

## KARAKTERISASI PROSES KARBURISASI PADA BAJA AISI 4140 TERHADAP LAJU ALIRAN GAS DENGAN TEMPERATUR 800°C DENGAN VARIASI MEDIA KARBURISASI

Dhaifan Firdausi Razan<sup>1</sup>, I Komang Astana Widi<sup>2</sup>, Rosadilla Febritasari<sup>3</sup>  
Program Studi Teknik Mesin S-1, Institut Teknologi Nasional Malang, Kota Malang, Indonesia  
Email: [dhaif.daus@gmail.com](mailto:dhaif.daus@gmail.com)

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari media *carburizing* terhadap kekerasan, keausan, dan struktur mikro baja AISI 4140. Fokus penelitian ini adalah pada variasi media *carburizing* yang digunakan, yaitu arang batok kelapa+limbah toner *fotocopy*, arang batok kelapa+toner *fotocopy* baru, dan pasir alumina. Proses *carburizing* dilakukan dengan menggunakan aliran gas dalam sebuah pengujian laboratorium eksperimental. Baja AISI 4140 dibentuk menjadi spesimen untuk menguji tingkat kekerasan, keausan, dan struktur mikro. Spesimen dibuat dalam dua kondisi, yaitu kondisi sebagai bahan mentah (tanpa perlakuan karburizing) dan kondisi yang telah mengalami proses *carburizing*. Proses *carburizing* dilakukan dengan memanaskan spesimen uji dalam *fluidized bed furnace* pada suhu 800°C dengan menggunakan berbagai media *carburizing* yang telah disebutkan sebelumnya. Setelah 60 menit, spesimen diberi perlakuan *quenching* dengan cara dicelupkan ke dalam air sampai mencapai suhu kamar. Selanjutnya, spesimen yang telah mengalami proses *carburizing* dan *quenching* diuji untuk mengetahui tingkat kekerasan, keausan, dan struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan media *carburizing* berpengaruh pada peningkatan kekerasan dan tingkat keausan. Kekerasan rata-rata tertinggi 810,33 HV diperoleh pada penggunaan media arang batok kelapa+toner *fotocopy* baru, dan laju keausan tertinggi 0,0012 mm<sup>3</sup>/min juga terjadi pada penggunaan media pasir alumina. Proses *carburizing* menyebabkan peningkatan kandungan karbon dalam baja, yang berkontribusi pada pembentukan lapisan karbon di permukaan material tersebut.

**Kata Kunci :** *Carburizing*, Baja Paduan Rendah AISI 4140, Variasi Media *Carburizing*, Pengujian Kekerasan, Pengujian Keausan, SEM-EDX

### PENDAHULUAN

Peningkatan produksi manufaktur saat ini semakin canggih sejalan dengan kemajuan zaman dan teknologi. Kemajuan pesat dalam ilmu pengetahuan dan teknologi memungkinkan industri-industri untuk menghasilkan produk baru yang lebih inovatif, yang pada gilirannya mendorong kemunculan penemuan baru dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi.

Industri-industri di sekitar kita tidak dapat dipisahkan dari penggunaan logam, terutama baja, yang jelas terlihat dari banyaknya penggunaan baja dalam berbagai sektor industri. Logam memiliki sifat yang sangat berharga dalam industri karena keuletannya serta kemampuannya sebagai konduktor baik untuk listrik maupun panas. Dalam perkembangan teknologi yang pesat, pemanfaatan logam tetap menjadi kebutuhan yang sangat penting. Hingga saat ini, belum ada pengganti logam sebagai komponen utama dalam rekayasa industri dan teknologi.

Baja adalah sejenis logam paduan yang terdiri dari besi sebagai unsur utama dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 2,1% berdasarkan tingkatannya. Karbon berfungsi sebagai unsur penguat dalam baja dengan cara mencegah dislokasi bergeser pada struktur kristal atom besi. Selain karbon, biasanya logam paduan baja juga ditambahkan dengan unsur lain seperti mangan, krom, vanadium, dan tungsten. Kandungan unsur-unsur ini secara signifikan mempengaruhi sifat-sifat mekanik baja. Namun, dalam beberapa kasus, sifat-sifat yang diinginkan dalam pemanfaatan baja mungkin tidak tercapai secara optimal. Oleh karena itu, salah satu metode yang dapat digunakan untuk mencapai sifat-sifat yang diinginkan adalah dengan menggunakan *heat treatment*.

Perlakuan panas adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengubah karakteristik suatu bahan, dan merupakan metode yang relatif sederhana dan efisien. Dengan metode ini, sifat mekanik dari bahan, seperti kekerasan, keuletan, dan ketangguhan, dapat dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan pada logam. Salah satu metode dalam perlakuan panas yang termasuk di dalamnya adalah proses karburisasi

*Carburizing* merupakan sebuah metode di mana kandungan karbon (C) ditambahkan pada permukaan baja dengan memanaskan baja pada suhu austenit. Tujuan dari proses *carburizing* adalah untuk meningkatkan ketahanan aus dan karakteristik kelelahan dengan meningkatkan kekerasan permukaan logam. Untuk melakukan proses *carburizing* ini, digunakanlah alat *fluidized bed furnace*, yang merupakan sebuah teknologi yang memanfaatkan perlakuan termokimia gas untuk menghasilkan kekerasan pada permukaan baja.

#### TINJAUAN PUSTAKA

##### A. Toner *Fotocopy*

Toner ialah serbuk yang dimanfaatkan dalam perangkat fotokopi dan printer laser. Pada intinya, komposisi toner terdiri dari serbuk karbon, walaupun karbon ini biasanya dicampurkan dengan bahan tambahan seperti styrene acrylic copolymer, styrene copolymer, styrene polymer, hydrocarbon resin, atau substansi lainnya untuk meningkatkan mutu hasil cetakan serta perekatan pada kertas. Menggunakan toner dengan ukuran partikel yang lebih kecil akan menghasilkan hasil cetak yang lebih unggul, lantaran memberikan ketajaman yang optimal.

