

EXPERIMENTAL STUDY OF CARBON MEDIA AND TEMPERATURE VARIATIONS IN THE PACK CARBURIZING PROCESS OF STAINLESS STEEL 316L ON MATERIAL STRUCTURE AND HARDNESS VALUE

Wilibald Vincentius Mae¹, Nereus Tugur Redationo², Bernardus Crisanto Putra Mbulu³.

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin-Fakultas Teknik-Universitas Widya Karya-Malang-Jawa Timur

Email: willy.neymar117@gmail.com, tugur@widyakarya.ac.id, chris_bernardo666@widyakarya.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima:

18 Juli 2025

Naskah Disetujui:

15 Desember 2025

Naskah Diterbitkan:

31 Desember 2025

ABSTRACT

The need for metal materials in various industries and construction is increasing. Materials that are widely needed by industry, especially the use of current research for the manufacture of electrodes in the electrolysis process. Some of the mechanical properties that are highlighted in quality include strength and wear resistance of the material. To meet these needs, various engineering techniques such as surface coatings are carried out to improve its mechanical properties. One approach that has been introduced is to change the structure of the material using a mixture of natural carbon-based materials, such as coconut shells and Arabica coffee grounds. Coconut shells and Arabica coffee grounds can be processed into carbon through a pyrolysis process at a temperature of 1000°C. The carbon is used as a material for the pack carburizing process with various heating temperatures (700°C, 800°C, 900°C) and various types of coconut shell carbon and Arabica coffee grounds with a base material of 316L stainless steel and will later undergo a testing process that tests the microstructure and hardness. The results of the structural and hardness tests show changes in the structure of the specimen. The higher the temperature, the higher the carbon mass value and the hardness value. Coconut shell carbon specimens with a temperature of 900°C have an average of the highest hardness value of 318 HV and specimens with the lowest hardness value of 293 HV Arabica coffee grounds carbon specimens with a temperature of 700°C. The content of C, Cr, and Ni affects hardness, strength, and high temperature resistance.

Keywords: Carbon, Coconut Shell, Arabica Coffee Grounds, Pack Carburizing, Stainless Steel 316L, Microstructure and Hardness Value.

PENDAHULUAN

Baja *stainless steel* 316L merupakan jenis baja tahan karat yang memiliki ketahanan korosi sangat baik, terutama dalam lingkungan yang mengandung ion klorida. Baja jenis ini banyak digunakan terutama pada industri perpipaan seperti konstruksi, otomotif, pengolahan makan dan peralatan medis. Tetapi dibalik kelebihan yang sudah disebutkan *stainless steel* 316L juga memiliki kelemahan pada sifat mekaniknya, khususnya kekerasan dan ketahanan aus yang relatif rendah dibandingkan jenis baja lainnya. Peningkatan sifat mekanik terutama kekerasan permukaan, menjadi fokus penting dalam pengembangan aplikasinya di industri [1].

Metode yang umum digunakan untuk meningkatkan kekerasan permukaan logam adalah proses *pack carburizing*. *Pack*

carburizing adalah metode difusi karbon kepermukaan logam dengan memanfaatkan media karbon padat pada temperatur tinggi. Proses ini mampu meningkatkan permukaan kekerasan dengan pembentuk lapisan kaya karbon, yang kemudian dapat membentuk struktur martensit atau senyawa karbida setelah pendinginan.

Pendekatan yang telah diperkenalkan adalah dengan mengubah struktur material menggunakan campuran berbasis karbon alami, seperti tempurung kelapa dan ampas kopi arabika. Tempurung kelapa dan kopi memiliki potensi besar sebagai sumber karbon alami karena mereka tersedia secara luas, murah, dan ramah lingkungan [2].

Pada penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh pelapisan permukaan

stainless steel 316L dengan variasi media karbon dan temperatur dalam proses *pack carburizing* untuk memengaruhi struktur mikro dan kekerasan dari *stainless steel* 316L. Sehingga pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam dan selanjutnya pada spesimen ini dapat digunakan untuk proses elektrolisis sehingga mendapatkan hidrogen pada spesimen.

Tempurung Kelapa

Kita tahu bahwa pohon kelapa merupakan salah satu pohon yang banyak kita temui di Negara Indonesia ini. Salah satu limbah yang dihasilkan pada pemanfaatan pohon kelapa yaitu bagian tempurung kelapa. Tempurung kelapa merupakan lapisan luar biji kelapa yang keras dan kuat. Tergantung pada kematangannya, biasanya berwarna coklat tua dan abu-abu. Tempurung kelapa terdiri dari beberapa lapisan, antara lain lapisan serat yang kuat di luar dan lapisan dalam keras. Limbah tempurung kelapa dapat dimanfaatkan menjadi banyak hal, salah satunya dapat dimanfaatkan menjadi serbuk arang dan diolah menjadi karbon tempurung kelapa setelah melewati beberapa proses. Arang tempurung kelapa merupakan bahan baku terbaik untuk menghasilkan karbon yang berkualitas tinggi[3].

Kopi Arabika

Sejak tahun 2020 permintaan komoditas kopi mulai meningkat, baik lokal maupun internasional. Indonesia termasuk salah satu produsen kopi terbesar di dunia, dengan ekspor kopi Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya. Ada sekitar 60 negara sebagai penghasil kopi di dunia dan Indonesia menempati urutan keempat sebagai penghasil kopi terbanyak di dunia dengan produksi pertahunnya mencapai 686.763 ton. Di Kabupaten Aceh Tengah mencapai 47.854 ha, dengan jumlah produksi kopi rata-rata sebesar 49.861,42 ton/ tahun.

