

EXPERIMENTAL STUDY OF PACK CARBURIZING AND QUENCHING PROCESS WITH TEMPERATURE VARIATIONS (700°C, 800°C, AND 900°C) ON THE MICRO-CHARACTERISTICS AND HARDNESS OF STAINLESS STEEL 316L

Daniel Angger Bagus Sungging Priyanto¹, Bernardus Crisanto Putra Mbulu², Antonius Prisma Jalu Permana³

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

Email: blinkstarcrews@gmail.com, chris_bernardo666@widyakarya.ac.id, antonius.prisma@widyakarya.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima:

23 Juli 2025

Naskah Disetujui:

15 Desember 2025

Naskah Diterbitkan:

31 Desember 2025

ABSTRACT

His study aims to investigate the effect of temperature variation in pack carburizing and quenching processes on the microstructure and surface hardness of Stainless Steel 316L. The pack carburizing process was conducted using activated carbon derived from robusta coffee grounds at temperatures of 700°C, 800°C, and 900°C with a holding time of 60 minutes. Subsequently, a quenching process was carried out using oil mixed with activated carbon to lock the diffused carbon. The material was tested for mass change, microstructure (via SEM), and surface hardness (using the Vickers method). The results show that increasing temperature significantly affects carbon diffusion and hardness improvement. The highest hardness value was obtained from the quenching process at 900°C with 330 HV, while pack carburizing at the same temperature resulted in 292 HV. The microstructure revealed more dominant martensitic formation in the quenching process. Therefore, heat treatment with rapid cooling proves to be more effective in enhancing hardness and modifying the microstructure of Stainless Steel 316L.

Keywords: Pack Carburizing, Quenching, Temperature, Stainless Steel 316L, Hardness, Microstructure, Robusta Coffee Grounds.

PENDAHULUAN

Kopi adalah salah satu komoditas pertanian penting di Indonesia yang banyak dikonsumsi baik di dalam negeri maupun diekspor ke luar negeri. Salah satu jenis kopi yang paling banyak dibudidayakan di Indonesia adalah kopi robusta (*Coffea canephora*). Kopi ini dikenal karena rasa yang lebih pahit, kadar kafein yang lebih tinggi, dan tanaman yang lebih tahan terhadap penyakit dibandingkan kopi arabika [1]. Seiring berkembangnya bisnis yang melibatkan penjualan kopi, banyak ampas kopi terutama ampas kopi robusta yang tidak terpakai atau terbuang begitu saja, pada dasarnya ampas kopi robusta memiliki kandungan senyawa-senyawa penting seperti karbon, selulosa, dan senyawa fenolik. Karena kandungan karbonnya yang cukup tinggi, ampas kopi memiliki potensi besar untuk dijadikan bahan baku karbon aktif. Dalam konteks teknik material, karbon dari ampas kopi dapat digunakan sebagai media *Carburizing*, yaitu proses pelapisan karbon ke permukaan logam untuk meningkatkan kekerasannya. *Carburizing* atau karburasi

merupakan cara pengerasan permukaan logam (baja) dengan memanaskan logam (baja) di atas suhu kritis dalam lingkungan yang mengandung karbon [2].

Penelitian ini menggunakan metode *Pack Carburizing* dan *Quenching* yang digunakan untuk mengolah spesimen dengan lapisan karbon ampas kopi robusta. Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan baja *stainless steel 316L* yang memiliki unsur 18% kromium dan 8% nikel. *Stainless steel 316L* adalah baja tahan karat austenitik berkadar karbon rendah yang dipadukan dengan molibdenum untuk meningkatkan ketahanan korosi, terutama terhadap lingkungan yang mengandung klorida[3]. Dalam penelitian ini, proses *pack carburizing* dan *Quenching* dilakukan dengan variasi temperatur 700°C, 800°C, dan 900°C menggunakan spesimen *stainless steel 316L* dan media karbon aktif dari ampas kopi robusata dengan waktu penahanan selama 60 menit.

Kopi Robusta

Kopi Robusta (*Coffea canephora*) adalah salah satu jenis kopi yang populer dan banyak dihasilkan di seluruh dunia. Di Indonesia, kopi robusta menjadi komoditas unggulan yang banyak dibudidayakan. Dibandingkan dengan kopi arabika, kopi robusta memiliki karakteristik rasa yang lebih pahit, sedikit asam, dan mengandung kadar kafein yang lebih tinggi[1].

Karbon Aktif

Karbon aktif dapat didefinisikan sebagai bahan karbon dengan struktur amorf dan luas permukaan internal yang besar dengan tingkat porositas yang tinggi. Karbon aktif memiliki bentuk karbon mikrokristalin dan non-grafit. Bentuk non-grafit berarti terdiri dari sejumlah kecil hidrogen atau sejumlah besar oksigen dalam strukturnya. Karbon aktif memiliki kinerja tinggi dalam konduktivitas listrik, stabilitas termal yang baik, serta reaktivitas permukaan yang menjadi alasan utama karbon aktif digunakan dalam beberapa tahun terakhir. Karbon aktif mengandung mikropori, mesopori, dan makropori dalam strukturnya. Struktur ini memiliki peran penting dalam menentukan kinerja karbon aktif sebagai adsorben[4].

Temperatur

Temperatur yang dikenal berjumlah empat adalah celsius, reamur, fahrenheit dan kelvin. Temperatur atau suhu adalah ukuran tingkat atau panas pada benda yang menunjukkan tingkat banyaknya energi kalor yang ada di dalam benda. Semakin tinggi suhu benda maka semakin panas benda itu karena semakin banyak energi kalor didalamnya[5].

