

THE EFFECT OF CARBON COATING ON STAINLESS STEEL 316L WITH VARIATIONS OF HARDENING PROCESSES (PACK CARBURIZING AND QUENCHING) AND TEMPERATURE ON CONDUCTIVITY AND CORROSION RATE

Cristian Florentinus Bala Bura¹, Bernardus Crisanto Putra Mbulu², Dr. Nereus Tugur Redationo³

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

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

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima:

19 Juli 2025

Naskah Disetujui:

15 Desember 2025

Naskah Diterbitkan:

31 Desember 2025

ABSTRACT

Stainless steel is an alloy steel with corrosion (rust) resistance properties. However, the good corrosion and wear resistance properties of stainless steel also require continuous improvement in its performance and service life, especially in highly aggressive environments. One approach to changing the material structure is by using a mixture based on natural carbon, such as robusta coffee grounds. Robusta coffee grounds will be converted into carbon using a pyrolysis process at a temperature of 1000°C with a holding time of 1 hour. This carbon will be used as a coating material on 316L stainless steel with a variety of pack carburizing and quenching processes and temperatures with a holding time of 1 hour, then it will undergo a testing process that includes: thermal conductivity testing, and corrosion rate testing. In the quenching process, the thermal conductivity value of 900°C has a thermal conductivity value of 20.556 W/m°C, 800°C has a thermal conductivity value of 19.669 W/m°C and a temperature of 700°C with a thermal conductivity value of 18.930 W/m°C. while in the pack carburizing process, the temperature of 900°C has a thermal conductivity value of 20.101 W/m°C, and 800° has a thermal conductivity value of 19.54684 W/m°C, while at 700°C the thermal conductivity value is 18.916 W/m°C. At the raw corrosion rate has a corrosion rate value of 7.614 mm/year, in the quenching process of 700°C has a corrosion rate of 12.781 mm/year, while the temperature of 900°C with a corrosion rate value of 18.401 mm/year, and in the pack carburizing process of 700°C has a corrosion rate value of 9.699 mm/year temperature 900°C with a corrosion rate value of 13.234 mm/year. The better process in thermal conductivity is quenching, because it has a faster time but has a high conductivity value, while for the best corrosion rate is the pack carburizing process because it has a smaller corrosion rate value compared to the quenching process

Keywords: *robusta coffee grounds carbon, pack carburizing, quenching, 316L stainless steel, thermal conductivity, corrosion rate*

PENDAHULUAN

Baja tahan karat tipe SAE 316L adalah baja tahan karat austenitik yang merupakan varian karbon dari baja tahan karat 316[1]. Pada *stainless steel* 316 ada penambahan molybdenum untuk meningkatkan ketahanan korosi lebih baik dibandingkan 304, (L) pada 316L menunjukkan unsur karbon yang lebih rendah (biasanya maksimum 0,03%), yang menawarkan ketahanan korosi lebih tinggi[2].

Pack carburizing dan *quenching* merupakan dua proses yang berkaitan erat dalam pengolahan panas baja. Proses *pack carburizing* melibatkan difusi karbon ke dalam permukaan

baja pada temperatur tinggi dengan tujuan untuk meningkatkan kadar karbon dilapisan permukaan. Setelah proses ini, *quenching* dilakukan yang merupakan metode pendinginan cepat pada baja yang telah dikarburasi (proses pengerasan) untuk menjaga sifat kekerasan di lapisan permukaan baja[3].

Limbah ampas kopi memiliki kemampuan untuk diolah menjadi karbon aktif, Ampas kopi robusta akan di pirolisis dengan temperatur 1000°C untuk menjadi karbon, yang dapat digunakan untuk berbagai tujuan. karbon ampas kopi robusta yang nanti digunakan dalam pelapisan *stainless steel* yang nantinya untuk

melihat nilai konduktivitas termal dan laju korosi[4].