Namun, negara ini tetap saja mengimpor karbon aktif padahal bahan bakunya bisa mudah didapat di dalam negeri. Karbon dapat diolah dari pertanian, biomassa perkebunan, dan limbah industri seperti limbah abu terbang batubara. Salah satu sumber produksi yang potensial diaktifkan karbon adalah kopi tanaman limbah. Pada ampas kopi arabika memiliki kandungan karbon lebih tinggi yaitu 89.80% [4] dibandingkan dengan ampas kopi robusta yang hanya 73,36% [5].

Pirolisis

Pirolisis adalah proses dekomposisi termokimia bahan organik melalui pemanasan

pada temperatur tinggi tanpa atau dengan sangat sedikit oksigen atau pereaksi kimia lainnya. Pirolisis merupakan kasus khusus dari termolisis, di mana reaksi berlangsung tanpa kehadiran oksigen sehingga berbeda dengan pembakaran biasa. Proses ini umumnya terjadi pada temperatur antara 300°C hingga 800°C, tergantung pada jenis bahan dan tujuan produk akhirnya[6].

Karbon

Pembuatan karbon atau grafit melibatkan aktivasi karbon dengan gas tertentu. Karbon dapat dibuat dari berbagai bahan yang mengandung karbon, seperti tempurung kelapa, kayu, dan kopi. Dalam penelitian ini peneliti memilih tempurung kelapa dan kopi arabika untuk menjadi bahan dasar pembuatan karbon. Pembuatan karbon melewati beberapa langkah meliputi, pembakaran bahan baku hingga menjadi arang, lalu arang dipanaskan pada temperatur 1000°C dengan waktu penahanan 60 menit sehingga menghasilkan arang aktif atau yang disebut karbon. Saat ini karbon banyak dikembangkan dalam industri material, salah satunya untuk meningkatkan kekerasan[7].

Stainless Steel 316L

Stainless steel 316L merupakan jenis baja tahan karat yang termasuk *molibdenum austenitic* karena memiliki ketahanannya yang luar biasa terhadap korosi, terutama di lingkungan yang mengandung klorida. Pada baja *ustenit* memiliki kandungan khrom sekitar 10 sampai 27%. Baja ini merupakan paduan besi, kromium, nikel, dan *molibdenum* dengan *molibdenum* yang menjadi komponen kunci yang meningkatkan ketahanannya terhadap korosi. *Stainless steel* 316L memiliki karbon yang lebih rendah dari *stainless steel* 316[1].

Pada *Stainless steel* 316L ketahanan korosi berasal dari lapisan oksida kromium yang terbentuk pada permukaannya. Lapisan ini juga pada dasarnya bertindak sebagai penghalang terhadap korosif. Sedangkan kandungan *molibdenum* dalam 316 dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi lubang dan celah, yang sering terjadi di lingkungan yang kaya klorida. Baja ini juga memiliki ketahanan yang baik terhadap asam organik dan alkali. Penambahan karbon pada *stainless steel* 316L bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dan menurunkan laju korosi dengan penambahan karbon pada *stainless steel* 316L dapat memperpanjang umur pakai plat pada proses elektrolisis yang nantinya dapat dioperasikan untuk menghasilkan hidrogen. Untuk *stainless steel* 316L banyak digunakan terutama pada

industri perpipaan seperti konstruksi, otomotif, pengolahan makan dan peralatan medis.

Jenis-jenis Fasa

Fasa *Austenite* merupakan larutan padat interstisi dengan sel kristal berupa FCC (*Face Centered Cubic*). Ruang antar atomnya lebih besar dibandingkan dengan ferit dan fasa ini stabil pada temperatur yang lebih tinggi yaitu antara 910°C sampai 1400°C, pada besi murni. Kadar karbon maksimum besi gamma 2,06% pada temperatur 1147°C, karena kadar karbon dalam baja umumnya lebih kecil dari 2%, maka proses austenisasi seluruh karbon dapat larut sebagai larutan padat. Pada suhu stabilnya austenit bersifat *magnetic* pada kondisi apapun. Austenit merupakan fasa yang penting sebagai dasar pembentuk fasa-fasa lainnya dalam proses perlakuan panas.

Fasa ferit merupakan larutan padat interstisi dengan sel kristal berupa BCC (*Body Centered Cubic*). Ruang antara atomnya kecil dan rapat sehingga kelarutan karbon sangat kecil. Pada suhu ruang kadar karbonnya hanya 0,008% sehingga dapat dianggap besi murni. Kadar maksimum besi alpha sebesar 0,02% pada temperatur A1 atau 727°C. Ferit bersifat feromagnetik sampai pada temperatur 768°C dan bersifat ulet.

Fasa Sementit ini disebut besi karbida yang merupakan senyawa interstisi dengan rumus kimia Fe₃C. Perbandingan atom-atom Fe dan C dalam kristal adalah 3 : 1. Sel kristal berisi 12 atom Fe dan 4 atom C, per unit sel. Kadar karbon dalam sementit sebesar 6,67% dan senyawa ini bersifat keras tetapi rapuh. Pada baja, fasa ini dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan dan ketahanan aus. Fasa ini disebut besi karbida yang merupakan senyawa interstisi dengan rumus kimia Fe₃C. Perbandingan atom-atom Fe dan C dalam kristal adalah 3 : 1. Sel kristal berisi 12 atom Fe dan 4 atom C, per unit sel. Kadar karbon dalam sementit sebesar 6,67% dan senyawa ini bersifat keras tetapi rapuh. Pada baja, fasa ini dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan dan ketahanan aus[8].

Pack Carburizing

Pack Carburizing merupakan proses penambahan unsur karbon (C) ke dalam logam khususnya pada bagian permukaan bahan dimana unsur karbon ini didapat dari bahan-bahan yang mengandung karbon sehingga kekerasan logam dapat meningkat. Proses ini diawali dengan menghaluskan dan membersihkan permukaan benda kerja hingga halus dan bersih, benda kerja lalu dipanaskan hingga mencapai titik rekristalisasi, setelah itu benda kerja dimasukkan ke dalam wadah yang

sudah diisi dengan karbon padat yang disini peneliti menggunakan serbuk karbon arang tempurung kelapa dan kopi arabika, lalu dидiamkan selama 1 hari. Pada proses ini atom-atom karbon masuk ke dalam permukaan benda kerja melalui proses difusi[9].