Stainless Steel 316L

Stainless steel 316 L adalah stainless steel molibdenum austenitic. Kandungan nikel dan molibdenum yang lebih tinggi di kelas ini memungkinkannya untuk menunjukkan sifat tahan korosi keseluruhan yang lebih baik daripada 304, terutama yang berkaitan dengan korosi pitting dan celah di lingkungan klorida. Selain itu, Alloy 316L memberikan kekuatan tarik, creep, dan tegangan pecah suhu yang sangat baik, serta kemampuan bentuk dan kemampuan las yang luar biasa. 316L adalah versi karbon yang lebih rendah dari 316 dan kebal dari kepekaan; oleh karena itu, sangat sering digunakan dalam komponen yang dilas berat[3].

Pack Carburizing

Pack Carburizing adalah proses perlakuan panas pada permukaan benda kerja dengan memanfaatkan karbon sebagai unsur pengerasan. Prinsip kerja perlakuan panas jenis ini adalah meletakkan karbon disekitar benda kerja pada saat dipanaskan, sehingga karbon akan berdifusi dengan permukaan benda kerja. Hasil yang diperoleh adalah benda kerja dengan permukaan yang keras akan tetapi bagian inti tetap ulet. Bahan yang biasanya digunakan untuk benda-benda yang mendapat perlakuan carburizing adalah baja dengan kadar 2% [2].

Quenching

Perendaman *Quenching* merupakan proses perlakuan panas yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan maupun kekerasan baja dengan cara memanaskan baja tersebut pada temperatur tertentu (biasanya berkisar antara 845°C sampai 870°C) kemudian didinginkan secara cepat pada media pendingin untuk mendapatkan struktur martensit. Martensit adalah fasa metastabil yang terbentuk dengan laju pendinginan cepat yang pada fase austenit tidak sempat berubah menjadi ferit atau perlit karena tidak ada kesempatan bagi atom-atom karbon yang telah larut dalam austenit untuk mengadakan pergerakan difusi dan bentuk sementit. Quenching dilakukan agar mencegah terjadinya pembentukan struktur perlit atau ferit dan memudahkan pembentukan struktur bainit atau martensit serta untuk menghasilkan baja dengan kekerasan tinggi seiring bertambahnya jumlah martensitnya[6].

Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap penetrasi suatu material yang lebih keras dengan bentuk dan di bawah pengaruh gaya tertentu sehingga akan didapatkan harga kekerasan dari benda uji. Nilai kekerasan *vickers* dinyatakan sebagai perbandingan antara beban dibagi dengan diagonal rata-rata dari bekas indentasinya. Skala *Vickers* menggunakan indenter berupa intan dengan bentuk kerucut yang bersudut 136°, dengan beban penekanan yang digunakan bervariasi [7].

Pengujian SEM

SEM merupakan metode yang digunakan untuk pengamatan morfologi permukaan dan unsur kandungan berbagai jenis sampel padat dengan prinsip penembakan elektron. Keunggulan pengamatan perbesaran tinggi dan kemampuan mendeteksi unsur kandungan mulai

dari unsur organik hingga anorganik penggunaannya menyebabkan sangat luas termasuk dalam pengamatan sampel biologi[8].

Pehitungan

Setelah dilakukan pengujian kekerasan dengan menggunakan uji kekerasan Vickers data dioalah dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut[9]:

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

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

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

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

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

METODE PENELITIAN

Proses pengambilan data yang diambil dari Penelitian ini bersifat eksperimen dengan pendekatan kuantitatif. Data pengujian dibahas dan dianalisis untuk mengidentifikasi *pack carburising* dan perlakuan *Quenching* terhadap struktur mikro dan nilai kekerasan permukaan pada material *Stainless Steel 316L*.

Deskripsi Penelitian

Plat yang ditumbun oleh karbon didalam aluminium foil lalu dipanaskan dengan temperatur yang sudah ditentukan (700°C, 800°C, 900°C), dengan waktu penahanan 60 menit untuk membuka struktur material pada permukaan plat, perbedaan temperatur dan waktu penahanan berpengaruh pada struktur materialnya semakin tinggi temperatur struktur material semakin membuka, sehingga karbon dapat terdistribusi dengan perlahan dan merata.

Sedangkan plat yang dipanaskan pada temperatur yang sama dan penahanan selama 60 menit, lalu didinginkan dengan paksa dicelupkan kedalam oli bercampur dengan karbon, sehingga struktur material yang terbuka akan terdistribusi dengan cepat, sehingga dapat mempengaruhi tingkat kekerasannya 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. Setelah proses *Pack Carburizing* dan *Quenching* selesai,

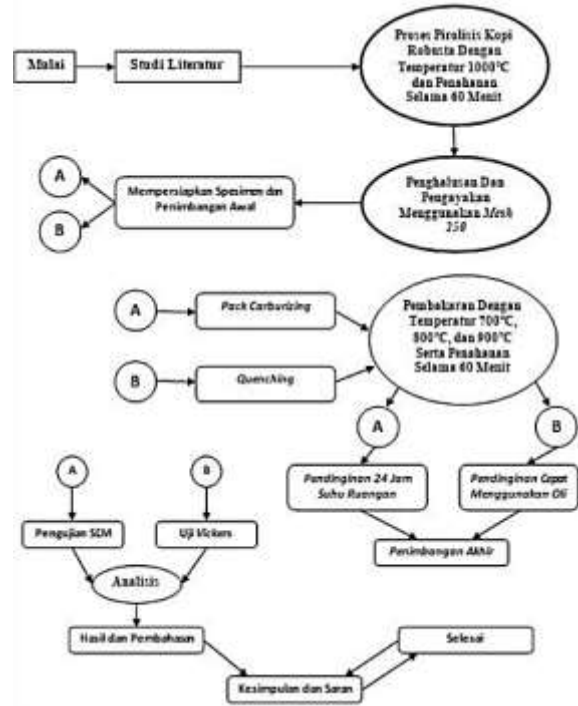
Pada proses *Pack Carburizing* dan *Quenching* kandungan oksigen yang tinggi dapat membentuk inklusi non-logam (oksida) didalam baja yang melemahkan ikatan antar partikel dan

dapat menurunkan tingkat kekerasannya. proses selanjutnya adalah pengujian kekerasan dan pengujian struktur mikro.