##### B. *Fluidized Bed Furnance*

*Fluidized Bed Furnance* digunakan dalam proses termokimia gas seperti *carburizing*, *nitriding*, *carbonitriding*, *annealing*, dan *normalizing*. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kekerasan permukaan pada benda uji. Furnace ini memiliki bentuk silinder atau persegi dengan kisi logam atau plat beton serta katup untuk menghasilkan aliran udara atau distribusi gas ke dalam ruang pembakaran. Distribusi gas ini merata di seluruh area tungku dengan efisiensi tinggi, yang muncul dari transfer panas yang baik. Diameter partikel dalam media transfer panas memengaruhi kinerjanya, di mana semakin kecil diameter, semakin baik kinerjanya. Namun, ukuran yang terlalu kecil dari yang ditentukan dapat menyebabkan masalah.

##### C. Uji Kekerasan *Microvikers*

Prinsip pokok pengujian *Microvickers* mirip dengan metode uji *Brinell*, tetapi terdapat perbedaan dalam penggunaan indenter berbentuk piramida dengan alas persegi yang dibuat dari intan. Sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan pada indenter ini adalah 136 derajat. Pengukuran diagonal pada segi empat memberikan akurasi yang lebih tinggi dibandingkan pengukuran pada lingkaran.

##### D. Uji keausan *Pin On Disc*

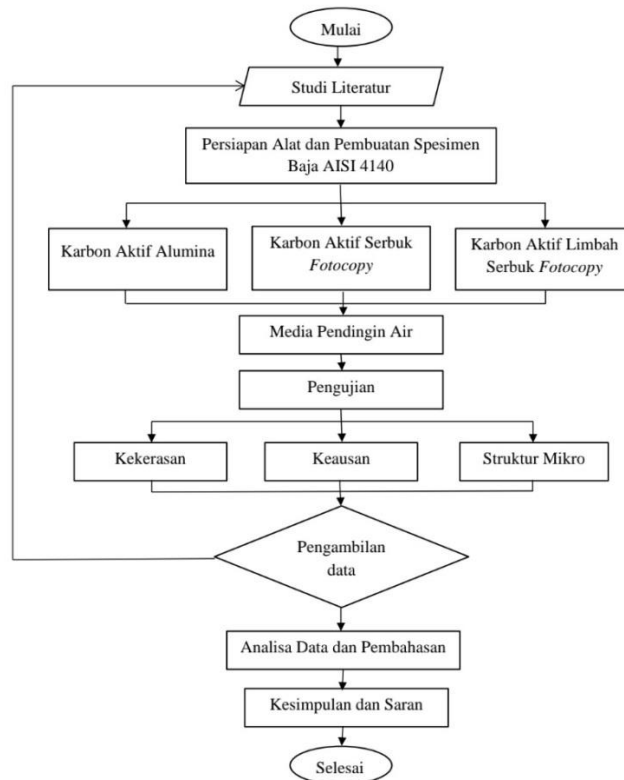
Uji keausan metode "pin on disc" dilakukan untuk menilai seberapa cepat material benda uji mengalami keausan. Proses ini melibatkan perbandingan antara laju keausan pada bahan mentah dan bahan yang telah mengalami perlakuan tertentu.

##### E. Uji SEM-EDX

Uji SEM-EDX digunakan untuk menganalisis dan memahami struktur permukaan dan komposisi kimia dari sampel atau bahan tertentu. Metode ini melibatkan penggunaan mikroskop SEM untuk menghasilkan gambar permukaan sampel dengan resolusi tinggi dan EDX untuk menganalisis elemen-elemen kimia yang hadir dalam sampel tersebut.

METODE PENELITIAN

A. Diagram Alir



Gambar. 1. Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini, dilakukan penggunaan mesin Fluidized Bed Furnace sebagai alat untuk melakukan karburisasi pada sampel. Karburisasi dilakukan dengan mengalirkan gas ke dalam tungku pada laju aliran 20 mm<sup>3</sup>/min pada suhu 800°C. Terdapat variasi dalam penelitian ini, yaitu dalam penggunaan media karburisasi. Media yang digunakan adalah campuran arang batok kelapa dengan limbah toner fotokopi, campuran arang batok kelapa dengan toner fotokopi baru, dan juga media pasir alumina. Waktu penahanan (holding time) selama karburisasi adalah selama 60 menit, setelah itu diikuti dengan proses quenching menggunakan air. Setelah sampel diberi perlakuan, dilakukan serangkaian pengujian. Pengujian melibatkan beberapa tahapan, di antaranya pengujian kekerasan untuk mengetahui tingkat kekerasan bahan dengan satuan HV. Selain itu, dilakukan pengujian keausan untuk mengukur laju keausan bahan menggunakan mesin Pin On Disc. Selanjutnya, dilakukan pengujian SEM-EDX untuk menganalisis komposisi dan lapisan karburisasi pada bahan.

B. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam rentang waktu dari bulan Maret 2023 hingga Juni 2023. Proses pembuatan sampel dilakukan di bengkel bubut 29, yang berlokasi di Tasikmadu, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang dan juga dilakukan di berbagai tempat, termasuk Laboratorium Manufaktur, Program Studi Teknik Mesin S1, Institut Teknologi Nasional Malang. Proses karburisasi, pengambilan data, serta pengujian keausan dan pengambilan data dilaksanakan di Laboratorium Material Teknik Mesin S1, Institut Teknologi Nasional Malang. Pengujian dan pengambilan data mengenai kekerasan sampel dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan, Politeknik Negeri Malang. Sedangkan pengujian dan pengambilan data menggunakan teknik SEM-EDX dilakukan di Laboratorium Biosains, Universitas Brawijaya.