Pengujian Kekerasan Vickers

Uji kekerasan (*Hardness*) dilakukan untuk mengetahui kekerasan material, sehingga sifat mekanis material dapat diketahui. Pada penelitian ini, peneliti memilih metode kekerasan *Vickers* untuk menguji nilai kekerasan material yang diuji. Metode *Vickers* Metode ini memberikan pembebanan yang sangat kecil yakni dengan tingkatan beban 5, 10, 20, 30, 50, dan 120kg, sedangkan untuk *Micro Vickers* hanya ditentukan 10g, sehingga pengujian ini cocok digunakan pada bahan yang keras dan tipis. Beban uji yang digunakan pada pengujian ini berkisar antara 1kgf hingga 120kgf, dengan waktu penerapan beban uji (*dwell time*) standar biasanya 10-15 detik. Bentuk ujung pengujian kekerasan *Vickers* adalah piramida intan, ujung piramida intan ini digunakan untuk membuat indentasi pada permukaan material yang diuji, dan ukuran indentasi yang dihasilkan digunakan untuk menghitung nilai kekerasan Vickers (HV) [10].

Pengujian SEM

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah metode analisis permukaan material menggunakan sinar elektron berenergi tinggi yang mampu menghasilkan gambar 3D dengan resolusi hingga tingkat nanometer. Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*) pada karbon merupakan metode karakterisasi material yang menggunakan mikroskop elektron untuk mengamati morfologi permukaan, struktur mikro, dan distribusi unsur pada sampel karbon dengan resolusi tinggi. Melalui pengujian ini, dapat memperoleh informasi detail mengenai ukuran, bentuk, distribusi pori, serta adanya cacat atau kekosongan pada material karbon, baik dalam bentuk serbuk, serat, maupun komposit[11].

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimental dengan menggunakan pendekatan kuantitatif. Data pengujian dibahas dan dianalisis untuk mengidentifikasi proses *pack carburizing* yang mempengaruhi peningkatan kekerasan dan struktur mikro.

Deskripsi Penelitian

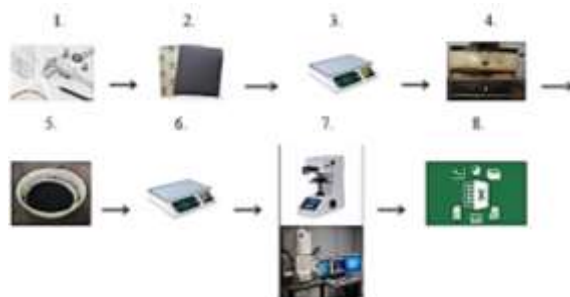
Plat akan dipanaskan pada temperatur yang telah ditentukan (700°C, 800°C, 900°C) pada titik rekristalisasi untuk membuka struktur

material, perbedaan temperatur berpengaruh pada struktur material semakin tinggi temperatur struktur material semakin membuka sehingga karbon dapat terdistribusi dengan merata. Pada pemanasan plat akan mengalami pemuaihan yang pori-pori pada permukaan plat akan membuka dan waktu pemindahan plat juga sangat berpengaruh pada proses *pack carburizing*, semakin cepat pemindahan maka akan semakin banyak karbon yang masuk pada plat. Plat yang sudah dipanaskan akan diangkat dan dimasukkan ke dalam wadah yang diisi karbon lalu ditutup dan didiamkan selama 24 jam, pada proses ini struktur permukaan pada plat akan menutup dan karbon akan terdistribusi ke dalam struktur permukaan logam sehingga dapat mempengaruhi tingkat kekerasan dan struktur mikronya. Selain itu tidak hanya reaksi karbon yang mempengaruhi kekerasan namun karena adanya faktor temperatur maka unsur-unsur yang ada di dalam karbon juga akan mengalami reaksi yang terjadi pada saat pendinginan. Setelah proses *pack carburizing* selesai dilaksanakan pengujian yaitu: uji kekerasan, dan uji struktur mikro.

Variabel Penelitian

1. Variabel tetap:
 - a. Jumlah karbon yang digunakan tiap spesimen 50 gram
 - b. Material yang digunakan adalah *Stainless Steel* tipe 316L
 - c. Waktu penahanan tiap spesimen 60 menit
2. Variabel bebas:
 - a. Karbon yang digunakan yaitu karbon tempurung kelapa dan karbon kopi
 - b. Variasi temperatur tiap spesimen yaitu; 700°C, 800°C, 900°C

Skema Penelitian



Gambar 1. Skema Penelitian

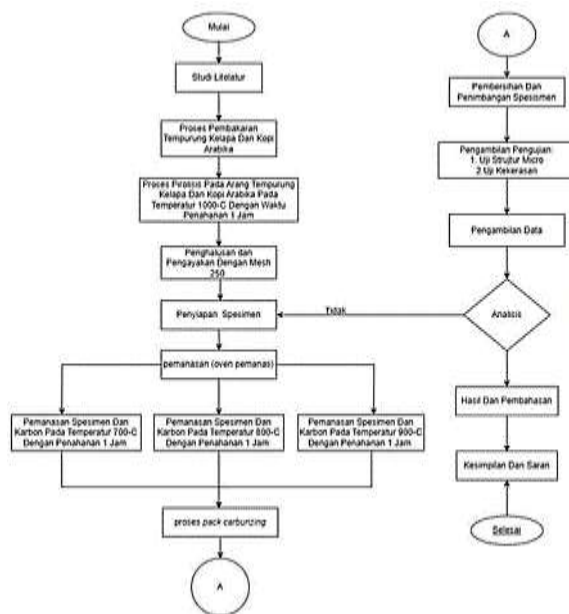
Berikut penjelasan tentang skema penelitian di atas:

1. Persiapan Alat dan Bahan, peralatan dan bahan yang disiapkan pada penelitian ini meliputi; tungku pemanas, mortar, mesh ukuran 250, timbangan digital, wadah keramik, amplas, penjepit, plat stainless

steel tipe 316L dengan ukuran persegi panjang 7cm x 4cm dengan ketebalan 2mm, serbuk karbon tempurung kelapa dan karbon ampas kopi arabika.