Penelitian ini akan berfokus variasi proses *pack carburizing* dan *quenching* dengan penambahan karbon yang berasal dari ampas skopi robusta pada *stainless steel* 316L, kemudian akan melihat nilai konduktivitas termalnya setelah proses, serta melihat laju korosinya menggunakan cara elektrolisis yang akan diketahui nilai laju korosi, serta juga bisa menghasilkan hidrogen

Karbon Ampas Kopi Robusta

Kopi robusta memiliki kandungan karbon, baik sebagai penyimpanan karbon di kebun maupun sebagai bahan utama untuk pembuatan karbon aktif. Peresentasi karbon robusta melebihi arabika. Ampas kopi robusta dapat dimanfaatkan menjadi karbon aktif melalui pirolisis (pembakaran tanpa oksigen) dan aktivasi (menggunakan bahan kimia seperti KOH atau HCL), yang dapat digunakan untuk berbagai tujuan seperti *adsorben*, bahan elektroda superkapasitor, dan bahan lapis tipis[4].

Pemanfaatan limbah ampas kopi robusta menjadi produk yang memiliki nilai tambah yang sangat diperlukan saat ini, salah satunya adalah membuat karbon dari ampas kopi robusta sebagai bahan lapis tipis pada *stainless steel* 316L, (M Novianto, 2024) untuk melihat nilai konduktivitas termal serta laju korosi, dan juga nanti bisa di lanjutkan dengan elektrolisis untuk melihat besar hidrogen pada plat yang sudah dilapisi[5].

Stainless Steel 316L

Stainless steel 316 merupakan jenis baja tahan karat yang termasuk austenitik karena memiliki ketahanannya yang luar biasa terhadap korosi, terutama terjadi di lingkungan yang mengandung klorida. Baja ini merupakan paduan besi, kromium, nikel, dan molibdenum. Molibdenum yang menjadi komponen kunci untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi[6].

Stainless steel 304, 316, dan 316L memiliki perbedaan utama dalam komposisi kimia dan tingkat ketahanan korosi, *Stainless steel* 304 memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi, biasa digunakan untuk pengaplikasian umum dan 316 menambahkan molibdenum yang meningkatkan ketahanan korosi[7].

Pack Carburizing dan Quenching

Pack carburizing merupakan merupakan proses dimana komponen logam ditempatkan di dalam media karbon atau dibungkus bersama

karbon dan dipanaskan didalam tungku pemanas[8].

Quenching adalah metode perlakuan panas yang dirancang untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan logam atau baja dengan memanaskan bahan pada temperatur tertentu lalu mendinginkan dengan cepat pada media pendingin seperti: air, air garam, minyak dan oli[9].

Korosi

Korosi adalah proses dimana material mengalami kerusakan atau degradasi, yang disebabkan oleh reaksi kimia antara logam dan elemen lainnya[10].

Temperatur

Temperatur yang lebih tinggi biasanya mempercepat laju difusi, tetapi juga dapat berpengaruh terhadap struktur mikro dan karakteristik mekanis dari material[11].

Pemilihan temperatur yang sesuai juga bergantung pada tipe baja yang digunakan, ke dalam *carburizing* yang diinginkan, dan karakteristik mekanik yang diperlukan untuk produk akhir[12].

Pengujian Laju Korosi Dengan Metode Kehilangan Berat

Untuk menilai tingkat korosi, umumnya di terapkan dua pendekatan berbasis kehilangan berat[13]. Berikut rumus untuk menghitung nilai laju korosi dengan metode kehilangan berat:

$$Mpy = \frac{w}{D \cdot A \cdot T} \quad (1)$$

Keterangan:

- Mpy : mil per year
- w : kehilangan berat (mg)
- D : densitas (g/cm³)
- A : luas penampang spesimen (cm²)
- T : waktu pengkorosian (jam)

Kalor

Kalor merupakan suatu energi yang mengalami perpindahan akibat perbedaan temperatur[14]. Berikut ini rumusan menghitung nilai kalor

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (2)$$

Keterangan:

- Q : jumlah kalor (J)
- m : massa benda (kg)
- c : kalor jenis zat (J/kg°C)
- ΔT : perbedaan temperatur (°C)

Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan proses perpindahan energi panas dari suatu tempat ke tempat yang lain akibat adanya perbedaan temperatur[14]. Berikut rumus perpindahan panas konduksi:

$$q = k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (3)$$

Keterangan:

q : Laju perpindahan panas konduksi (W)

k : Konduktivitas termal (W/m.K)

A : Luas penampang material (m²)

$\frac{dT}{dx}$: Gradien temperatur pada penampang (K/m)

Adapun unsur lain yang mempengaruhi gaya normal tambahan :

1. Perpindahan panas konveksi

Merupakan proses perpindahan panas melalui pergerakan fluida.

$$Q_{conv} = h \cdot A(T_{\infty} - T) \quad (4)$$

Keterangan

Q_{conv} : laju perpindahan panas konveksi (W/m²)

h : koefisien perpindahan panas konveksi (W/m².K)

A : luas penampang (m²)

T_{∞} : temperatur fluida sekitar (°C)

T : temperatur permukaan bahan (°C)

2. Radiasi

Merupakan perpindahan panas yang terjadi akibat pancaran sinar dan radiasi gelombang elektromagnetik tanpa melalui molekul.

Konduktivitas Termal

Merupakan kemampuan suatu material dalam menghantar panas[5]. Karena plat terlapis, maka jika kedua plat dianggap membentuk lapisan dan luasannya adalah sama, persamaan menjadi [19]:

$$k_{terlapis} = \frac{q \cdot [L_1 + L_2]}{\Delta T \cdot A} + \frac{q_{ss} \cdot L_1}{A \cdot (T_2 - T_1)} \quad (5)$$

Ketika sudah mencapai puncak, nilai plat SS menjadi konstan (k_{ss}), sehingga rumusnya menjadi:

$$k_{terlapis} = \frac{q \cdot [L_1 + L_2]}{\Delta T \cdot A} + k_{ss} \quad (6)$$

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan metode ekperimental dengan pendekatan kuantitatif dikarenakan dalam proses *pack carburizing* ini menggunakan dua proses yang berbeda[15].

Deskripsi Penelitian

Pada proses *pack carburizing* plat akan ditimbun dengan karbon yang dibungkus menggunakan aluminium foil, kemudian

dipanaskan dengan temperatur yang sudah ditentukan (700°C, 800°C, 900°C), dengan waktu penahanan 60 menit yang akan membuka pori-pori pada plat untuk masuknya karbon ke dalam plat, dengan harapan semakin tinggi temperatur maka akan semakin banyak juga karbon yang akan masuk ke dalam pori-pori plat.

Sedangkan pada proses *quenching* akan terjadi pemuaian, sehingga mengubah struktur plat dengan terbukannya pori-pori pada plat, dengan semakin tinggi temperatur maka semakin terbuka juga pori-pori pada plat, serta terjadinya juga perubahan warna disaat plat dipanaskan, dengan semakin tinggi temperatur maka plat akan tambah memerah.

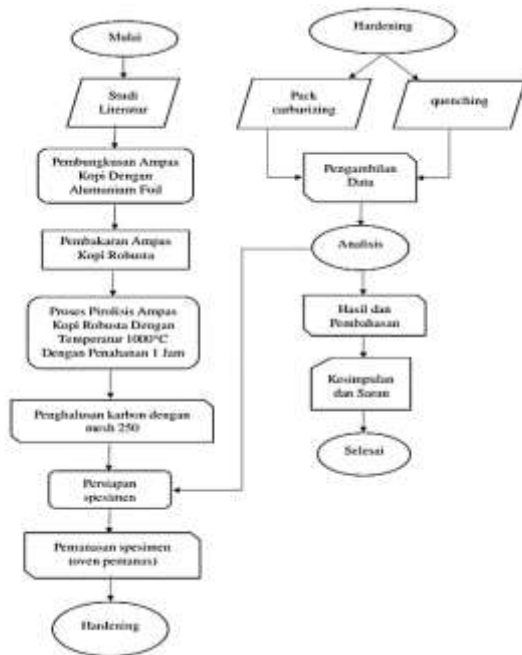
Setelah proses pemanasan plat kemudian diangkat dari dalam tungku pemanas yang selanjutnya dimasukan ke dalam wadah aluminium yang berisikan oli dan karbon yang sudah diaduk sampai tercampur merata. Ketika plat dimasukan ke dalam wadah aluminium akan terjadi proses pendinginan yang akan menutup pori-pori pada plat, yang akan berpotensi menjebak secara paksa karbon untuk masuk ke dalam pori-pori plat. Setelah kedua proses selesai, kemudian dilanjutkan dengan penimbangan massa plat setelah dilakukan proses *pack carburizing* karena massa plat setelah perlakuan akan sangat berpengaruh pada konduktivitas termal dan laju korosi.