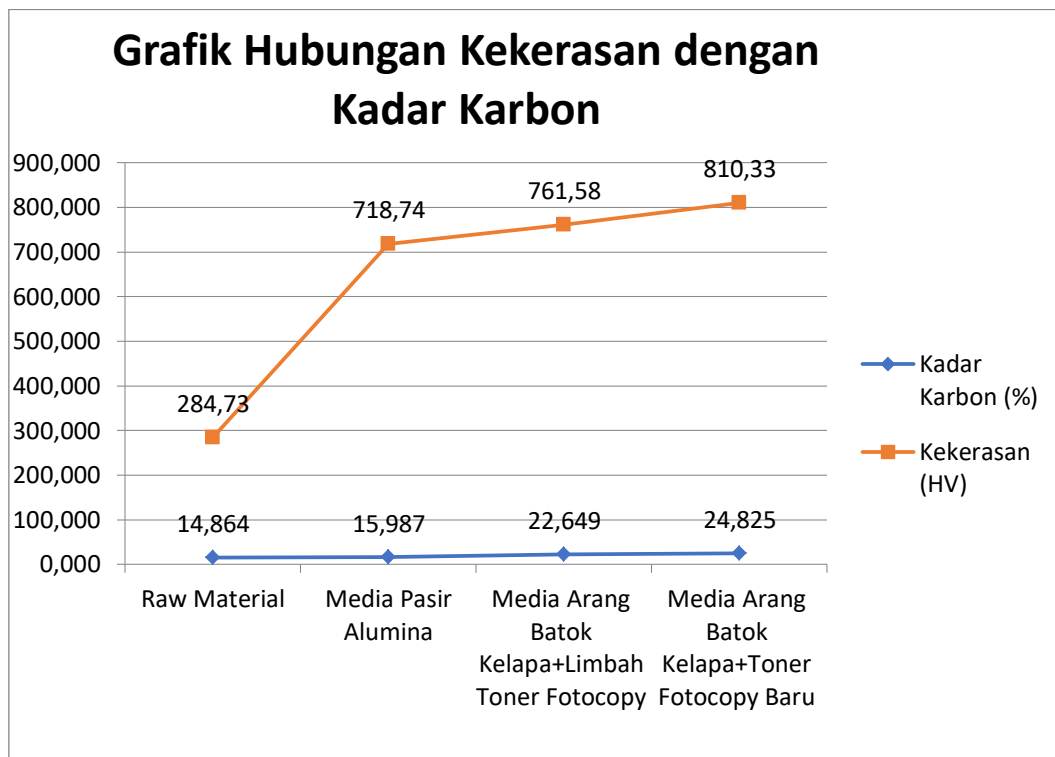
## HASIL DAN PEMBAHASAN

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

Dengan hasil pengujian kekerasan *Microvikers* pada raw material dan spesimen setelah proses karburisasi dengan laju alir 20 mm<sup>3</sup>/min dengan variasi media campuran arang batok kelapa dengan limbah toner fotokopi, campuran arang batok kelapa dengan toner fotokopi baru, dan juga media pasir alumina. Didapatkan data sebagai berikut :

Tabel Hasil Pengujian Kekerasan *Microvikers*

Variasi Media Karburisasi	Spesimen	Titik Pengujian			Nilai Rata-rata (HV)
		Titik A	Titik B	Titik C	
Raw Material	1	306,7	287,9	279,6	284,73
Media Arang batok kelapa+Toner Fotocopy	1	634,3	649,8	666,2	650,10
	2	695,8	650,8	750,9	699,17
	3	744,2	843,7	833	806,97
Rata-rata					718,74
Media Arang batok kelapa+Limbah serbuk Fotocopy	1	754,2	687,4	656,6	699,40
	2	771,8	767,9	733	757,57
	3	854,6	830	807,9	827,40
Rata-rata					761,58
Media Pasir Alumina	1	811,7	789,1	749,4	787,40
	2	965,3	781,9	704,4	817,20
	3	849,5	844,9	796,8	830,40
Rata-rata					810,33



Grafik Hubungan Kadar Karbon dengan Kekerasan

Dari keseluruhan data pada Tabel diperoleh nilai kekerasan rata-rata pada material baja AISI 4140 bila dihubungkan dengan kadar karbon yang di tampilkan dalam Gambar di atas. Nampak pada grafik bahwa nilai kekerasan dan kadar karbon pada Baja AISI 4140 meningkat seiring dengan pergantian media *carburizing* pada proses *carburizing*.

Nilai kekerasan raw material meningkat sebesar 368,11 HV setelah mengalami proses karburisasi pada media pasir alumina. Terjadi peningkatan nilai kekerasan juga sebesar 42,84 HV pada media arang batok

Karakterisasi Proses Karburisasi Pada Baja Aisi 4140 Terhadap Laju Aliran Gas Dengan Temperatur 800°C Dengan Variasi Media Karburisasi

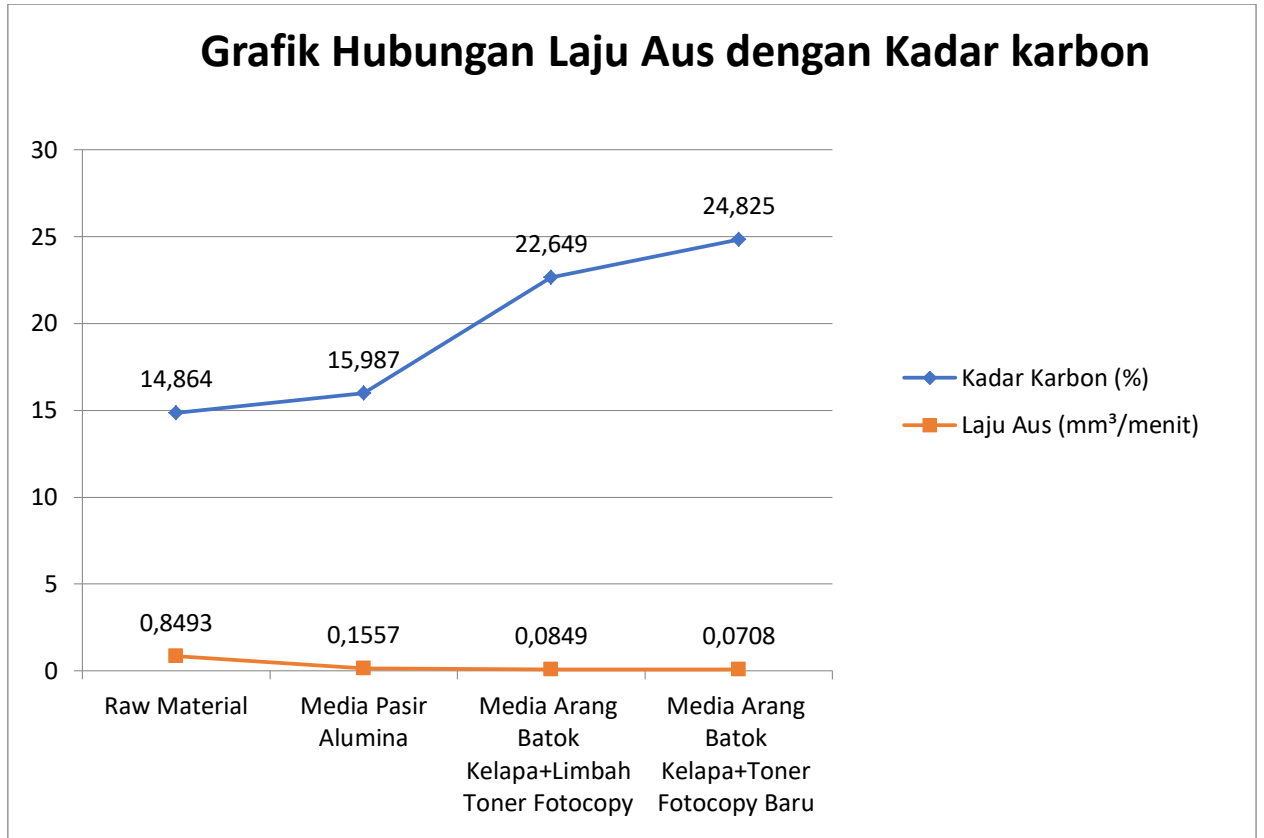
kelapa+limbah toner *fotocopy* jika dibandingkan dengan nilai kekerasan media pasir alumina, namun bila dibandingkan dengan raw material, terjadi peningkatan nilai kekerasan sebesar 410,95 HV. Terakhir, terjadi peningkatan nilai kekerasan sebesar 48,75 HV pada media arang batok kelapa+toner *fotocopy* baru dibandingkan dengan nilai kekerasan media arang batok kelapa+limbah toner *fotocopy*, namun bila dibandingkan dengan raw material terjadi peningkatan nilai kekerasan sebesar 459,70 HV.