Variabel Penelitian

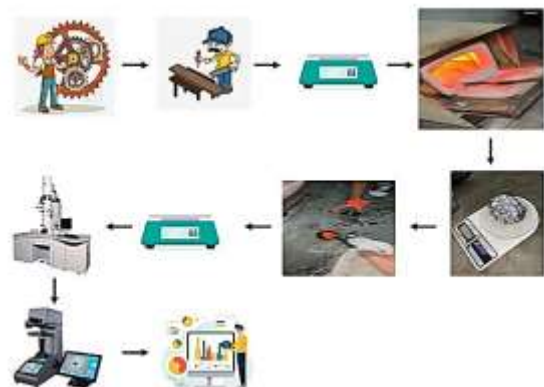
1. Variabel bebas: Variasi temperatur tiap proses dan spesimen: 900°C, 800°C, dan 700°C
2. Variabel terikat: Waktu penahanan: 60 menit.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Skema Penelitian



Gambar 2. 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, capitan, plat stainless steel tipe 316 dengan ukuran persegi

- panjang 7cm x 4cm dengan ketebalan 2mm, serbuk karbon kopi robusta.
2. Pengamplasan
Stainless Steel 316 yang sudah disiapkan lalu diampelas untuk menghaluskan dan membersihkan permukaan benda uji dari gores-goresan sebelum melalui proses *Pack Carbrizing*.
 3. Penimbangan spesimen
Menimbang Benda Uji sebelum dilakukan proses *Pack Carburizing* dan *Quenching*. Disini benda uji ditimbang dengan menggunakan timbangan digital untuk memperoleh data berat jenis.
 4. Proses *Pack Carburizing*
Tiap spesimen yang sudah ditimbang lalu dimasukan kedalam alumunium foil bersama dengan karbon kopi robusta dengan jumlah setiap karbon yakni 50gram dimasukkan ke dalam mangkok kowi.
 5. Proses *Quenching*
Spesimen yang sudah ditimbang dimasukan kedalam tungku pemanas dengan temperatur yang ditentukan dan penahanan selama 60 menit, lalu spesimen dimasukan kedalam tangki alumunium yang berisi oli dan karbon kopi robusta dengan jumlah 50 gram.
 6. Menimbang Benda Uji
Setelah dilakukan proses *Pack Carburizing* dan *Quenching*.selesai dilaksanakan, benda uji dibersihkan dan ditimbang untuk mengetahui perubahan berat benda uji.
 7. Uji Kekerasan
Setiap spesimen diambil 2 sampel untuk dilakukan uji kekerasan menggunakan motode Vickers yang dilaksanakan di Laboratorium Termodinamika Universitas Politeknik Negeri Malang untuk mengetahui nilai kekerasan material setelah dilakukan proses *Pack Carburizing* dan *Quenching*.
 8. Uji Struktur Mikro
Sampel yang sudah melalui *Pack Carburizing* dan *Quenching* kemudian dilakukan uji struktur mikro menggunakan Pengujian SEM.
 9. Pengolahan Data
Setelah langkah-langkah penelitian dilaksanakan, selanjutnya data-data yang diperoleh diolah dengan menggunakan rumus yang telah dibuat.
 10. Kesimpulan dan Saran
Langkah yang terakhir yakni menyimpulkan dan memberikan saran terkait hasil pengujian dan data-data yang sudah diolah dalam penelitian ini.

Proses Pengambilan Data

Proses pengambilan data pada penelitian ini dimulai dengan memotong plat *Stainless Steel 316* 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 dibungkus *alumunium foil* berserta dengan karbon kopi robusta sebanyak 50 gram lalu dipanaskan dalam tungku pemanas dengan variasi temperatur yang sudah ditentukan (700°C, 800°C, 900°C) dengan penahanan waktu 60 menit. Plat yang sudah dipanaskan didinginkan selama 24 jam dengan suhu ruangan, proses ini yang dinamakan *Pack Carburizing*. Untuk proses *Quenching* plat yang sudah ditimbang lalu dipanaskan dalam tungku pemanas dengan temperatur yang sama dengan *Pack Carburizing*. Plat yang sudah dipanaskan lalu dicelupkan kedalam *Tangki alumunium* yang sudah berisi campuran karbon kopi robusta dan oli, dengan kadar karbon kopi sebanyak 50 gram dan oli sebanyak 100 ml. Setelah melalui proses *Pack Carburizing* dan *Quenching* plat ditimbang dengan menggunakan timbangan digital untuk mendapatkan data berat jenis plat sesudah melakukan proses. Dalam penelitian ini peneliti membuat 3 sampel disetiap spesimen. Sesudah proses *Pack Carburizing* dan *Quenching* selesai dilaksanakan, 2 sampel disetiap spesimen akan diuji kekerasan dengan menggunakan metode uji kekerasan *vickers* dan 1 sampel lainnya akan diuji struktur mikronya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasa Massa Karbon

Berikut merupakan tabel dan gambar grafik perbandingan berat awal dan akhir pada spesimen menggunakan karbon kopi robusta.