Dalam pengujian konduktivitas termal, awalnya dilakukan melalui ketebalan dari plat *stainless steel* 316L hingga mencapai temperatur tertinggi, dengan mengacu pada persamaan (5). Setelah temperatur plat *stainless steel* 316L terlampaui, maka T_1 = temperatur maksimal dari plat *stainless steel* 316L dan T_2 meningkat hingga mencapai temperatur tertinggi lapisan, diperoleh nilai k yang jauh lebih tinggi dibandingkan temperatur puncak *stainless steel* 316L dimana perhitungan konduktivitas lapisan dapat dijelaskan pada persamaan (6).

Variabel Penelitian

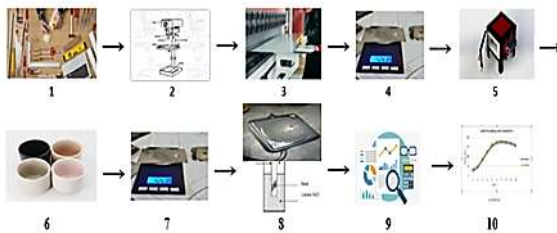
1. Variabel bebas: Variasi temperatur setiap spesimen: 700°C, 800°C, 900°C
2. Variabel terikat: Oli SAE 40, karbon kopi robusta sebagai pelapis dengan jumlah tiap spesimen 50 g. Material *stainless steel* 316L, dan larutan KOH sebagai bahan uji korosi.
3. Variabel terkontrol: Menit dalam pengambilan data konduktivitas termal selama 11 menit, Pengambilan data laju korosi menggunakan elektrolisis selama 1 jam

Diagram Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Skema Penelitian



Gambar 2. Skema Penelitian

1. Persiapan Alat dan Bahan

Pada penelitian ini terdapat beberapa alat dan bahan yang digunakan yaitu: tungku pemanas, kompor listrik, mortar, timbangan digital, wadah keramik, mesh ukuran 250, penjepit, wadah alumunium, arduino, termokopel, plat stainless steel 316L, oli mesran SAE 40, serta karbon kopi robusta dan alumunium foil.

2. Proses Pengeboran Plat

Plat *stainless steel* 316L terlebih dahulu dipotong sesuai ukuran 7 cm x 4 cm. kemudian plat dibor sesuai dengan titikan yang sudah ditandai, mata bor yang digunakan juga harus sesuai ukuran yaitu di satu sisi menggunakan ukuran bor 8 dan yang sisi sebelahnya menggunakan ukuran bor 6.



Gambar 3. Plat *Stainless Steel* 316L

3. Pembersian Plat *Stainless Steel* 316L

Plat *stainless steel* 316L yang sudah di bor kemudian akan dibersihkan terlebih dahulu sebelum masuk keproses *pack carburizing* agar terhindar dari kotoran yang menempel pada plat, pembersian plat menggunakan air dan kemudian dilap menggunakan kain.

4. Penimbangan Awal Plat

Proses penimbangan bertujuan untuk melihat berat (massa) sebelum dilakukan proses pelapisan karbon.

