kelapa, gas propana, gas nitrogen. Untuk alat yang digunakan diantaranya *fluidized bed furnace*, seling, *mesh*, jangka sorong, timbangan digital, mesin poles.

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini penulis mendapatkan data hasil uji struktur mikro, kekerasan microvickers, dan SEM-EDX. Data yang diperoleh melalui hasil uji di atas selanjutnya dilakukan pemaparan data untuk analisis pada grafik hasil penelitian.

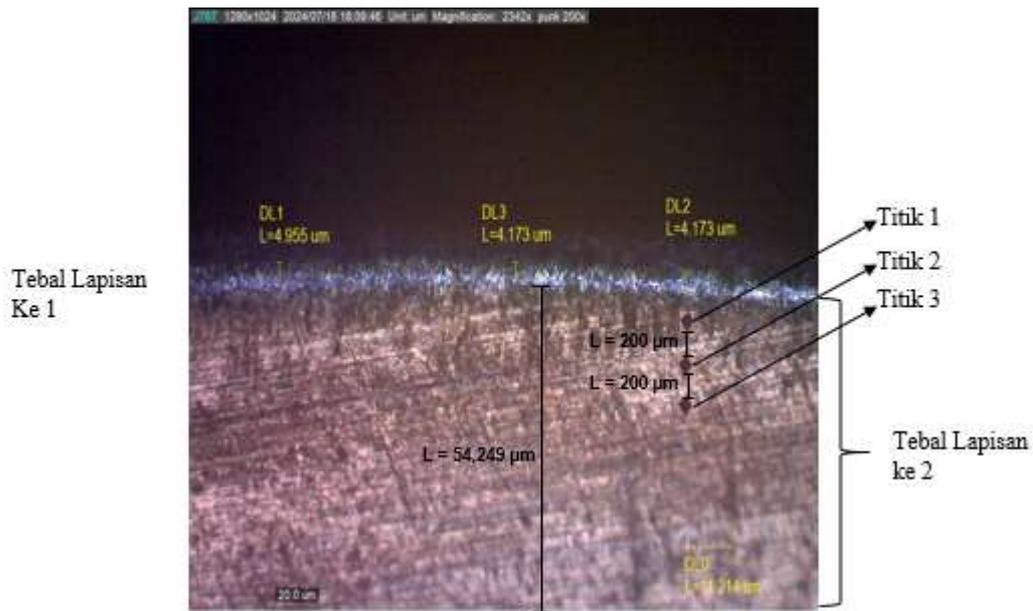
Prosedur penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan referensi terkait topik, termasuk mencari berbagai sumber di perpustakaan Institut Teknologi Nasional Malang, perpustakaan online, dan buku yang berkaitan dengan material komposit. Langkah ini dianggap penting karena berfungsi sebagai dasar untuk membangun landasan teoritis dan membentuk asumsi awal. Hal ini diperlukan agar dapat mengklasifikasikan, mengorganisasi, dan menggunakan literatur-literatur yang relevan di bidangnya.

3 Hasil dan Pembahasan

Setelah melakukan pengujian maka didapatkan data-data hasil pengujian proses perlakuan panas *carburizing* variasi laju aliran dengan memanfaatkan limbah serbuk fotocopy dan arang batok kelapa terhadap struktur mikro, kedalaman pengerasan, SEM-EDX pada baja AISI 1020. Mendapatkan nilai-nilai ketebalan lapisan karbon, kekerasan *microvickers*, persentase karbon dan besi lalu di analisa dan di bahas setelah melakukan proses penelitian *carburizing*. Sehingga mendapatkan hasil sebagai berikut :

A. Data Hasil Pengujian Struktur Mikro

Dari proses perlakuan panas *carburizing* temperatur 900°C dengan laju aliran 20, laju aliran 40, laju aliran 60 pada *fluidized bed furnace*, maka didapatkan data hasil foto pengujian struktur mikro sebagai berikut :