Tabel 1. Berat awal dan akhir *Pack Carburizing*

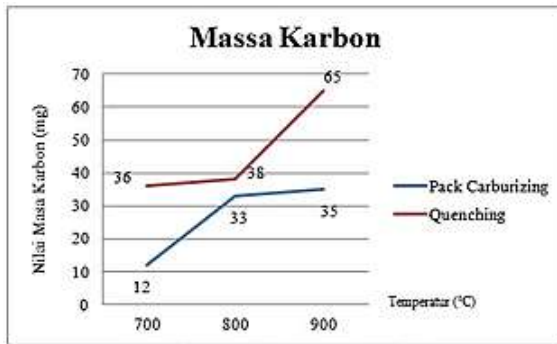
No	Temperatur (°C)	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Selisih (mg)
1	700	37701	37713	12
2	800	37912	37945	33
3	900	37962	37997	35

Pada Tabel 1. massa dalam proses *Pack Carburizing* menunjukkan pada temperatur 700 massa karbon yaitu 12 mg, pada temperatur 800 massa karbon 33 mg, dan temperatur 900 massa karbon 35 mg. Dengan kata lain bahwa massa plat akan semakin bertambah seiring meningkatnya temperatur, hal ini disebabkan banyaknya kandungan karbon yang masuk ke dalam permukaan plat *stainless stee 316L*.

Tabel 2. Berat awal dan akhir *Quenching*

No	Temperatur (°C)	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Selisih (mg)
1	700	37734	37770	36
2	800	37963	38001	38
3	900	37823	37888	65

Pada Tabel 2. massa dalam proses *Quenching* menunjukkan pada temperatur 700 massa karbon yaitu 36 mg, pada temperatur 800 massa karbon 38 mg, dan temperatur 900 massa karbon 65 mg. Hal ini juga disebabkan karena banyaknya massa karbon yang masuk, sehingga massa pada kenaikan temperatur mengalami peningkatan.



Gambar 3. Garfik Massa Karbon

Gambar 3. menunjukkan hubungan antara temperatur proses dengan nilai massa karbon pada dua perlakuan yang berbeda, yaitu *Pack Carburizing* dan *Quenching* terhadap material stainless steel 316L. Data menunjukkan bahwa peningkatan temperatur memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kenaikan massa karbon pada permukaan material.

Pada proses *Pack Carburizing*, terjadi peningkatan massa karbon dari 12 mg pada suhu 700°C menjadi 33 mg pada 800°C, dan meningkat sedikit menjadi 35 mg pada 900°C. Kenaikan yang paling signifikan terjadi antara 700°C ke 800°C, yaitu sebesar 21 mg, yang menunjukkan bahwa proses difusi karbon mulai efektif pada temperatur di atas 700°C. Namun, peningkatan menjadi melambat pada suhu 900°C, yang dapat diindikasikan sebagai titik jenuh dari proses difusi karbon terhadap material.

Sementara itu, pada proses *Quenching*, massa karbon yang diukur juga mengalami peningkatan, yaitu dari 36 mg pada 700°C, menjadi 38 mg pada 800°C, dan meningkat drastis hingga 65 mg pada suhu 900°C. Kenaikan tajam ini menunjukkan bahwa proses *quenching* berpengaruh besar dalam mempertahankan karbon yang telah terserap. Peningkatan tajam pada suhu 900°C kemungkinan disebabkan oleh struktur mikro material yang memungkinkan terbentuknya

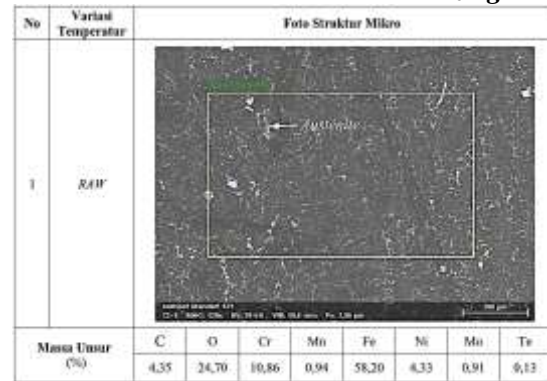
martensit yang mengunci karbon dalam struktur kisi.

Secara keseluruhan, proses *quenching* memberikan hasil massa karbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan *pack carburizing*. Hal ini menunjukkan bahwa pendinginan cepat setelah proses pemanasan membantu menghambat difusi balik karbon keluar dari permukaan dan mempertahankan kandungan karbon yang telah terserap selama proses pemanasan.

Hasil dan Pembahasan Struktur Mikro

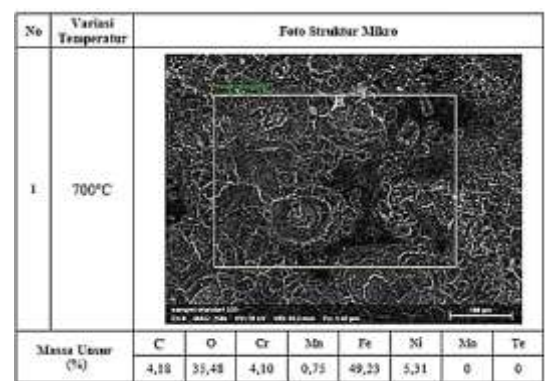
Dalam pengambilan gambar/foto mikrostruktur ini menggunakan *Scanning* dengan perbesaran maksimal 10k. Berikut adalah hasil foto mikro spesimen yang telah melewati proses *Pack Carburizing* dan *Quenching*.

Foto Mikro Perlakuan *Pack Carburizing*



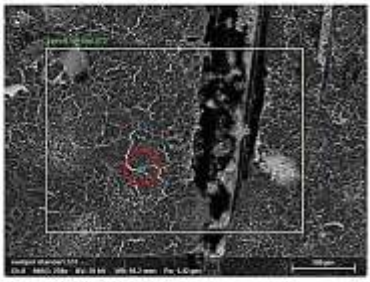
Gambar 4. Struktur Mikro RAW

Mikrostruktur RAW material SS316L pada Gambar 4. menunjukkan permukaan yang homogen dengan butiran halus dan tanpa presipitasi karbida. Tidak terdapat cacat atau retakan mikro. Kandungan unsur dominan yaitu Fe (58,20%), Cr (10,86%), Ni (4,33%), dan Mo (0,91%) menunjukkan struktur Austenitik stabil. Karbon masih rendah (4,35%), sesuai karakteristik low carbon stainless steel. Kandungan oksigen 24,70% menunjukkan lapisan pasif oksida alami.