2. Pengamplasan, stainless Steel 316L yang sudah disiapkan lalu diampelas untuk menghaluskan dan membersihkan permukaan benda uji dari gores-goresan sebelum melalui proses *pack carburizing*.
3. Menimbang benda uji sebelum dilakukan proses *pack carburizing* disini benda uji ditimbang dengan menggunakan timbangan digital untuk memperoleh data berat jenis sebelum melalui proses *pack carburizing*.
4. Pemanasan Benda Uji, setelah benda uji ditimbang, kemudian benda uji dimasukkan tungku pemanas dengan variasi temperatur yang sudah ditentukan (700°C, 800°C, 900°C) waktu penahanan (*holding time*) yang digunakan yakni 60 menit.
5. *Carburizing*, tiap spesimen yang sudah dipanaskan dengan variasi tertentu dan dalam waktu penahanan 60 menit dimasukkan ke dalam wadah keramik berisi serbuk karbon dari tempurung kelapa dan ampas kopi arabika dengan jumlah setiap karbon yakni 50gram dan didiamkan selama 24 jam.
6. Menimbang benda uji Setelah dilakukan proses *pack carburizing*. Setelah proses *pack carburizing* selesai dilaksanakan, benda uji dibersihkan dan ditimbang untuk mengetahui perubahan berat benda uji.
- 7a. Uji Kekerasan, setiap spesimen diambil 1 sampel untuk dilakukan uji kekerasan menggunakan motede vickers yang dilaksanakan di Laboratorium Termodinamika Universitas Politeknik Negeri Malang untuk mengetahui nilai kekerasan material setelah dilakukan proses *pack carburizing*.
- 7b. Uji Struktur Mikro, sampel yang sudah melalui *pack carburizing* kemudian dilakukan uji struktur mikro menggunakan pengujian SEM.
8. Pengolahan Data, setelah langkah-langkah penelitian dilaksanakan, selanjutnya data-data yang diperoleh diolah dengan menggunakan rumus-rumus dan tabel-tabel yang telah dibuat, dan selanjutnya di analisis dan disimpulkan.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Proses Pengambilan Data

Proses pengambilan data pada penelitian ini dimulai dengan memotong plat *Stainless Steel* 316L yang memiliki ketebalan 2 mm dengan ukuran persegi panjang 7cm x 4cm. Sebelum plat dipanaskan plat ditimbang menggunakan timbangan digital untuk memperoleh data berat jenis plat sebelum melalui proses *pack carburizing*. Setelah itu plat dipanaskan dalam tungku pemanas dengan variasi temperatur yang sudah ditentukan (700°C, 800°C, 900°C) dengan penahanan waktu yang sama yaitu 60 menit. Lalu plat yang sudah dipanaskan dimasukkan ke dalam wadah keramik yang sudah diisi dengan karbon tempurung kelapa dan karbon ampas kopi arabika dengan jumlah setiap wadah keramik 50 gram. Proses ini yang dinamakan *pack carburizing*. Setelah melalui proses *pack carburizing* plat ditimbang dengan menggunakan timbangan digital untuk mendapatkan data berat jenis plat sesudah dilapisi menggunakan karbon. Dalam penelitian ini peneliti membuat 2 sampel disetiap spesimen. Sesudah proses *pack carburizing* selesai dilaksanakan, 1 sampel disetiap spesimen akan diuji kekerasan dengan menggunakan metode uji kekerasan *vickers* dan 1 sampel lainnya akan diuji struktur mikronya.

Rencana Perhitungan Kekerasan Vickers

Setelah dilakukan pengujian kekerasan dengan menggunakan uji kekerasan *Vickers* data diolah dengan menggunakan persamaan sebagai berikut[9]:

$$\text{Nilai rata – rata } (\bar{x}) = \frac{\sum x}{n} \tag{1}$$

$$\text{Standar Deviasi } (\sigma) = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}} \tag{2}$$

$$\text{Standar Deviasi rata – rata } (\bar{\sigma}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{3}$$

$$\text{Kesalahan Relatif } (Kr) = \frac{\bar{\sigma}}{x} \times 100\% \tag{4}$$

$$\text{Ketelitian Pengukuran } (Kp) = 100\% - Kr \tag{5}$$

Keterangan :

$\sum x$ = Jumlah semua nilai data

n = Jumlah total data

σ = Standart deviasi dari data

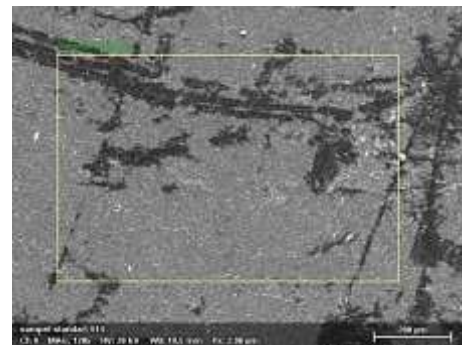
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pengambilan foto mikro struktur ini menggunakan pengujian struktur mikro (SEM). Berikut adalah hasil foto mikro spesimen yang tanpa perlakuan atau yang belum di *pack carburizing*.