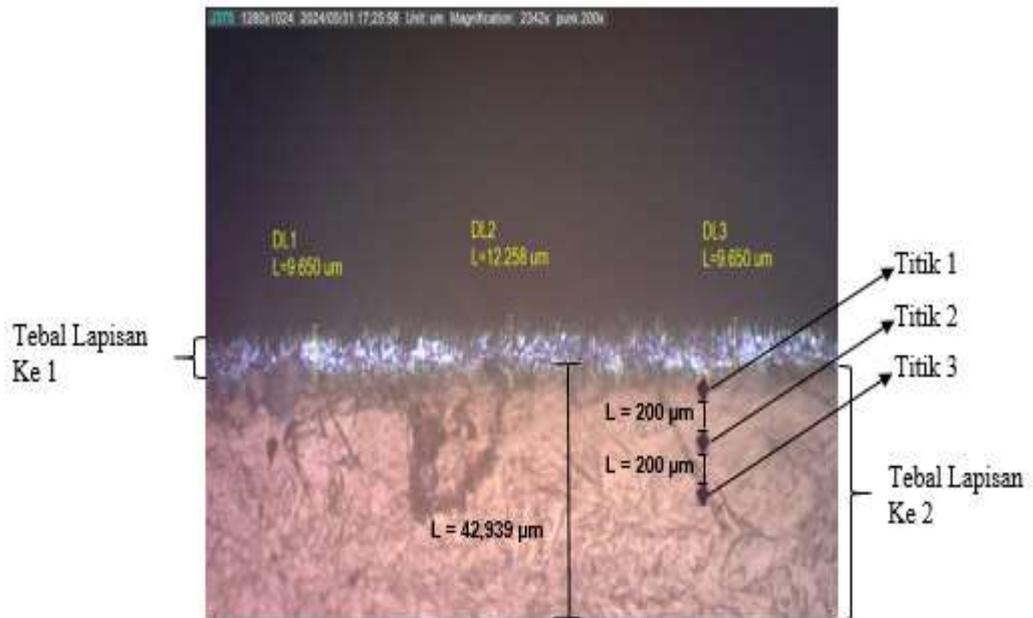
Gambar 1. Struktur Mikro Raw Material

Pada gambar 1 menunjukkan material Baja AISI 1020 dengan temperatur 900° pada raw material. Di ketahui bahwa ketebalan yang di dapat pada saat sebelum perlakuan di ketebalan garis ke 1 4,955 garis ke 2 4,173 dan garis ke 3 4,173 dan untuk ketebalan ke 2 di ketebalan 54,249 dengan jarak titik microvicker masing-masing 200 dalam satuan mikron (μm).

Tabel 1. Data Hasil Ketebalan Lapisan Pada Foto Mikro Baja AISI 1020 Tanpa Perlakuan (Raw Material)

Variasi Aliran (Cm ³ /min)	Nama	Tebal Lapisan (μm)	Tebal Lapisan 2 (μm)
	DL1	4,955	
Raw Material	DL2	4,173	54,249
	DL3	4,173	

Dari tabel di atas dapat di simpulkan bahwa ketebalan Baja AISI 1020 yang di hasilkan dari proses carburizing sampai dengan ketebalan yang paling tebal yakni garis ke 1 dengan ketebalan 4,955 μm dan tebal lapisan ke 2 dengan ketebalan 54, 248 μm



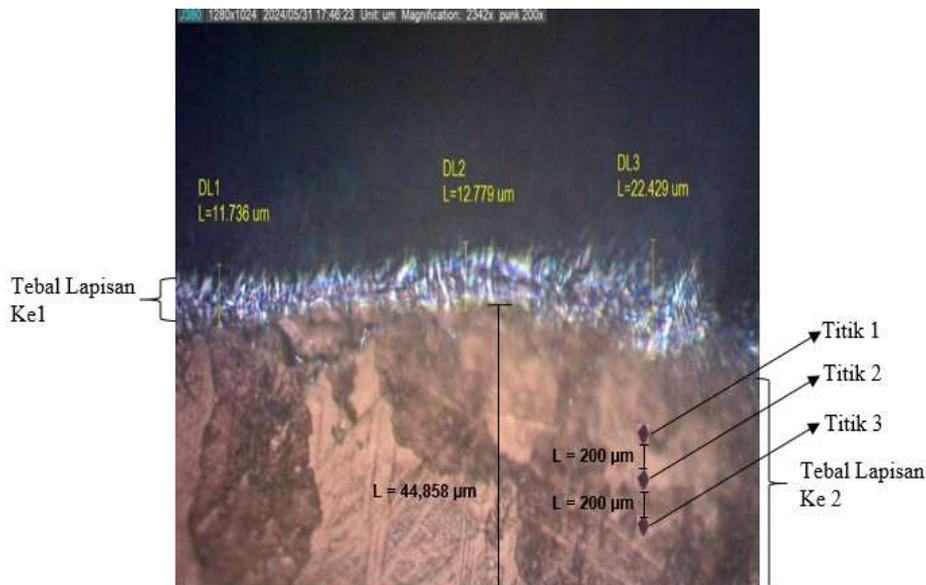
Gambar 2. Struktur Mikro Laju Aliran 20 cm^3/min