B. Pengolahan Data dan Pembahasan Hasil Pengujian Keausan *Pin On Disc*

Dengan hasil pengujian kekerasan *Microvikers* pada raw material dan spesimen setelah proses karburisasi dengan laju alir 20 mm<sup>3</sup>/min dengan variasi media campuran arang batok kelapa dengan limbah toner fotokopi, campuran arang batok kelapa dengan toner fotokopi baru, dan juga media pasir alumina. Didapatkan data sebagai berikut :

Tabel Hasil Pengujian Keausan

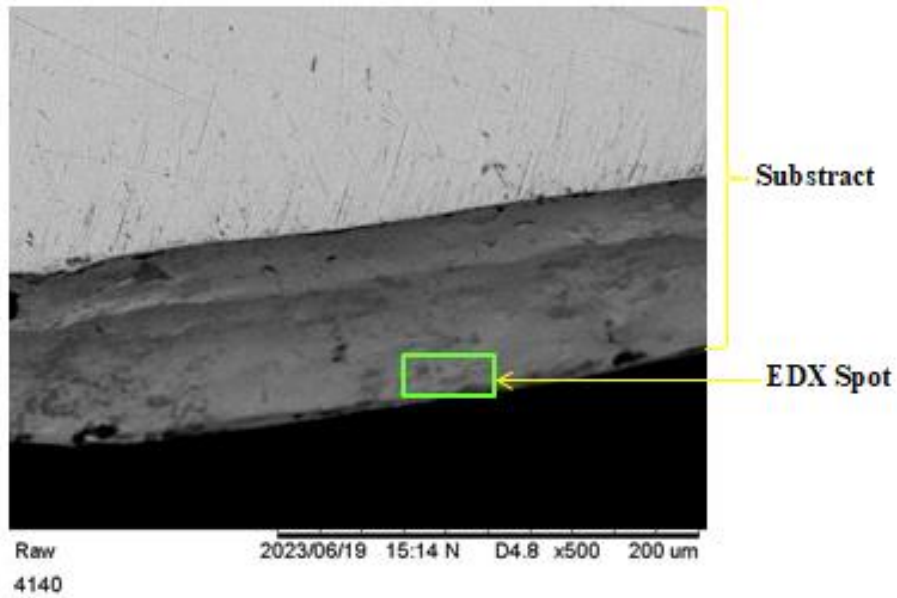
Variasi Media Karburisasi	Spesimen	Berat Awal (Gram)	Berat Akhir (Gram)	Berat yang Hilang (Gram)	Volume Berat yang Hilang (mm <sup>3</sup> )	Laju Aus (mm <sup>3</sup> /menit)
Raw Material	1	197,74	197,34	0,4	50,955	0,8493
Media Arang batok kelapa+Toner Fotocopy Baru	1	212,85	212,82	0,03	3,822	0,0637
	2	198,04	197,87	0,17	21,656	0,3609
	3	204,01	203,99	0,02	2,548	0,0425
Rata-rata				0,073	9,342	0,1557
Media Arang batok kelapa+Limbah Serbuk Fotocopy	1	203,39	203,38	0,01	1,274	0,0212
	2	199,98	199,96	0,02	2,548	0,0425
	3	197,50	197,41	0,09	11,465	0,1911
Rata-rata				0,04	5,096	0,0849
Media Pasir Alumina	1	199,39	199,33	0,06	7,643	0,1274
	2	201,59	201,57	0,02	2,548	0,0425
	3	202,59	202,57	0,02	2,548	0,0425
Rata-rata				0,033	4,246	0,0708



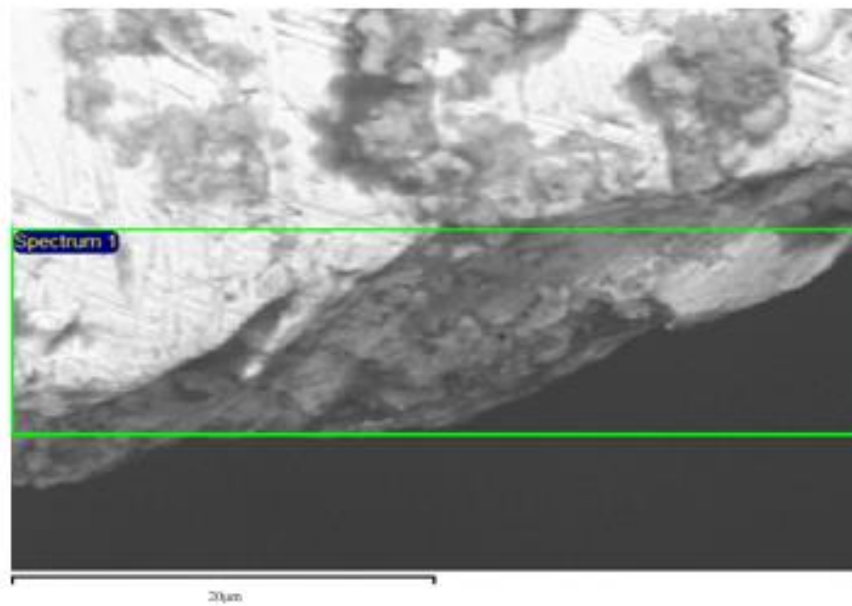
Grafik Hubungan Kadar Karbon dengan Laju Aus