Gambar 3. Struktur Mikro Raw Material

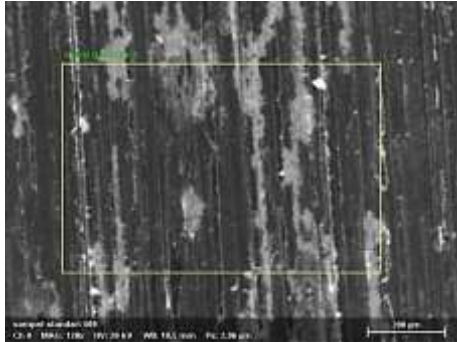
Pada Gambar 3. spesimen tanpa perlakuan terlihat permukaan materal lebih bersih dan halus. Ini menunjukkan hasil permukaan standart serta tidak ada tampak kerusakan atau cacat yang signifikan.



Gambar 4. Struktur Mikro Tempurung Kelapa 700°C

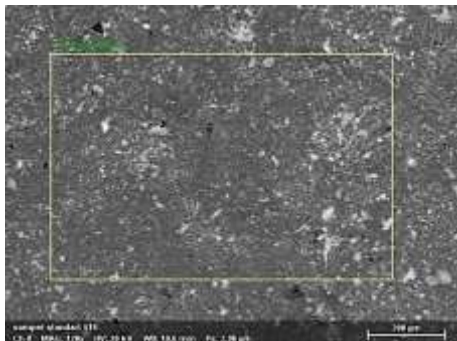
Pada Gambar 4. perlakuan proses *Pack Carburizing* dengan variasi karbon tempurung kelapa temperatur 700°C memiliki nilai massa karbon yaitu 6,33% memiliki nilai massa karbon yaitu 6,33% pada massa unsur khromium 11,52%, dan nilai massa nikel 6,02%. Hal ini menunjukkan bahwa permukaan ini tampak lebih sedikit karbon dan kurang merata dibandingkan dengan permukaan *stainless steel* yang tanpa perlakuan, struktur ini merupakan

karakteristik dari lapisan karbon yang mungkin memiliki pori-pori. Keberadaan karbon juga mengubah tekstur permukaan secara keseluruhan.



Gambar 5. Struktur Mikro Tempurung Kelapa 800°C

Pada Gambar 5. spesimen temperatur 800°C dengan karbon tempurung kelapa memiliki nilai massa karbon 9,55% pada massa unsur khromium 13,32%, dan nilai massa nikel 6,66%. Hal ini menunjukkan permukaan lebih kasar dan terdapat banyak warna hitam yang terlihat pada permukaan *stainless steel*. Ini menginditifikasikan bahwa warna tersebut terlihat lapisan karbon yang tampak lebih banyak dibanding pada temperatur 700°C.



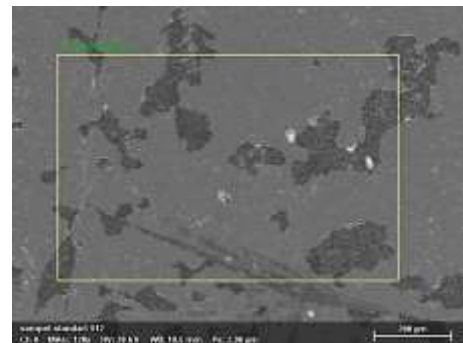
Gambar 6. Struktur Mikro Tempurung Kelapa 900°C

Pada Gambar 6. variasi temperatur 900°C dengan karbon tempurung kelapa memiliki nilai massa karbon 18,50% pada massa unsur khromium 5,01%, dan nilai massa nikel 0,90%. Hal ini mempengaruhi permukaan spesimen terlihat lebih rata karbon dan ada bintik putih yang belum sepenuhnya tertutup dengan karbon serta adanya perubahan permukaan struktur material yang merata. Hal ini disebabkan karena temperatur yang lebih tinggi dan karbon yang masuk juga merata.



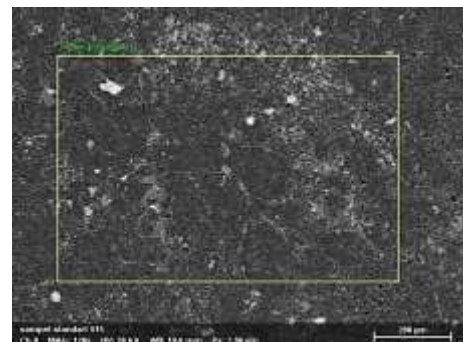
Gambar 7. Struktur Mikro Kopi Arabika 700°C

Pada Gambar 7. perlakuan proses *pack carburizing* dengan karbon kopi arabika pada temperatur 700°C memiliki struktur permukaan yang kasar dan memiliki nilai massa karbon yang rendah yaitu 5,86% memiliki nilai massa karbon yang rendah yaitu 5,86% pada massa unsur khromium 8,87%, dan nilai massa nikel 3,97%. Hal ini disebabkan karena temperatur 700°C masi belum membukanya pori-pori struktur permukaan yang lebar. Pada gambar struktur mikro di atas menunjukkan fasa ferit dan sementit.



Gambar 8. Struktur Mikro Kopi Arabika 800°C

Pada Gambar 8. spesimen temperatur 800°C karbon kopi arabika memiliki nilai massa karbon yaitu 7,76%, pada massa unsur khromium 8,87%, dan nilai massa nikel 3,97%. Terlihat pada spesimen adanya karbon yang masuk seperti pada warna hitam di atas. Hal ini dikarenakan perlakuan panas yang diberikan pada 800°C lebih tinggi dari yang 700°C dan di atas titik rekristalisasi.