Pada gambar 4.2 menunjukkan material Baja AISI 1020 dengan temperatur 900° pada variasi gas aliran 20 cm^3/min . Di ketahui bahwa ketebalan yang di dapat pada saat proses carburizing di ketebalan garis ke 1 9,650 garis ke 2 12,258 dan garis ke 3 9,650 dan untuk ketebalan ke 2 di ketebalan 42,939 dengan jarak titik microvicker masing-masing 200 dalam satuan mikron (μm).

Tabel 2 Data Hasil Ketebalan Lapisan Pada Foto Mikro Baja AISI 1020 Variasi Laju Aliran 20 Cm^3/min

Variasi Aliran (Cm^3/min)	Nama	Tebal Lapisan (μm)	Tebal Lapisan 2 (μm)
Laju Aliran 20	DL1	9,650	
	DL2	12,258	42,939
	DL3	9,650	

Dari tabel di atas dapat di simpulkan bahwa ketebalan Baja AISI 1020 yang di hasilkan dari proses karburising sampai dengan ketebalan yang paling tebal yakni garis ke 2 dengan ketebalan 12,258 μm dan tebal lapisan ke 2 dengan ketebalan 42,939 μm



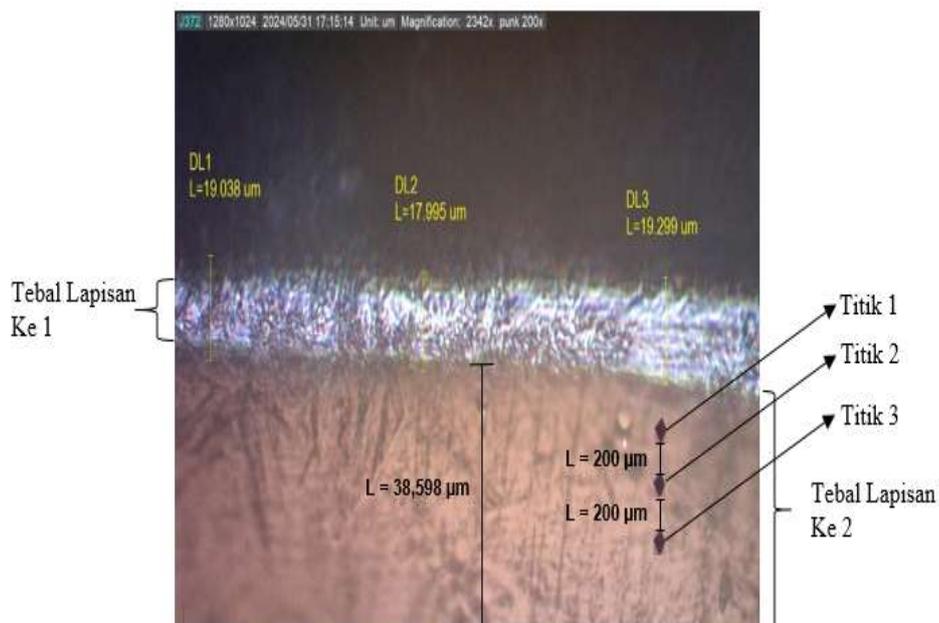
Gambar 3. Struktur mikro laju alir 40 cm³/min

Pada gambar 3 menunjukkan material Baja AISI 1020 dengan temperatur 900° pada variasi gas aliran 40 cm³/min . Di ketahui bahwa ketebalan yang di dapat pada saat proses carburizing di ketebalan garis ke 1 11.736 garis ke 2 12,779 dan garis ke 3 22.429 dan untuk ketebalan ke 2 di ketebalan 44,858 dengan jarak titik microvicker masing-masing 200 dalam satuan mikron (µm).