Dari data hasil pengujian keausan didapat grafik rata-rata untuk berat yang hilang, laju aus, dan volume berat yang hilang. Gambar grafik merupakan grafik hubungan laju keausan terhadap kadar karbon. Dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai rata-rata laju keausan pada proses pengujian keausan. Nilai laju aus *raw material* turun sebesar 6,936 mm<sup>3</sup>/menit setelah mengalami proses karburisasi pada media Pasir Alumina. Terjadi penurunan nilai laju aus juga sebesar 0,708 mm<sup>3</sup>/menit pada media arang batok kelapa+limbah toner *fotocopy* baru jika dibandingkan dengan nilai laju aus pada media pasir alumina, namun bila dibandingkan dengan raw material, terjadi penurunan nilai laju aus sebesar 7,644 mm<sup>3</sup>/menit. Terakhir, terjadi penurunan nilai laju aus sebesar 0,141 mm<sup>3</sup>/menit pada media arang batok kelapa+toner *fotocopy* baru jika dibandingkan dengan nilai laju aus pada media arang batok kelapa+limbah toner *fotocopy*, namun bila dibandingkan dengan *raw material* terjadi peningkatan nilai laju aus sebesar 7,785 mm<sup>3</sup>/menit.

C. Pengolahan Data dan Pembahasan Hasil Pengujian SEM-EDX



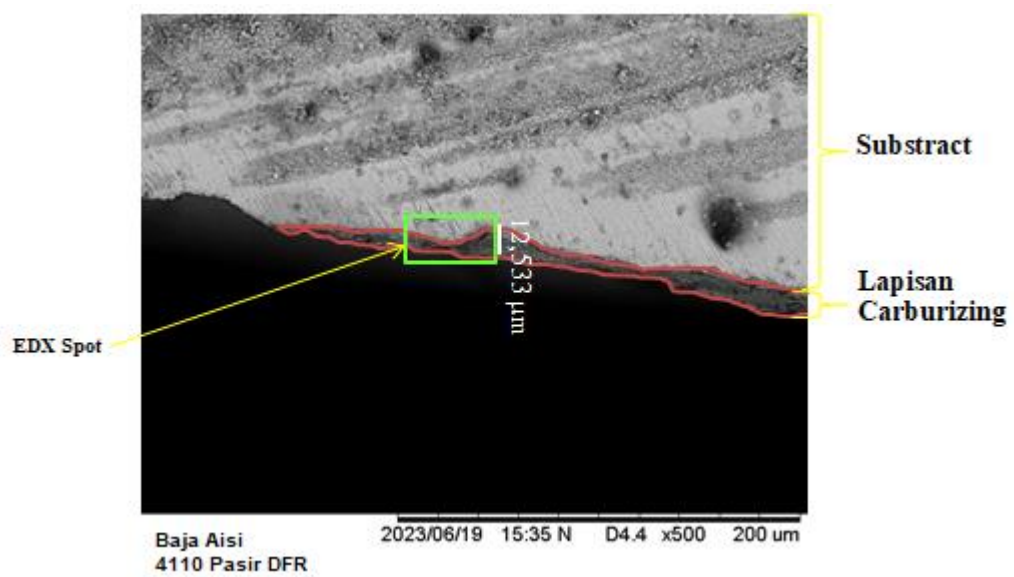
Gambar SEM Raw Material



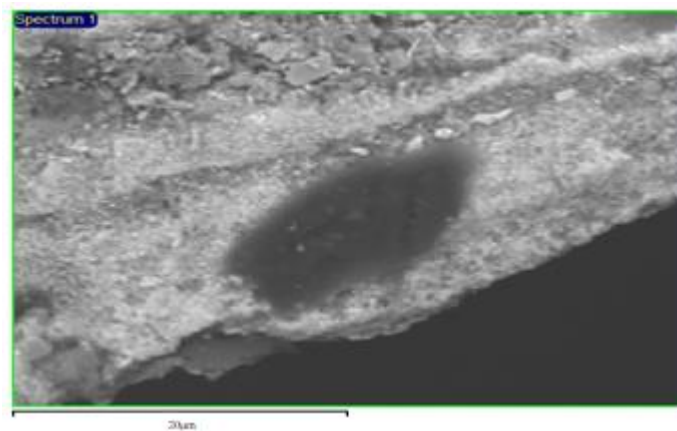
Gambar EDX Spot Raw Material

Tabel Komposisi Raw Material

Element	Weight %	Weight % $\sigma$	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