Gambar 9. Struktur Mikro Kopi Arabika 900°C

Pada Gambar 9. variasi temperatur 900°C dengan karbon kopi arabika memiliki nilai massa karbon yaitu 9,81% pada massa unsur khromium 4,12%, dan nilai massa nikel 1,85%. Hal ini mempengaruhi permukaan spesimen terlihat seperti tampak butiran struktur banyak dan warna terlihat lebih hitam dari pada perlakuan temperatur di bawahnya. Gambar struktur mikro pada temperatur 900°C terlihat fasa *austenite* lebih nampak sehingga nilai karbon terlihat tinggi atau banyak. Hal ini disebabkan karena temperatur lebih tinggi dari titik rekristalisasi *stainless steel*, dan adanya lapisan karbon yang terjebak dan merata.

Tabel 1. Kandungan *Element* Pada Variasi Karbon

Elemen	RAW	T. Kelapa			K. Arabika		
		700°C	800°C	900°C	700°C	800°C	900°C
		Massa (%)			Massa (%)		
C	4,35	6,33	9,55	18,50	5,86	7,76	9,81
O	24,70	21,70	15,30	27,83	24,29	1,95	26,32
F	-	-	-	-	-	0,70	0,62
Na	-	-	-	0,51	-	0,40	-
Al	-	-	-	0,61	-	-	-
Si	-	0,49	0,67	0,57	-	-	-
S	-	-	0,26	-	-	0,26	-
Cr	10,86	11,52	13,32	5,01	8,87	13,35	4,12
Mn	0,94	0,78	1,80	1,67	1,05	0,81	1,79
Fe	58,20	52,25	54,36	52,22	57,05	57,71	53,10
Ni	4,33	6,02	6,66	0,90	3,97	7,62	1,85
Mo	0,91	1,26	0,41	-	0,71	1,06	-
Te	0,13	-	-	-	-	-	-

Pada Tabel 1. menunjukkan nilai massa karbon tempurung kelapa pada temperatur 700°C yaitu 6,33%, temperatur 800°C yaitu 9,55%, dan temperatur 900°C yaitu 18,50%. Karbon ampas kopi arabika nilai massa karbon pada temperatur 700°C yaitu 5,86%, temperatur 800°C yaitu 7,76%, dan temperatur 900°C yaitu 9,81%. Dari hasil ini setiap naiknya temperatur maka nilai massa karbon pada setiap spesimen semakin meningkat, hal ini disebabkan karena temperatur sangat berpengaruh pada naiknya nilai massa karbon.

Data Perhitungan, Hasil, dan Pembahasan Nilai Kekerasan

Dalam penelitian ini pengujian kekerasan menggunakan metode uji kekerasan *Vickers*, dimana metode ini memiliki hasil yang lebih akurat dan baik untuk mengukur kekerasan permukaan suatu material. Pengujian kekerasan *Vickers* ini dilakukan di Laboratorium Universitas Politeknik Negeri Malang.

Setelah pengujian kekerasan dilakukan, hasil nilai kekerasan *vickers* diolah menggunakan persamaan. Berikut adalah contoh perhitungan nilai kekerasan *Vickers Raw* Material:

1. Perhitungan nilai kekerasan rata-rata (\bar{x}) berdasarkan pada persamaan (1) hingga persamaan (5) adalah:

$$\bar{x} = \frac{180,5+203,7+182,9}{3} = 189,03$$
2. Perhitungan $(x - \bar{x})$ adalah:

$$(x - \bar{x}) = 180,5 - 189,03 = -8,53$$

$$(x - \bar{x}) = 203,7 - 189,03 = 14,67$$

$$(x - \bar{x}) = 182,9 - 189,03 = -6,13$$

3. Perhitungan $(x - \bar{x})^2$ adalah:
 $(x - \bar{x})^2 = (-8,53)^2 = 72,7609$
 $(x - \bar{x})^2 = (14,67)^2 = 215,208$
 $(x - \bar{x})^2 = (-6,13)^2 = 37,5769$
4. Perhitungan $\sum (x - \bar{x})^2$ adalah:
 $\sum (x - \bar{x})^2 = 72,7609 + 215,208 + 37,5769 = 325,5458$

5. Perhitungan standar deviasi (σ) berdasarkan pada persamaan adalah:

$$(\sigma) = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{325,5458}{3-1}} = 12,758$$

6. Perhitungan standar deviasi rata-rata ($\bar{\sigma}$) berdasarkan pada persamaan adalah:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{12,758}{\sqrt{3}} = 7,365$$

7. Perhitungan kesalahan relatif (Kr) berdasarkan pada persamaan adalah:

$$(Kr) = \frac{\bar{\sigma}}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{7,365}{189,03} \times 100\% = 3,89\%$$

8. Perhitungan ketelitian pengukuran (Kp) berdasarkan pada persamaan adalah:

$$(Kp) = 100\% - Kr = 100\% - 3,89\% = 96,11\%$$

Tabel 2. Nilai Kekerasan *Vickers* Spesimen Karbon Tempurung Kelapa

Variasi	Titik	x	\bar{x}	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$	$\sum(x - \bar{x})^2$	σ	$\bar{\sigma}$	Kr	Kp	Rata-rata
Raw	1	180,50	189,03	-8,53	72,82	325,55	12,75	7,37	4	96	189
	2	203,70		14,67	215,11						
	3	182,90		-6,13	37,62						
700°C	1	298,50	293	5,50	30,25	92,42	6,79	3,92	1,339	98,66	293
	2	295,10		2,10	4,41						
	3	285,4		-7,6	57,76						
800°C	1	305	304,27	0,73	0,538	80,19	6,33	3,65	1,119	98,88	304
	2	310,2		5,39	35,20						
	3	297,6		-6,67	44,44						
900°C	1	316,5	318,07	-1,57	2,454	84,33	6,49	3,75	1,178	98,22	318
	2	325,2		7,13	50,9						
	3	312,5		-5,57	31,0						

Berdasarkan Tabel 2. dapat dilihat bahwa hasil nilai kekerasan pada *raw* material atau spesimen tanpa perlakuan memiliki rata-rata 189 HV. Spesimen dengan variasi karbon menggunakan tempurung kelapa pada temperatur 700°C memiliki nilai rata-rata 293 HV. Pada spesimen dengan variasi karbon menggunakan tempurung kelapa pada temperatur 800°C memiliki nilai rata-rata 304 HV. Pada spesimen dengan variasi karbon menggunakan tempurung kelapa pada temperatur 900°C memiliki nilai rata-rata 318 HV. Berdasarkan hasil data ini memperlihatkan bahwa spesimen tempurung kelapa 700°C, 800°C, dan 900° mengalami kenaikan nilai kekerasan yang cukup tinggi dan signifikan di atas *raw* material.