Tabel 3. Data Hasil Ketebalan Lapisan Pada Foto Mikro Baja AISI 1020 Variasi Laju Aliran 40 Cm³/min

Variasi Aliran (Cm ³ /min)	Nama	Tebal Lapisan 1 (µm)	Tebal Lapisan 2 (µm)
Laju Aliran 40	DL1	11,736	
	DL2	12,776	44,858
	DL3	22,429	

Dari tabel di atas dapat di simpulkan bahwa ketebalan Baja AISI 1020 yang di dihasilkan dari proses carburizing sampai dengan ketebalan yang paling tebal yakni garis ke 3 dengan ketebalan 22.429 µm dan tebal lapisan ke 2 dengan ketebalan 44,958 µm.



Gambar 4. Struktur mikro laju alir 60 cm³/min

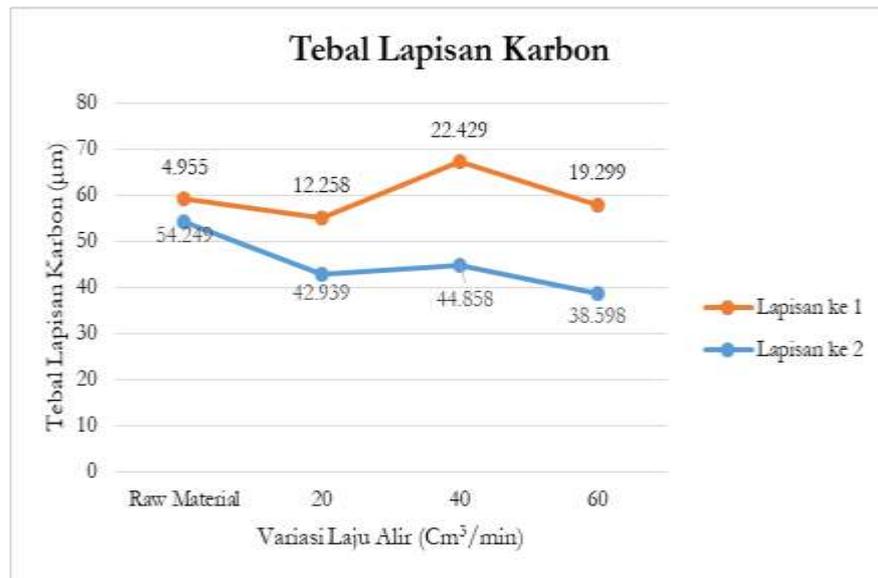
Pada gambar 4 menunjukkan material Baja AISI 1020 dengan temperatur 900° pada variasi gas aliran 60 cm/min . Di ketahui bahwa ketebalan yang di dapat pada saat proses karburising di ketebalan garis ke 1 19,038 garis ke 2 17,995 dan garis ke 3 19, 299 dan untuk ketebalan ke 2 di ketebalan 38,598 dengan jarak titik microvicker masing-masing 200 dalam satuan mikron (μm).

Berdasarkan Gambar 4.1, Gambar 4.2 dan Gambar 4.3, dan 4.4 pada hasil foto optic keempat gambar tersebut diketahui memiliki lapisan luar lapisan ketebalan ke 1 dan lapisan dalam pada ketebalan lapisan 2.

Tabel 4. Data Hasil Ketebalan Lapisan Pada Foto Mikro Baja AISI 1020 Variasi Laju Aliran 60 Cm³/min

Variasi Aliran (Cm ³ /min)	Nama	Tebal Lapisan (μm)	Tebal Lapisan 2 (μm)
Laju Aliran 60	DL1	19,036	
	DL2	17,995	38,598
	DL3	19,299	

Dari tabel di atas dapat di simpulkan bahwa ketebalan Baja AISI 1020 yang di hasilkan dari proses carburizing sampai dengan ketebalan yang paling tebal yakni garis ke 3 dengan ketebalan 19,299 μm dan tebal lapisan ke 2 dengan ketebalan 38,598 μm. Hal ini terjadi selama proses carburizing, karbon akan berdifusi ke dalam permukaan baja, membentuk gradient konsentrasi karbon.