Gambar SEM Media Pasir Alumina

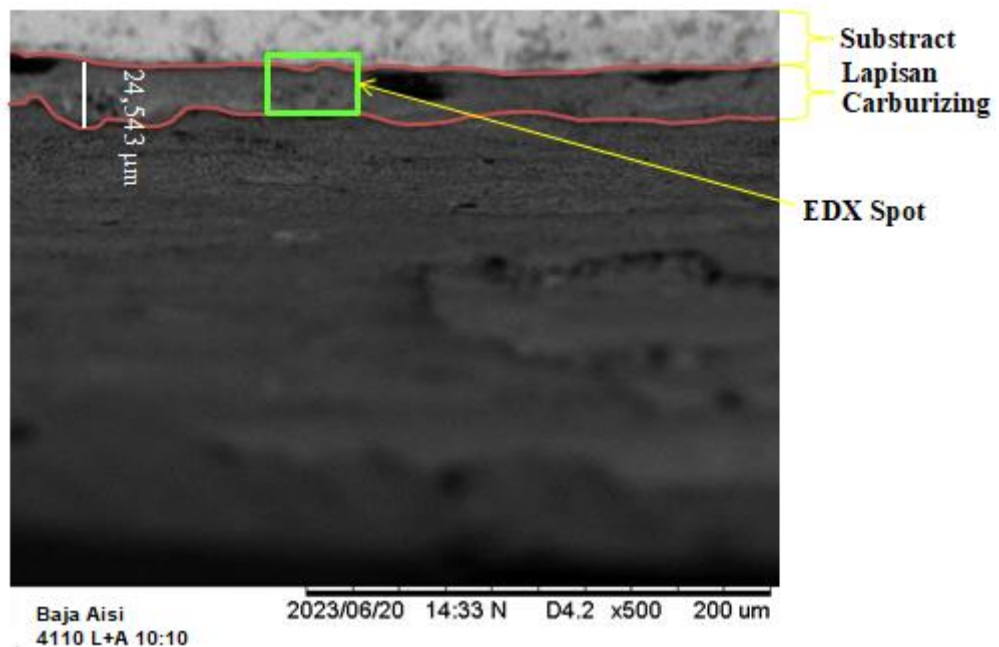


Gambar EDX Spot Media Pasir Alumina

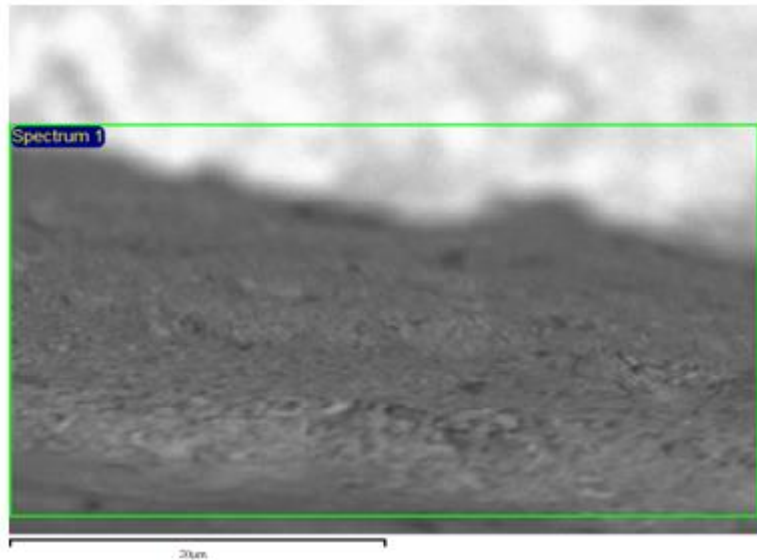


Tabel Komposisi Media Pasir Alumina

Element	Weight %	Weight % $\sigma$	Atomic %
Carbon	15.987	0.365	35.979
Oxygen	18.435	0.324	31.147
Magnesium	0.331	0.062	0.368
Silicon	1.630	0.062	1.569
Calcium	0.419	0.051	0.283
Chromium	1.693	0.090	0.880
Manganese	0.470	0.107	0.231
Iron	61.034	0.391	29.542



Gambar SEM Media Arang Batok Kelapa+Limbah Toner Fotocopy

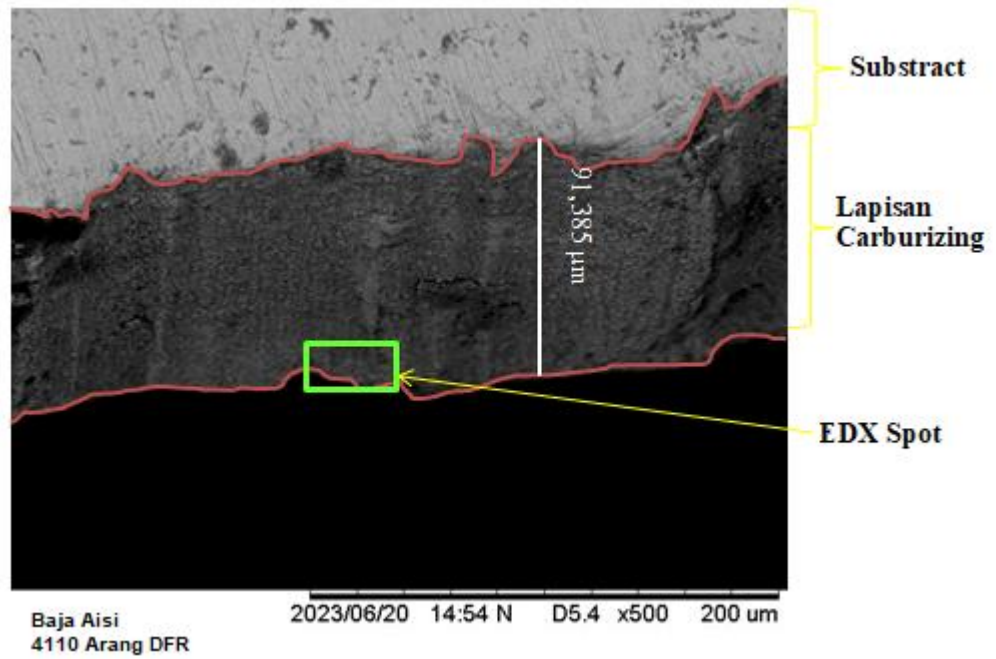


Gambar EDX Spot Media Arang Batok Kelapa+Limbah Toner Fotocopy

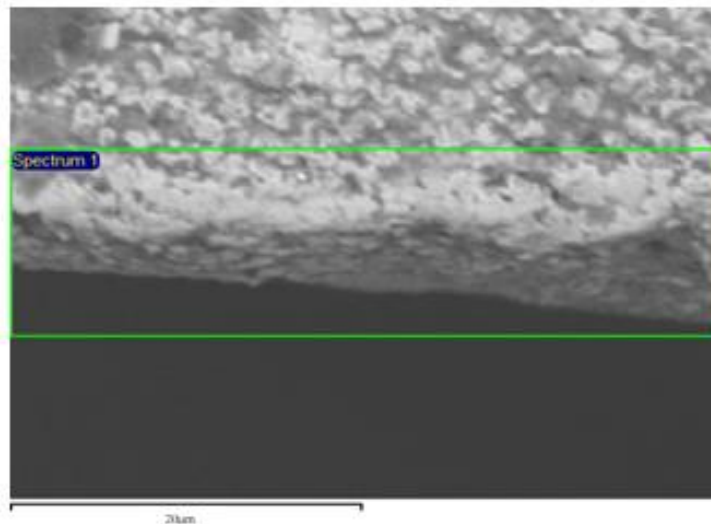
Tabel Komposisi Media Arang Batok Kelapa+Limbah Toner Fotocopy