Tabel 3. Nilai Kekerasan *Vickers* Spesimen Karbon Kopi Arabika.

Variasi	Titik	x	\bar{x}	(x - \bar{x})	(x - \bar{x}) ²	$\sum(x - \bar{x})^2$	σ	$\bar{\sigma}$	Kr	Kp	Rata-rata
HV											
Raw	1	180,50	189,03	-8,53	72,82	325,55	12,75	7,37	4	96	189
	2	203,70		14,67	215,11						
	3	182,90		-6,13	37,62						
HV²											
700°C	1	287,3	294,27	-6,97	48,534	78,927	6,281	3,63	1,23	99	294
	2	299,5		5,23	27,388						
	3	296		1,73	3,004						
800°C	1	283,3	295,93	-12,63	159,60	239,45	10,94	6,32	2,13	98	293
	2	302,1		6,17	38,03						
	3	302,4		6,47	41,82						
900°C	1	286,6	302,3	-15,7	246,49	369,78	13,6	7,85	2,60	97,40	302
	2	310		7,7	59,29						
	3	310,3		8,0	64						

Berdasarkan Tabel 3. dapat dilihat bahwa hasil nilai kekerasan pada *raw* material atau spesimen tanpa perlakuan memiliki rata-rata 189 HV. Spesimen dengan variasi karbon menggunakan ampas kopi arabika pada temperatur 700°C memiliki nilai rata-rata 294 HV. Pada spesimen dengan variasi karbon menggunakan ampas kopi arabika pada temperatur 800°C memiliki nilai rata-rata 295 HV. Pada spesimen dengan variasi karbon menggunakan ampas kopi arabika pada temperatur 900°C memiliki nilai rata-rata 302 HV. Berdasarkan hasil data ini memperlihatkan bahwa spesimen ampas kopi arabika 700°C, 800°C, dan 900° mengalami kenaikan nilai kekerasan yang signifikan di atas *Raw* material.

Perbandingan Nilai Kekerasan *Vickers* Spesimen Tempurung Kelapa dan Kopi Arabika

Berikut merupakan grafik perbandingan Uji Kekerasan *Vickers* pada spesimen menggunakan karbon tempurung kelapa dan spesimen menggunakan ampas karbon kopi arabika.



Gambar 10. Perbandingan Nilai Kekerasan *Vickers*

Berdasarkan Gambar 10. dapat dilihat bahwa nilai kekerasan *raw* material atau spesimen tanpa perlakuan memiliki rata-rata yaitu 189 HV. Nilai rata-rata kekerasan didapat dengan cara menguji spesimen tanpa perlakuan dan diperoleh nilai kekerasan. Hal ini dapat digunakan untuk data pembandingan dengan

spesimen lain yang diberi perlakuan dengan variasi yang telah ditentukan.

Gambar 10. juga menunjukkan bahwa pada spesimen dengan variasi karbon menggunakan tempurung kelapa temperatur 700°C memiliki nilai rata-rata 293 HV. Hal ini menunjukkan bahwa pada spesimen 700°C terjadi peningkatan nilai kekerasan. Semua ini disebabkan oleh perlakuan panas pada temperatur 700°C mendekati titik rekristalisasi.

Pada spesimen dengan variasi karbon menggunakan tempurung kelapa temperatur 800°C memiliki nilai rata-rata yakni sebesar 304 HV. Hal ini menunjukkan bahwa pada spesimen 800°C terjadi peningkatan nilai kekerasan. Ini disebabkan oleh ini disebabkan oleh perlakuan panas pada temperatur 800°C menjauh dari titik rekristalisasi.

Pada spesimen dengan variasi karbon menggunakan tempurung kelapa temperatur 900°C memiliki nilai rata-rata 318 HV. Hal ini menunjukkan jika pada spesimen 900°C nilai kekerasan mengalami peningkatan yang signifikan, karena karbon yang masuk pada spesimen cukup banyak dan proses perlakuan panas pada temperatur 900°C jauh di atas dari titik rekristalisasi sehingga struktur permukaan membuka lebih luas dan karbon dapat masuk dengan baik serta jumlah karbon yang banyak.

Berdasarkan Gambar 4.10 diketahui bahwa pada spesimen dengan variasi karbon menggunakan ampas kopi arabika temperatur 700°C memiliki nilai rata-rata 294 HV, dan pada spesimen temperatur 800°C memiliki nilai rata-rata 295 HV. Hal ini menunjukkan bahwa spesimen dengan temperatur 700°C dan 800°C memiliki nilai kekerasan yang tinggi dan tidak beda jauh dari spesimen yang menggunakan karbon tempurung kelapa pada temperatur 700°C. Hal ini dikarenakan kandungan masa karbon pada ampas kopi arabika lebih kecil dari tempurung kelapa, namun jika dilihat hanya dari perbedaan kandungan karbon (C) terpautnya tidak terlalu jauh.

Pada variasi temperatur 900°C dengan karbon ampas kopi arabika memiliki nilai rata-rata 302 HV. Hal ini menunjukkan jika pada spesimen 900°C nilai kekerasan mengalami peningkatan yang signifikan, karena karbon yang masuk pada spesimen cukup banyak dan proses perlakuan panas pada temperatur 900°C jauh di atas dari titik rekristalisasi sehingga struktur permukaan membuka lebih luas dan karbon dapat masuk dengan baik serta jumlah karbon yang banyak. Pengaruh lain seperti unsur khromium dan nikel juga sangat berpengaruh pada nilai kekerasan *vickers* material karena

pada unsur tersebut memiliki sifat kekerasan, keuletan pada material dan tahan pada temperatur tinggi (Surdia, 109:1992).