Gambar 5. Grafik Ketebalan Lapisan Karbon

Pada raw material dengan laju aliran gas 20, ketebalan lapisan 1 (permukaan) adalah 12,258 mikron, yang merepresentasikan 22,6% dari total ketebalan. Sementara itu, ketebalan lapisan 2 (bagian dalam) adalah 42,939 mikron, yang merepresentasikan 77,4% dari total ketebalan. Hal ini menunjukkan bahwa pada laju aliran gas yang lebih rendah, konsentrasi karbon lebih tinggi di bagian dalam baja. Ketika laju aliran gas dinaikkan menjadi 40, ketebalan lapisan 1 meningkat menjadi 22,429 mikron, yang merepresentasikan 33,3% dari total ketebalan. Sementara itu, ketebalan lapisan 2 meningkat menjadi 44,858 mikron, yang merepresentasikan 66,7% dari total ketebalan. Peningkatan laju aliran gas pada level ini menunjukkan bahwa konsentrasi karbon semakin merata antara permukaan dan bagian dalam baja. Pada laju aliran gas 60, ketebalan lapisan 1 adalah 19,299 mikron, yang juga merepresentasikan 33,3% dari total ketebalan. Sedangkan ketebalan lapisan 2 adalah 38,598 mikron, yang merepresentasikan 66,7% dari total ketebalan. Meskipun ketebalan lapisan 1 sedikit lebih rendah dibandingkan pada laju aliran gas 40, proporsi antara lapisan 1 dan 2 tetap seimbang. Secara keseluruhan, peningkatan laju aliran gas selama proses carburizing dapat meningkatkan ketebalan lapisan karbon pada permukaan baja, namun dengan proporsi yang semakin seimbang antara lapisan permukaan dan bagian dalam. Hal ini dapat mempengaruhi sifat-sifat material akhir, seperti kekerasan permukaan dan ketangguhan.

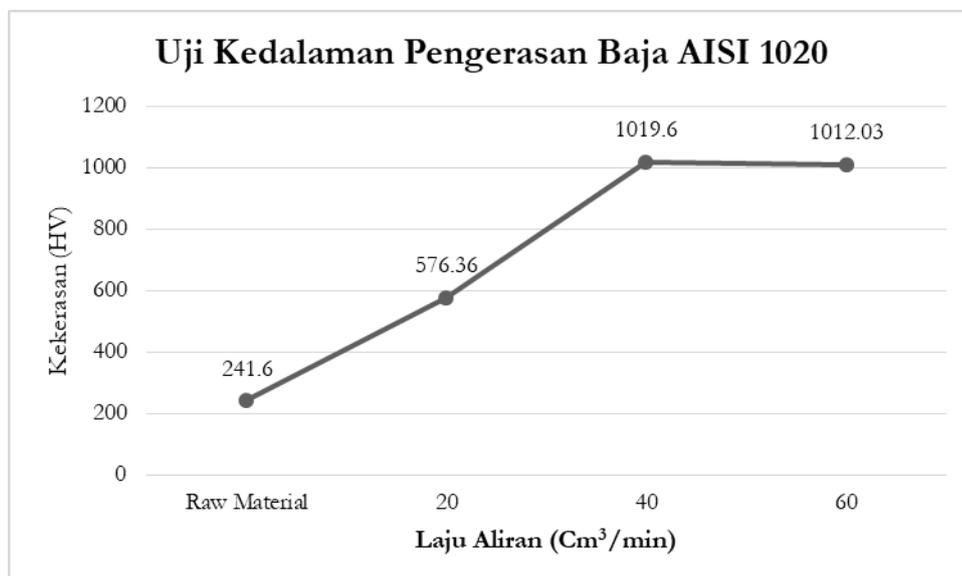
Penelitian yang dilakukan oleh [5] menemukan bahwa peningkatan laju aliran gas karburasi dapat meningkatkan kedalaman penetrasi karbon pada permukaan baja. Di sisi lain, penelitian oleh [6] mengungkapkan bahwa distribusi konsentrasi karbon antara lapisan permukaan dan bagian dalam baja juga dipengaruhi oleh laju aliran gas. Mereka menemukan bahwa pada laju aliran gas yang lebih rendah, konsentrasi karbon cenderung lebih tinggi di bagian dalam baja.