Element	Weight %	Weight % $\sigma$	Atomic %
Carbon	22.649	1.704	45.034
Oxygen	18.260	0.534	27.257
Sodium	0.591	0.093	0.614
Magnesium	0.540	0.068	0.530
Silicon	2.868	0.098	2.439
Sulfur	0.554	0.061	0.412
Chlorine	0.494	0.057	0.333
Potassium	0.310	0.055	0.190
Calcium	0.589	0.061	0.351
Chromium	3.215	0.138	1.476
Manganese	1.604	0.142	0.697
Iron	48.327	1.107	20.666

Karakterisasi Proses Karburisasi Pada Baja Aisi 4140 Terhadap Laju Aliran Gas Dengan Temperatur 800°C Dengan Variasi Media Karburisasi

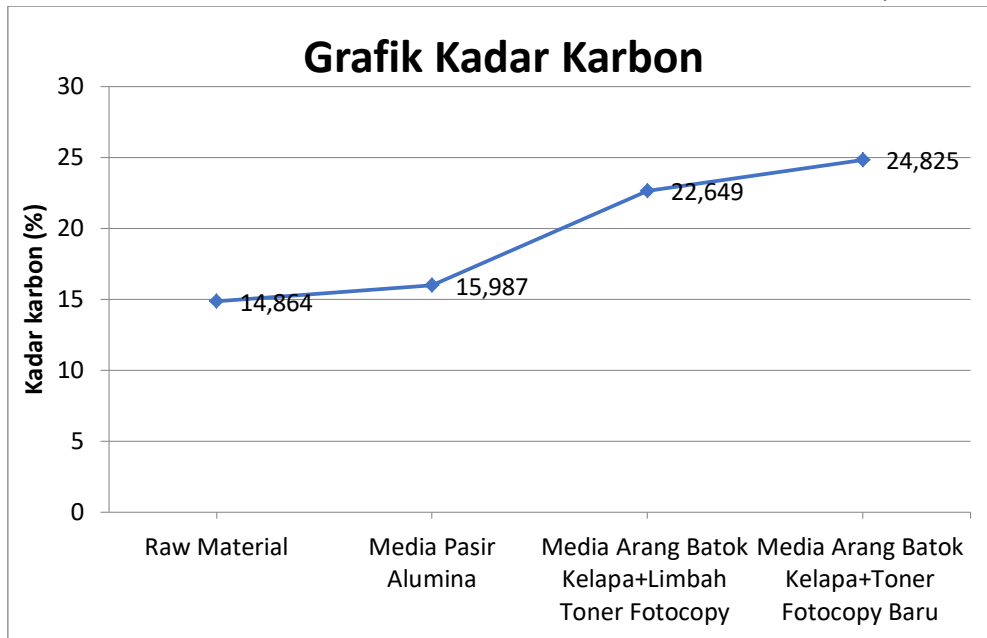


Gambar SEM Media Arang Batok Kelapa+Toner Fotocopy Baru



Gambar EDX Spot Media Arang Batok Kelapa+Toner Fotocopy Baru  
Tabel Komposisi Media Pasir Alumina

Element	Weight %	Weight % $\sigma$	Atomic %
Carbon	24,825	0,420	51,693
Oxygen	12,812	0,354	20,028
Silicon	0,768	0,057	0,684
Calcium	0,296	0,054	0,185
Chromium	1,577	0,093	0,759
Iron	59,021	0,435	26,432
Bromine	0,701	0,118	0,219



Grafik Hubungan Kadar Karbon dan Media karburisasi

Gambar diatas menunjukkan hasil foto SEM yang memperlihatkan permukaan sampel media *carburizing* dengan temperatur 800°C menggunakan media arang batok kelapa+toner fotocopy baru dengan perbesaran 500x memiliki tebal lapisan carburizing bernilai 91,385 $\mu$ m. Sementara itu, untuk informasi mengenai jumlah kandungan media arang batok kelapa+toner fotocopy baru melalui pengujian EDX dapat ditemukan di tabel 4.6 di atas. Dalam tabel tersebut, terlihat bahwa media arang batok kelapa+toner fotocopy baru mengandung 24,845% C secara persentase.

Untuk kadar karbon *raw material* meningkat sebesar 1,123%, setelah mengalami proses karburisasi pada media pasir alumina. Terjadi peningkatan kadar karbon juga sebesar 6,662% pada media arang batok kelapa+limbah toner *fotocopy* baru jika dibandingkan dengan media pasir alumina, namun bila dibandingkan dengan kadar karbon *raw material* terjadi peningkatan 7,785%. Terakhir, terjadi peningkatan kadar karbon pada media arang batok kelapa+toner *fotocopy* baru sebesar 2,176% jika dibandingkan dengan media arang batok kelapa+limbah toner *fotocopy*, namun bila dibandingkan dengan kadar karbon *raw material* sebesar 9,961%.

Dari data hasil penelitian menunjukkan hasil SEM-EDX baja AISI 4140 setelah diberi perlakuan *surface hardening* berupa *carburizing* unsur C mengalami kenaikan. Saat carburizing dengan media pasir alumina nilai unsur C yang terbentuk sebesar 15,987%, pada media arang batok kelapa+limbah toner *fotocopy* terbentuk unsur C sebesar 22,649%, dan pada media arang batok kelapa+toner fotocopy baru unsur C mencapai 24,825%. Berdasarkan hasil penelitian, bahwa semakin tinggi suhu carburizing yang digunakan maka kadar unsur C pada permukaan material baja AISI 4140 mengalami peningkatan.

Pada data pengujian EDX, nampak bahwa terjadi penurunan nilai iron yang ditunjukkan oleh data weight %, hal ini disebabkan oleh terjadinya peningkatan nilai dari unsur-unsur lain pada area yang diuji yang menyebabkan penurunan nilai iron dengan total weight % yang tidak berubah. Pada data juga ditunjukkan nilai weight %  $\sigma$  dan atomic % dengan weight %  $\sigma$  (sigma) menunjukkan penyimpangan nilai weight % dan atomic % menunjukkan nilai konsentrasi atom pada area yang diuji.