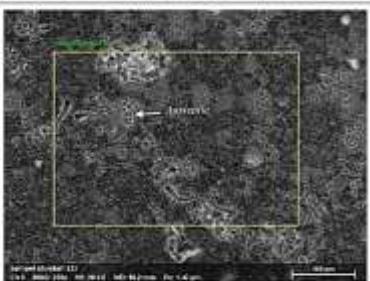
Gambar 5. Struktur Mikro *Pack Carburizing* 700°C

Pada Gambar 5. suhu 700°C, mikrostruktur mulai menunjukkan difusi karbon namun belum merata. Terlihat batas butir yang jelas dengan sedikit perubahan fasa. Karbon menurun menjadi 4,18%. Kandungan oksigen tinggi (35,48%) mengindikasikan oksidasi cukup dominan. Cr, Ni, dan Fe masih stabil, menandakan proses belum terlalu mempengaruhi komposisi inti.

No	Variasi Temperatur	Foto Struktur Mikro																		
2	800°C																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Massa Unsur (%)</th> <th>C</th> <th>O</th> <th>Cr</th> <th>Mn</th> <th>Fe</th> <th>Ni</th> <th>Mo</th> <th>Te</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>7,50</td> <td>37,03</td> <td>23,83</td> <td>0,92</td> <td>48,87</td> <td>5,43</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>			Massa Unsur (%)	C	O	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo	Te		7,50	37,03	23,83	0,92	48,87	5,43	0	0
Massa Unsur (%)	C	O	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo	Te												
	7,50	37,03	23,83	0,92	48,87	5,43	0	0												

Gambar 6. Struktur Mikro Pack Carburizing 800°C

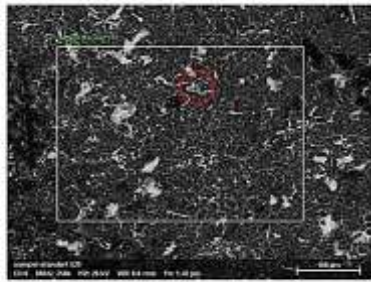
Pada Gambar 6. struktur mikro lebih padat dan mulai terbentuk lapisan karburisasi. Terlihat zona karburisasi dan kemungkinan retakan akibat tegangan termal. Karbon naik signifikan ke 7,50%. Cr menurun (23,83%) akibat pembentukan karbida, dan Fe tetap dominan (48,87%). Ini menunjukkan difusi karbon efektif, namun disertai risiko cacat struktur.

No	Variasi Temperatur	Foto Struktur Mikro																		
1	900°C																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Massa Unsur (%)</th> <th>C</th> <th>O</th> <th>Cr</th> <th>Mn</th> <th>Fe</th> <th>Ni</th> <th>Mo</th> <th>Te</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>8,40</td> <td>27,99</td> <td>16,64</td> <td>0,81</td> <td>38,63</td> <td>4,36</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>			Massa Unsur (%)	C	O	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo	Te		8,40	27,99	16,64	0,81	38,63	4,36	0	0
Massa Unsur (%)	C	O	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo	Te												
	8,40	27,99	16,64	0,81	38,63	4,36	0	0												

Gambar 7. Struktur Mikro Pack Carburizin 900°C

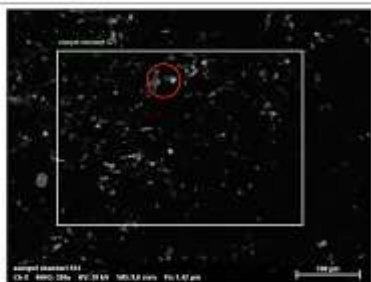
Pada Gambar 7. Dengan suhu 900°C, mikrostruktur paling homogen dan halus. Karbon tertinggi (8,40%) dan oksigen menurun (27,99%). Terjadi penurunan Cr (16,64%) dan Fe (38,63%) akibat pembentukan karbida dan difusi tinggi. Struktur Austenit mulai berubah akibat peningkatan karbon dan suhu tinggi serta lapisan karburisasi terbentuk optimal.

Foto Mikro Perlakuan Quenching

No	Variasi Temperatur	Foto Struktur Mikro																		
1	700°C																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Massa Unsur (%)</th> <th>C</th> <th>O</th> <th>Cr</th> <th>Mn</th> <th>Fe</th> <th>Ni</th> <th>Mo</th> <th>Te</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>22,29</td> <td>23,29</td> <td>9,59</td> <td>0,81</td> <td>44,31</td> <td>2,13</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>			Massa Unsur (%)	C	O	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo	Te		22,29	23,29	9,59	0,81	44,31	2,13	0	0
Massa Unsur (%)	C	O	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo	Te												
	22,29	23,29	9,59	0,81	44,31	2,13	0	0												

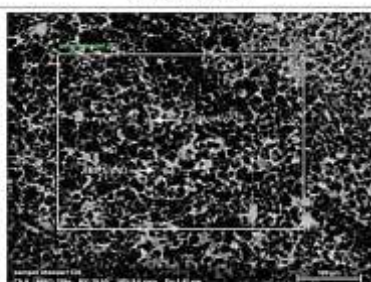
Gambar 8. Struktur Mikro Quenching 700°C

Pada Gambar 8. Quenching dari 700°C, struktur mikro menunjukkan presipitasi karbida belum merata. Karbon meningkat (22,29%) dan oksigen cukup tinggi (23,29%). Cr (9,59%) dan Fe (44,31%) mulai mengalami pengikatan dengan karbon. Mikrostruktur mulai mengalami perubahan namun belum maksimal.