B. Data Hasil Pengujian Kedalaman Pengerasan

Dari proses perlakuan panas carburizing temperatur 900°C dengan laju aliran 20, laju aliran 40, laju aliran 60 pada fluidized bed furnance, maka didapatkan data kedalaman pengerasan yang bertujuan untuk mengetahui nilai kedalaman pengerasan pada spesimen hasil perlakuan panas carburizing. Pada pengujian kekerasan ini menggunakan alat uji micro vikers dengan beban 50 gf dan waktu penekanan selama 6 detik. Data diambil sebanyak 3 titik dengan jarak masing-masing 200µm, untuk mengetahui sejauh mana difusi karbon pada permukaan baja AISI 1020.

Tabel 5. Data Hasil Kedalam Pengerasan Spsimen

Variasi Aliran (Cm ³ /min)	Nilai Kekerasan Baja AISI 1020			Nilai rata-rata kedalaman Pengerasan (HV)
	1020			
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	
Raw Material	225,9	242,3	256,6	241,6
Laju Aliran 20	563,3	613,4	552,4	576,36
Laju Aliran 40	1004	1157,5	897,3	1019,6
Laju Aliran 60	977	1036,1	1023	1012,03



Gambar 6. Grafik Hasil Uji Kedalaman Pengerasan

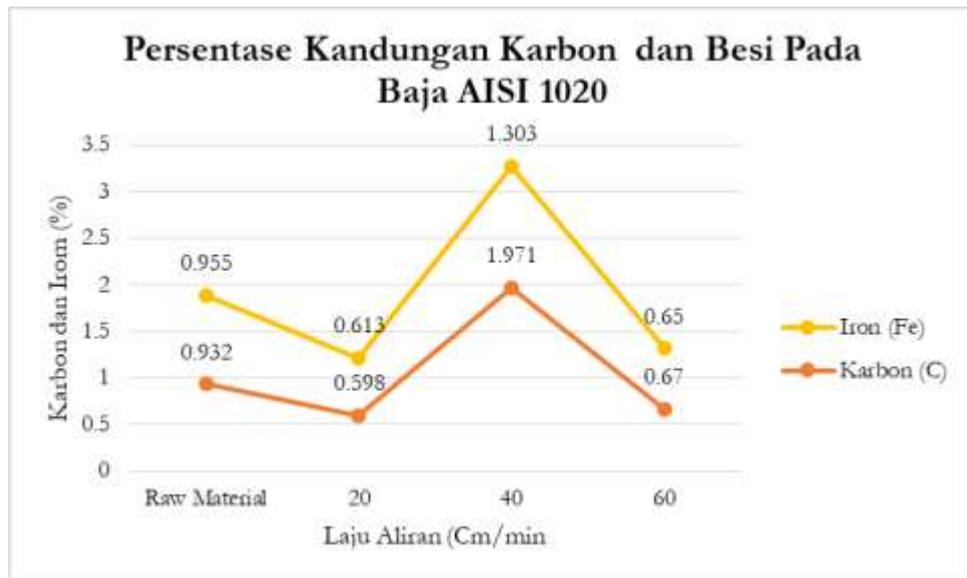
Pada gambar grafik kekerasan diatas, dapat dihitung bahwa kenaikan nilai rata-rata kekerasan aw material awal memiliki kekerasan 241,6 HV. Nilai kekerasan ini menunjukkan bahwa baja belum cukup keras dan masih memerlukan proses pengerasan lebih lanjut. Setelah melalui proses karburasi dengan laju aliran gas cm^3/min , kekerasan spesimen meningkat menjadi 376,36 HV, atau naik sebesar 55,8% dari kekerasan raw material. Peningkatan ini menunjukkan bahwa proses karburasi pada laju aliran rendah telah mampu menambahkan unsur karbon ke dalam permukaan baja, sehingga meningkatkan kekerasannya. Ketika laju aliran gas ditingkatkan menjadi 40 cm^3/min , kekerasan spesimen yang dikarburasi mencapai 1019,6 HV. Nilai ini merupakan peningkatan yang sangat signifikan, yaitu sebesar 322,3% dari kekerasan raw material. Hal ini menunjukkan bahwa laju aliran gas 40 cm^3/min merupakan kondisi yang paling optimal untuk menghasilkan pengerasan permukaan yang efektif melalui proses karburasi. Pada laju aliran gas 60 cm^3/min , kekerasan spesimen yang dikarburasi sedikit menurun menjadi 1012,03 HV, meskipun masih tergolong sangat keras. Penurunan kekerasan ini mengindikasikan bahwa peningkatan laju aliran gas lebih lanjut tidak memberikan tambahan manfaat yang signifikan. Persentase peningkatan kekerasannya masih sangat tinggi, yaitu 319,1% dari raw material.

Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa proses karburasi pada laju aliran gas 40 cm^3/min menghasilkan peningkatan kekerasan permukaan yang paling optimal. Rentang laju aliran gas antara 40-60 cm^3/min merupakan kondisi yang paling efektif untuk meningkatkan sifat kekerasan permukaan baja melalui proses karburasi.

Dalam sebuah penelitian yang dilakukan oleh [7], raw material baja memiliki kekerasan awal 220 HV. Setelah proses karburasi pada suhu 920°C selama 5 jam, kekerasan permukaannya meningkat menjadi 680 HV, atau naik sekitar 209% dari raw material. Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh [8] menggunakan raw material dengan kekerasan awal 210 HV. Proses karburasi pada suhu 930°C selama 5 jam menghasilkan kekerasan permukaan 840 HV, atau meningkat sekitar 300% dari raw material.

C. Data Hasil Pengujian SEM-EDX

Dari proses perlakuan panas carburizing temperatur 900°C dengan laju aliran 20 cm^3/min , laju aliran 40 cm^3/min , laju aliran 60 cm^3/min pada fluidized bed furnace, maka didapatkan data SEM-EDX yang tujuan untuk mengetahui struktur mikro dan unsur kandungan pada spesimen dengan menggunakan metode pengujian SEM-EDX.



Gambar 7. Grafik Hubungan Harga Impact Terhadap Variasi Layer Komposit

Dari grafik diatas hasil pengamatan SEM-EDX hasil kandungan karbon pada hasil proses carburizing dengan temperature 900°C dan Pada laju aliran gas 20 cm³/min, terjadi penurunan kandungan karbon sebesar 33,4% dan penurunan kandungan besi sebesar 34,2% dibandingkan dengan raw material. Hal ini menunjukkan bahwa pada laju aliran gas yang rendah, proses penetrasi karbon dan besi ke dalam permukaan baja tidak optimal. Namun, ketika laju aliran gas ditingkatkan menjadi 40 cm³/min, terjadi peningkatan yang signifikan pada kandungan karbon sebesar 103,9% dan peningkatan kandungan besi sebesar 34,8% dari raw material. Peningkatan laju aliran gas ternyata dapat meningkatkan kedalaman penetrasi karbon dan besi ke dalam permukaan baja. Pada laju aliran gas 60 cm³/min, kandungan karbon kembali menurun sebesar 26,2% dan kandungan besi menurun sebesar 30,5% dari raw material. Meskipun masih lebih tinggi dibandingkan laju aliran gas 20 cm³/min, namun peningkatan laju aliran gas lebih lanjut tidak memberikan hasil yang optimal.

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa laju aliran gas 40 cm³/min memberikan peningkatan kandungan karbon dan besi yang paling signifikan dibandingkan dengan variasi laju aliran gas lainnya. Hal ini mungkin disebabkan oleh adanya titik optimal di mana peningkatan laju aliran gas dapat memaksimalkan penetrasi karbon dan besi ke dalam permukaan baja selama proses karburasi.

Pada penelitian [9] mengenai pengaruh laju aliran gas terhadap proses karbuasi baja menemukan titik optimal pada 45 cm³/min. Meskipun terdapat sedikit perbedaan dalam nilai persentase peningkatan, namun yang serupa menunjukkan bahwa ada titik optimal laju aliran gas di mana proses karburasi dapat berjalan paling efektif..

4 Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada proses carburizing dengan specimen uji baja AISI 1020 dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh media limbah pada proses *carburizing* meningkatkan kedalaman lapisan kekerasan permukaan baja AISI 1020 dengan variasi laju aliran 40 cm³/min merupakan kondisi paling optimal untuk menghasilkan pengerasan permukaan baja AISI 1020.