## KESIMPULAN

1. Nilai kekerasan pada material baja AISI 4140 yang di *carburizing* dengan menggunakan media pasir mempunyai rata-rata sebesar 718,74 HV, media alumina arang batok kelapa+limbah toner *fotocopy* mempunyai rata-rata kekerasan sebesar 761,58 HV, media arang batok kelapa+toner *fotocopy* baru mempunyai rata-rata kekerasan sebesar 810,33 HV. Jadi, media carburizing pada proses carburizing mempengaruhi nilai kekerasan material baja AISI 4140 secara signifikan.
2. Baja AISI 4140 yang dilakukan perlakuan panas dengan karburisasi, media pasir alumina mempunyai nilai laju keausan sebesar 0,1557 mm<sup>3</sup>/menit, media arang batok kelapa+limbah toner *fotocopy* mempunyai nilai laju keausan sebesar 0,0708 mm<sup>3</sup>/menit media arang batok kelapa+toner *fotocopy* baru mempunyai nilai laju keausan sebesar 0,0849 mm<sup>3</sup>/menit.

3. Material uji carburizing dengan media pasir alumina didapatkan carbon sebesar 15,987% dan memiliki tebal 12,533  $\mu\text{m}$ , lalu untuk media arang batok kelapa+limbah toner fotocopy didapatkan carbon sebesar 22,649% dan memiliki tebal 24,543  $\mu\text{m}$ , sedangkan untuk media arang batok kelapa+toner fotocopy baru didapatkan carbon sebesar 24,825% dan memiliki tebal 91,385  $\mu\text{m}$ .

#### SARAN

Adapun saran yang dapat diberikan dilakukan penelitian ini yakni :

1. Pada penelitian ini hanya menggunakan perlakuan panas dengan temperatur 800°C dan 3 variasi media carburizing. Untuk selanjutnya bisa dikembangkan dengan lebih banyak variasi temperatur dan media media carburizing agar bisa diperoleh hasil yang lebih akurat
2. Untuk holding time dari perlakuan panas carburizing dapat ditingkatkan agar terlihat jelas saat dilakukan pengujian
3. Untuk alat pengujian dilakukan kalibrasi dulu sebelum dilakukan untuk proses pengujian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budinski, K.G., and Budunski, M.K., 1999, *Engineering Materials*, 6th Edition, prentice-Hall Inc., New Jersey.
- [2] David Satya Hartono, dkk, 2020. *Analisa Varisi Waktu Penahanan Karburisasi dan Perlakuan Cryogenic Terhadap Sifat Mekanis Baja ST37*. Malang : Universitas Merdeka Malang.
- [3] E. Sundari, R. Fahlevi, and B. Besar, "Mekanis Sprocket Imitasi Sepeda Motor Menggunakan Katalisator," *J. Austenit*, vol. 10, no. 2, pp. 72–78, 2018.
- [4] F. B. Susetyo., and S. T., a. P. M. T., Dwiwati, „Kehilangan, „Massa Pada Larutan Hcl Dan Nacl Baja, „Karbon Rendah..Hasil Elektroplating TembagaNikel, *Jurnal Kajian, „Teknik Mesin, „*2019.
- [5] G. T. Handoyo. (2022) "Pengaruh Carburizing-Quenching-Austempering-Drop Temperature 200°C-Holding Time-Quenching-Baja AISI 4140 Terhadap Perubahan Struktur Mikro dan Kekerasan". Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [6] Graham E. (1990). *Maintenance Welding*, Prentice-Hall Inc: New Jersey.
- [7] I. Las, S. Posisi, V. Baja, dan S. T. Temper, "Studi Pengaruh," vol. 9, no. 2, hal. 10-16, 2000.
- [8] Ismunandar, Bredan J. Kennedy, (1996) "Structre of AbiNb2O9 (A = Sr, Ba) : Refinement of Powder Neutron Diffraction Data", *Journal of Solid-state Chemistry*, 126, 135-141.
- [9] R. R., Naufal. (2022) "Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Karburisasi Terhadap Struktur Mikro Dan Kedalaman Pengerasan Pada Baja Paduan Rendah AISI 4140" Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.
- [10] Rahardjo, T. (2008) Institut Teknologi Nasional Malang. *Proses Nitriding Untuk Peningkatan Sifat Mekanik Permukaan Material Dies*. Jurnal Flywheel, Volume 1, Nomor 2.
- [11] Rudnev, v., loveless D. dan Cook, R., (2003) "Handbook of Induction Heating, Marcel Decker, Inc, NY, USA.
- [12] Rusnaldy., Herlangga. (2017) "Studi Ketahanan Balistik Baja High Strength Low Alloy AISI 4140" Universitas Diponegoro.
- [13] S. M. Sadam. (2022) "Analisa Lapisan Pack Carburizing Pada Baja ST-37 Menggunakan Media Arang Cangkang Kenari dan Serbuk Fotocopy". Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.
- [14] Sujana, I, & Zaeni, A. 2010. "Karburisasi Menggunakan Dapur Fluidized Bed Terhadap Sifat Mekanis Baja Paduan Pada Kunci Produk Lokal" *TRANSMISI [Online]*, Volume 5 Number 1.
- [15] Sujana, I.W., & Zaeni, A (2009) Institut Teknologi Nasional Malang. *Karburisasi Menggunakan Dapur Fluidized Bed Terhadap Sifat Mekanis Baja Paduan Pada Kunci Produk Lokal*. Transmisi, Vol-V Edisi-1, Hal. 465 – 474.
- [16] W. Sujana., K. A. Widi. (2016) "Serbuk Alumina Sebagai Katalis didalam Reaktor Fluised Bed" Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional Malang.
- [17] Wulandari, Vina Widya. 2012. *Pengaruh Carbon Potential (Cp) Pada Proses High Concentration Carburizing Terhadap Karakteristik Baja Scm 440 Pada Komponen Pin Rantai Tipe Timing Chain*. Jakarta. Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [18] Y. N. Rohmat., T. Endramawan., E. Haris., I. Basori., F. B. Susetyo., D. N. Ilmihaqie., (2022) "Analisa Proses Carburizing Baja AISI 4140 Terhadap Sifat Mekanik dan Mikrostruktur". Politeknik Negeri Indramayu.