No	Variasi Temperatur	Foto Struktur Mikro																		
2	800°C																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Massa Unsur (%)</th> <th>C</th> <th>O</th> <th>Cr</th> <th>Mn</th> <th>Fe</th> <th>Ni</th> <th>Mo</th> <th>Te</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>27,19</td> <td>21,17</td> <td>7,34</td> <td>0,81</td> <td>42,88</td> <td>2,68</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>			Massa Unsur (%)	C	O	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo	Te		27,19	21,17	7,34	0,81	42,88	2,68	0	0
Massa Unsur (%)	C	O	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo	Te												
	27,19	21,17	7,34	0,81	42,88	2,68	0	0												

Gambar 9. Struktur Mikro Quenching 800°C

Pada Gambar 9. 800°C, quenching menghasilkan mikrostruktur lebih halus. Karbon meningkat (27,19%) dengan penurunan Cr (7,34%) dan Fe (42,88%). Terjadi difusi karbon dan pembentukan Martensit sebagian. Nikel naik tipis, mempertahankan sebagian fasa Austenit. Struktur mulai padat namun belum sepenuhnya stabil.

No	Variasi Temperatur	Foto Struktur Mikro																		
1	900°C																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Massa Unsur (%)</th> <th>C</th> <th>O</th> <th>Cr</th> <th>Mn</th> <th>Fe</th> <th>Ni</th> <th>Mo</th> <th>Te</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>34,54</td> <td>18,20</td> <td>2,61</td> <td>1,57</td> <td>43,45</td> <td>0,58</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>			Massa Unsur (%)	C	O	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo	Te		34,54	18,20	2,61	1,57	43,45	0,58	0	0
Massa Unsur (%)	C	O	Cr	Mn	Fe	Ni	Mo	Te												
	34,54	18,20	2,61	1,57	43,45	0,58	0	0												

Gambar 10. Struktur Mikro Quenching 900°C

Pada Gambar 10. *quencing* 900°C, struktur mikro sangat rapat dan menunjukkan dominasi fasa Martensit. Kandungan karbon sangat tinggi (34,54%), dengan Cr turun drastis (2,01%). Fe tetap tinggi (43,45%), namun Austenit hampir hilang. Proses *quenching* dari suhu ini paling efektif membentuk struktur keras, namun dengan risiko korosi lebih tinggi.

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.

Uji Kekerasan Vickers

Setelah pengujian kekerasan dilakukan, hasil nilai kekerasan *Vickers* diolah menggunakan persamaan (1). Berikut adalah contoh perhitungan nilai kekerasan *Vickers* RAW Material:

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

$$\bar{x} = \frac{180,5+203,7+182,9}{3} = 189,033$$

2. Perhitungan ($x - \bar{x}$) adalah:

$$(x - \bar{x}) = (180,5 - 189,033) = -8,5333$$

$$(x - \bar{x}) = (203,7 - 189,033) = 14,6667$$

$$(x - \bar{x}) = (182,9 - 189,033) = -6,1333$$

3. Perhitungan ($(x - \bar{x})^2$) adalah:

$$(x - \bar{x})^2 = (-8,5333)^2 = 72,8178$$

$$(x - \bar{x})^2 = (14,6667)^2 = 215,111$$

$$(x - \bar{x})^2 = (-6,1333)^2 = 37,6178$$

4. Perhitungan $\sum(x - \bar{x})^2$ adalah:

$$\sum(x - \bar{x})^2 = 72,8178 + 215,111 + 37,6178 = 325,54667$$

5. Perhitungan standar deviasi (σ) berdasarkan pada persamaan (2) adalah:

$$(\sigma) = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{325,54667}{3-1}} = 1275,83$$

6. Perhitungan standar deviasi rata-rata ($\bar{\sigma}$) berdasarkan pada persamaan (3) adalah:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{1275,83}{\sqrt{3}} = 7,36599$$

7. Perhitungan kesalahan relatif (Kr) berdasarkan pada persamaan (4) adalah:

$$(Kr) = \frac{\bar{\sigma}}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{7,36599}{189,033} \times 100\% = 3,89\%$$

8. Perhitungan ketelitian pengukuran (Kp) berdasarkan pada persamaan (5) adalah:

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

Dari hasil persamaan di atas, berikut merupakan tabel rekapitulasi nilai kekerasan *Vickers* pada RAW, 700°C, 800°C, 900°C spesimen dengan *Pack Carburizing* dan *Quenching*:

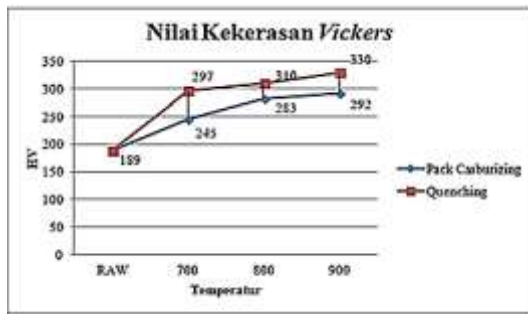
Tabel 3. Rekapitulasi Nilai Kekerasan

Variasi	VHB	x	n	(x - \bar{x})		$\sum(x - \bar{x})^2$	σ	$\bar{\sigma}$	Kr	Kp	Rata-Rata	
				(VHN)	(VHN) ²							(%)
RAW	1	180,5		-8,5333	72,8178	325,55	1275,8	7,36	1,89	96,10	189	
	2	203,7	189,03	14,6667	215,1111							
	3	182,9		-6,1333	37,6178							
700°C	Spesimen 1	1	253,8		8,413333	71,12111	211,40	14,68	4,52	1,75	98,24	245
		2	236,6	243,30	-5,76667	33,25444						
		3	241,7		-2,66667	7,111111						
800°C	Spesimen 2	1	292,6		-4,83333	23,35444	63,60	5,72	3,067	1,11	98,88	292
		2	291	292,50	-2,03333	4,134444						
		3	301,5		6,466667	41,82222						
900°C	Spesimen 3	1	308,6		5,466667	29,88444	365,24	18,91	8,68	1,42	96,58	308
		2	264,3	264,3	-18,8333	354,8889						
		3	296,5		13,86667	190,8889						
700°C	Spesimen 1	1	310,7		0,7	0,49	0,78	0,45	0,16	0,11	99,89	310
		2	309,8	310	-0,2	0,04						
		3	308,3		-0,3	0,09						
800°C	Spesimen 2	1	315,1		22,53333	507,7511	368,04	19,00	11,31	3,88	96,12	315
		2	283,7	283,58	-3,26667	10,67111						
		3	276,4		-10,16667	103,9611						
900°C	Spesimen 3	1	328,5		3,8	14,44	3,52	18,00	0,52	0,27	99,72	328
		2	351,7	350,1	1,6	2,56						
		3	330,1		0	0						

Berdasarkan Tabel 3. di atas dapat dilihat bahwa hasil nilai kekerasan pada RAW material atau spesimen tanpa perlakuan memiliki rata-rata 189,03 HV. Spesimen dengan variasi *Pack Carburizing* pada temperatur 700°C memiliki nilai rata-rata 245 HV. Pada spesimen dengan variasi karbon menggunakan *Pack Carburizing* pada temperatur 800°C memiliki nilai rata-rata 283 HV. Pada spesimen dengan variasi *Pack Carburizing* pada temperatur 900°C memiliki nilai rata-rata 292 HV. Sedangkan untuk spesimen dengan variasi *Quenching* pada temperatur 700°C memiliki nilai rata-rata 310 HV. Pada spesimen dengan variasi *Quenching* pada temperatur 800°C memiliki nilai rata-rata 330 HV. Pada spesimen dengan variasi *Quenching* pada temperatur 900°C memiliki nilai rata-rata 330 HV.

Perbandingan Nilai Kekerasan Vickers Proses Pack Carburizing dan Quenching

Berikut merupakan gambar grafik perbandingan nilai kekerasan proses *Pack Carburizing* dan *Quenching*.



Gambar 11. Perbandingan Nilai Kekerasan Vickers Proses Pack Carburizing dan Quenching

Gambar 11. di atas menunjukkan bahwa nilai kekerasan Vickers meningkat seiring dengan kenaikan temperatur perlakuan, baik pada proses *Pack Carburizing* maupun *Quenching*. Material RAW memiliki kekerasan awal sebesar 189 HV, yang merupakan nilai dasar sebelum perlakuan panas.

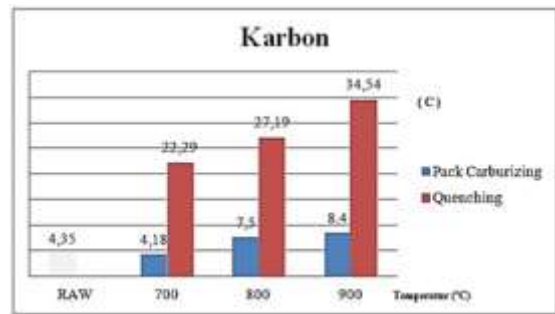
Pada temperatur 700°C, nilai kekerasan meningkat menjadi 245 HV untuk *Pack Carburizing* dan 297 HV untuk *Quenching*. Peningkatan ini disebabkan oleh masuknya karbon ke dalam permukaan material, meskipun pada tahap ini difusi karbon belum optimal.

Pada suhu 800°C, kekerasan meningkat lebih lanjut menjadi 283 HV *Pack Carburizing* dan 310 HV pada *Quenching*. Hal ini menunjukkan difusi karbon yang lebih efektif serta pembentukan awal struktur martensit pada spesimen *quenching*.

Temperatur 900°C menghasilkan nilai kekerasan tertinggi, yaitu 292 HV pada *Pack Carburizing* dan 330 HV pada *Quenching*. Suhu tinggi mempercepat difusi karbon dan membentuk lapisan permukaan yang keras. Pendinginan cepat pada *quenching* dari suhu ini menyebabkan transformasi fasa martensit yang dominan, yang secara signifikan meningkatkan kekerasan. Proses *quenching* selalu menghasilkan kekerasan lebih tinggi dibandingkan *pack carburizing* di setiap temperatur, karena pendinginan cepat mampu “mengunci” struktur martensit yang lebih keras dan rapat.

Perbandingan Kandungan Karbon Pada Spesimen Proses Pack Carburizing dan Quenching

Perbandingan kandungan karbon yang ada didalam spesimen *Pack Carburizing* dan *Quenching* akan di sajikan pada Gambar 12. di bawah:



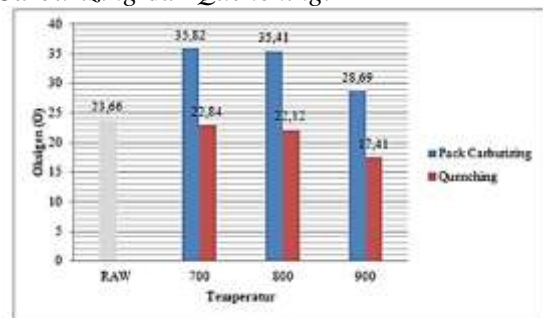
Gambar 12. Perbandingan Kandungan Karbon

Gambar 12. menunjukkan bahwa kandungan RAW 4,35% lalu menurun ditemperatur (700°C) 4,18% pada proses *Pack Carburizing* karena pada temperatur 700 spesimen plat tidak mencapai temperatur tersebut, pada temperatur 800-900 karbon meningkat seiring kenaikan temperatur pada kedua proses perlakuan. Pada *Pack Carburizing*, karbon naik dari 7,5% (800°C) menjadi 8,4% (900°C). Hal ini terjadi karena suhu tinggi mempercepat proses difusi karbon ke dalam permukaan material.