Pada temperatur 700°C karbon tempurung kelapa dan ampas kopi arabika memiliki nilai kekerasan 293 HV dan 294 HV yang lebih tinggi karbon ampas kopi arabika dibanding tempurung kelapa. Hal ini disebabkan oleh ketelitian pengukuran pada karbon tempurung kelapa 98,66% dan ketelitian pengukuran pada karbon ampas kopi arabika 99%. Dimana semakin tinggi ketelitian pengukuran semakin valid dan nilai kekerasan semakin tinggi. Hal ini diperkuat dengan hasil uji struktur mikro pada spesimen tidak merata. Pada gambar 4.4 struktur mikro permukaan tidak merata terlihat kandungan karbon pada titik tersebut kecil, seharusnya dengan nilai karbon yang tinggi distribusi karbon merata. Pada gambar 4.7 struktur mikro permukaan karbon ampas kopi arabika karbonnya lebih merata sehingga waktu diuji kekerasannya hasilnya mendekati relatif sama.

Hasil nilai kekerasan spesimen dengan menggunakan karbon tempurung kelapa lebih tinggi pada temperatur 800°C dan 900 °C daripada spesimen dengan menggunakan karbon ampas kopi arabika dikarenakan kandungan karbon (C) pada spesimen karbon tempurung kelapa lebih tinggi dibandingkan karbon ampas kopi arabika dan dibuktikan pada tabel 4.4 semakin tinggi temperatur maka nilai massa karbon pada spesimen semakin tinggi.

SIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan variasi temperatur (700°C, 800°C, dan 900°C) dan variasi media karbon (tempurung kelapa dan ampas kopi arabika) pada proses *Pack Carburizing*, maka peneliti mengambil simpulan sebagai berikut:

1. Karbon tempurung kelapa dengan variasi temperatur pada spesimen mempengaruhi struktur permukaan material. Semakin tinggi temperatur plat nilai massa karbon pada plat semakin meningkat. Karbon tempurung kelapa pada temperatur 900°C memiliki nilai kekerasan yang tertinggi yaitu 318 HV dibandingkan dengan temperatur 800°C yaitu 304 HV dan 700°C yaitu sekitar 293 HV
2. Karbon ampas kopi arabika dan variasi temperatur yang ditentukan pada spesimen akan mempengaruhi struktur permukaan material, dimana semakin tinggi temperatur maka karbon yang masuk ke dalam plat akan semakin meningkat. Karbon ampas

kopi arabika dengan temperatur 900°C memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu 302 HV dibandingkan dengan temperatur 800°C yaitu 295 HV dan 700°C yaitu sekitar 294 HV

3. Hasil perbandingan yang terbaik pada proses *pack carburizing* yaitu karbon tempurung kelapa pada temperatur 900°C dan nilai kekerasan tertinggi 318 HV.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. J. Sinaga and C. Manurung, "Analisa Laju Korosi dan Kekerasan Pada Stainless Steel 316 L Dalam Larutan 10 % NaCl Dengan Variasi Waktu Perendaman," *Sprocket J. Mech. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 92–99, 2020, doi: 10.36655/sprocket.v1i2.186.
- [2] A. Kumar, R. C. Singh, and R. Chaudhary, "Investigation of Microstructure and Several Quality Characteristics of AA7075/Al₂O₃/Coconut Shell Ash Hybrid Nano Composite Prepared through Ultrasonic Assisted Stir-Casting," *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 32, no. 20, pp. 9263–9278, 2023, doi: 10.1007/s11665-022-07780-7.
- [3] M. Masthura and Z. Putra, "Karakterisasi Mikrostruktur Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Kayu Bakau," *Elkawnie*, vol. 4, no. 1, pp. 45–54, 2018, doi: 10.22373/ekw.v4i1.3076.
- [4] D. Shilsilia, I. Khaldun, and A. Aktif, "Efektivitas Penggunaan Arang Aktif Dari Ampas Bubuk Kopi Arabika (Arabica Gayo Coffee) Sebagai Adsorben Ion Fe²⁺," *J. Ilm. Mhs. Jur. Pendidik. Kim.*, vol. 8, no. 2, pp. 66–74, 2024.
- [5] G. Sania, "Pemanfaatan Karbon Aktif Dari Ampas Biji Kopi (Robusta)," 2021.
- [6] A. V. Bridgwater, "Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading," *Biomass and Bioenergy*, vol. 38, pp. 68–94, 2012, doi: 10.1016/j.biombioe.2011.01.048.
- [8] A. N. Asisi, "Pengaruh Perlakuan Panas Quenching Terhadap Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Jis Sup 9a," *Mechanical*, vol. 15, no. 2, p. 196, 2024, doi: 10.23960/mech.v15i2.4567.
- [9] B. S. C. Gemilang, "Pemanfaatan karbon tempurung kelapa dan cangkang sawit sebagai bahan pack carburizing untuk meningkatkan kekerasan dan mengurangi laju korosi stainless steel tipe 304," Universitas Katolik Widyakarya, 2024.
- [10] G. V. Kozlov and Y. G. Yanovskii, "-

- Microhardness,” *Fractal Mech. Polym.*, vol. 5, pp. 256–265, 2014, doi: 10.1201/b17730-17.
- [11] A. Sujatno, R. Salam, B. Bandriyana, and A. Dimiyati, “Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium,” *J. Forum Nukl.*, vol. 9, no. 1, p. 44, 2017, doi: 10.17146/jfn.2015.9.1.3563.