2. Pengaruh media limbah pada proses *carburizing* meningkatkan tingkat ketebalan baja AISI 1020 dengan variasi 40 cm³/min ini menunjukkan konsentrasi karbon semakin merata antara permukaan dan bagian dalam baja AISI 1020.
3. Pengaruh media limbah pada proses carburizing terhadap kandungan karbon dan besi pada baja AISI 1020 dengan variasi 40 peningkatan signifikan pada kandungan karbon sebesar 103,9% dan peningkatan kandungan besi sebesar 34,8% dari raw material.

5 Ucapan Terima Kasih

Saya menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada kedua orang tua dan keluarga besar saya atas dukungan doa dan biaya yang terus-menerus diberikan, yang memungkinkan penelitian ini selesai. Saya juga menghargai usaha, tenaga, dan waktu yang saya curahkan sendiri, serta teman-teman terdekat yang selalu memberikan motivasi dan saran berharga.

6 Referensi

- [1] Almafudin, A. (2023). Karakterisasi Proses Karburisasi Baja Aisi 1020 Menggunakan Limbah Serbuk Fotokopi Dan Arang Batok Kelapa Pada Temperatur 800°C Terhadap Laju Aliran Gas (Doctoral Dissertation, Itn Malang).
- [2] Dong, H., Qin, Y., Li, X., Zhang, C., & Guo, Z. (2019). Influence of gas flow rate on the carbon distribution and microstructure of AISI 8620 steel during gas carburizing. *Surface and Coatings Technology*, 357, 946-953.
- [3] Nasution, M. N. (2020). Analisak Ekerasan Dan Struktur Mikro Baja Aisi 1020 Terhadap Perlakuan *Carburizing* Dengan Arang Batok Kelapa. *Buletin Utama Teknik*, 15(2), 165–173.
- [4] Rizki, M. A., Razi, M., & BUKHARI, B. (2022). pengaruh proses pack *carburizing* dengan variasi temperatur dan karbon aktif terhadap kekerasan permukaan baja aisi 1020. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 6(2), 63-67.
- [5] Rukmana, I., Ariani, F., Sabri, M., & Isranuri, I. (2015). Pengaruh Struktur Mikro terhadap Sifat Mekanis Baja Stainless Steel M303 Extra untuk Bahan Mata Pisau Pemanen Sawit. *DINAMIS*, 3(3), 12-12.
- [6] Sunardi, J., Widodo, A., & Subagio, B. (2021). Effect of gas flow rate on the carburizing process of steel. *Materials Science and Engineering: A*, 805, 140713.
- [7] Tanaka, M., Shishido, C., & Kawada, H. (2006, March). Influence of electron incident angle distribution on CD-SEM linewidth measurements. In *Metrology, Inspection, and Process Control for Microlithography XX* (Vol. 6152, pp. 1289-1299). SPIE.
- [8] Wahyudi, S. (2022). Analisis Proses Surface Hardening Dengan Metode *Carburizing* Terhadap Kekerasan, Kedalaman kekerasan, dan komposisi Baja ASTM A36 (Doctoral dissertation, ITN MALANG).
- [9] Wardani, Prita Yustisia. Sintesis dan karakterisasi tinta serbuk (Toner) berbahan baku pasir besi. Diss. Universitas Negeri Malang, 2013.
- [10] Yusuf, A., Alijrih, F. A., Sabri, A. A., Gibran, S. O., Febriansyah, M. N., Andrian, S. H., & Biworo, M. (2024). Pengaruh Waktu Dalam Proses Elektroplating Dengan Pelapisan Kuningan Terhadap Ketebalan Dan Ketahanan Baja Karbon. *Tektonik: Jurnal Ilmu Teknik*, 1(4), 193-199.
- [11] Zamzami, P. (2017). Pengaruh Peran Gas Nitrogen Pada Proses Nitridasi Gas Menggunakan Dapur Flu Ized Bed Pada Baja Karbon Rendah.

- [12] Zhao, M., Bao, Y., Zhang, D., Zhang, J., & Wang, L. (2017). Effect of gas flow rate on the carbon diffusion and distribution in low-alloy steel during gas carburizing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92(5), 2859-2866.