Sementara itu, pada proses *Quenching*, peningkatan karbon lebih signifikan, dari 22,29% (700°C) hingga 34,54% (900°C). Proses pemanasan diikuti pendinginan cepat menyebabkan karbon yang sudah terserap langsung “terkunci” dalam struktur mikro, membentuk fasa keras seperti martensit. Penggunaan media karbon aktif dari kopi robusta juga memperkuat penyerapan karbon.

Perbandingan Kandungan Oksigen Pada Spesimen Proses Pack Carburizing dan Quenching

Berikut adalah perbandingan kandungan oksigen yang ada didalam spesimen *Pack Carburizing* dan *Quenching*.



Gambar 13. Perbandingan Kandungan Oksigen

Pada Gambar 13. di atas, kandungan oksigen cenderung menurun dengan naiknya temperatur. Pada *Pack Carburizing*, oksigen turun dari 35,82% (700°C) menjadi 28,69% (900°C). Pada temperatur (800°C) kandungan oksigen naik melebihi temperatur (700°C)

Sedangkan pada *Quenching*, penurunan lebih drastis, dari 22,59% menjadi 18,2%.

Penurunan ini disebabkan oleh berkurangnya reaksi oksidasi pada suhu tinggi karena karbon dari media bertindak sebagai agen reduktor. Pada proses *quenching*, atmosfer tertutup dan pendinginan cepat membatasi kontak dengan udara, sehingga oksidasi lebih sedikit terjadi.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai proses *pack carburizing* dan *quenching* dengan variasi temperatur 700°C, 800°C, dan 900°C terhadap struktur mikro dan nilai kekerasan pada *Stainless Steel 316L*, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Pengaruh Temperatur terhadap Struktur Mikro spesimen *raw material* didominasi oleh fasa austenit dengan permukaan halus tanpa presipitasi yang signifikan. Pada proses *pack carburizing*, peningkatan temperatur menyebabkan difusi karbon lebih merata dan dalam. Pada 900°C, struktur mikro tampak paling homogen dengan presipitasi karbida yang menyebar luas, menunjukkan keberhasilan proses difusi karbon. Pada proses *quenching*, terbentuk fasa martensit secara signifikan. Pada suhu 900°C, struktur menunjukkan kontras tinggi dengan dominasi martensit dan kemungkinan *retained austenite*, menghasilkan permukaan yang sangat keras.

Pengaruh Temperatur terhadap Kekerasan, nilai kekerasan tertinggi pada proses *pack carburizing* diperoleh pada temperatur 900°C sebesar 292 HV, sedangkan pada proses *quenching* nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada temperatur 900°C sebesar 330 HV. Spesimen tanpa perlakuan (*raw material*) hanya memiliki kekerasan sebesar 189 HV, yang menunjukkan peningkatan kekerasan signifikan setelah proses termokimia dilakukan.

Proses Paling Efektif Proses *quenching* pada suhu 900°C merupakan variasi yang memberikan kekerasan tertinggi (330 HV).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. P. Sari, W. B. Sunarharum, and J. M. Maligan, "Literature Review: Profiling Aroma Compound of Robusta Coffe," *Pros. Semin. Nas. Teknol. Pangan VIII*, pp. 111–120, 2023.
- [2] M. Ramdany Rahmatullah, N. Mulyaningsih, and X. Salahudin, "JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING Pengaruh Variasi Media Pendingin pada Proses Pack Carburizing

terhadap Sifat Mekanis Baja Karbon Rendah," *J. Mech. Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 0–000, 2023, [Online]. Available: <http://jurnal.untidar.ac.id/index.php/mechanical/index>

- [3] 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.
- [4] R. A. F. Lubis, H. I. Nasution, and M. Zubir, "Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water Purification," *Indones. J. Chem. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 2, p. 67, 2020, doi: 10.24114/ijcst.v3i2.19531.
- [5] M. B. R. Huda and W. D. Kurniawan, "Analisa Sistem Pengendalian Temperatur Menggunakan Sensor Ds18B20 Berbasis Mikrokontroler Arduino," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 18–23, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-rekayasa-mesin/article/view/47897/39982>
- [6] G. A. Mukhrim, H. Nurdin, Z. Abadi, and E. Indrawan, "Pengaruh Proses Quenching Terhadap Kekuatan Tarik Baja Karbon Sedang Aisi 1045 the Effect of the Quenching Process on Tensile Strength of Medium Carbon Steel Aisi 1045," vol. 4, no. 4, pp. 56–62, 2022.
- [7] Sumiyanto, R. Sapura, and R. R. Darmawan, "Analisa Perbandingan Kualitas Katup Original, Katup Original Ex-Pakai Dan Katup Imitasi Sepeda Motor Yjz 110Cc," *J. Tera*, vol. 1, no. 1, pp. 84–97, 2021.
- [8] H. Sahdiah and R. Kurniawan, "Optimasi Tegangan Akselerasi pada Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX) untuk Pengamatan Morfologi Sampel Biologi," *J. Sains dan Edukasi Sains*, vol. 6, no. 2, pp. 117–123, 2023, doi: 10.24246/juses.v6i2p117-123.
- [9] Gemilang, B. S. C. (2024). Pemanfaatan karbon tempurung kelapa dan cangkang sawit sebagai bahan pack carburizing untuk meningkatkan kekerasan dan mengurangi laju korosi stainless steel tipe 304.