5. Pemanasan Plat

Setelah penimbangan plat kemudian akan dilakukan proses pemanasan pada tungku pemanas dengan variasi temperatur yang sudah ditentukan yaitu: 700°C, 800°C, dan 900°C dengan penahanan pada saat temperatur sudah mencapai temperatur yang sudah ditentukan akan ditahan selama 1 jam.

6. *Pack Carburizing* dan *quenching*

Proses *pack carburizing* yang yang saya pakai ada dua variasi yaitu yang pertama plat langsung dibungkus menggunakan alumunium foil yang berisi di dalamnya berupa karbon dengan massa 50 g, lalu di letakan pada wadah keramik dan siap untuk dimasukkan ke dalam tungku pemanas.

Kemudian proses yang berikutnya plat atau spesimen dipanaskan didalam tungku pemanas dengan temperatur yang sudah ditentukan dan dilakukan penahanan, lalu plat di ambil dan dicelupkan ke dalam wadah alumunium yang berisi oli dengan ukuran 200 ml, dan di tambah karbon kopi robusta dengan massa 50 g.

7. Penimbangan Akhir Plat

Setelah proses *pack carburizing* plat *stainless steel* 316L di bersikan terlebih dahulu sebelum dilakukan penimbangan berat (massa) pada plat yang sudah terlapiskan dengan karbon.

8. Pengujian Konduktivitas Termal dan Laju Korosi

Selanjutnya plat yang sudah ditimbang akan dilakukan pengujian konduktivitas termal dan laju korosi. Pada uji konduktivitas termal dilakukan 2 spesimen dimana pengujian menggunakan kompor listrik dengan kecepatan pemanas 5 dan sensor termokopel .

Sedangkan uji laju korosi menggunakan 1 spesimen dimana spesimen akan di uji korosi menggunakan air dengan ukuran 1,5 L, yang di campurkan dengan KOH (kalium hidroksida) dengan massa

147 g. kemudian diproses selama 1 jam untuk melihat laju korosi pada plat, dengan menggunakan proses elektrolisis.

9. Pengolahan Data

Berikutnya data hasil pengujian diperoleh dan diolah menggunakan tabel dan rumus serta grafik yang sudah dibuat.

10. Pembahasan

Setelah proses pengolahan data maka akan dibahas untuk melihat pada penelitian ini apa saja yang menarik untuk dibahas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data dan Hasil Uji Konduktivitas Termal

Tabel 1. Data Massa Plat Sebelum dan Sesudah Proses

Temperatur °C	Pack Carburizing				Quenching			
	Sebelum	Sesudah	Selisih Berat	Rata-rata	Sebelum	Sesudah	Selisih Berat	Rata-rata
700	37750	37764	13	15	37467	37492	25	18,5
	37862	37878	16		37307	37319	12	
800	37789	37809	20	22	37448	37490	42	37
	37613	37637	24		37380	37412	32	
900	37976	38000	24	28,5	37947	38001	54	51,5
	37904	37937	33		37887	37936	49	

Dari Tabel 1. nilai massa ini akan berpengaruh pada cepat dan lambatnya serta besarnya nilai konduktivitas termal, dan juga dari nilai massa ini akan berpengaruh pada laju korosi.

Perhitungan Nilai Konduktivitas Termal

1. Perhitungan Kalor Masuk

Perhitungan kalor yang masuk dilakukan dengan cara memanaskan air menggunakan kompor listrik yang diletakan dalam sebuah wadah berbahan aluminium, di mana jumlah (massa) air yang digunakan adalah 0,05 kg dan massa wadah aluminium tersebut sebesar 0,015 kg. kapasitas kalor untuk air ditentukan sebesar 4.220 J/kg°C. berdasarkan rumus (2.2), nilai kalor yang masuk (Q_{in}) diperoleh melalui perhitungan berikut ini:

$$Q_{air} = 0,05 \text{ kg} \cdot 4.220 \text{ J/kg} \cdot \text{°C} \cdot 77\text{°C} = 16.247 \text{ J}$$

$$Q_{wadah} = 0,015 \text{ kg} \cdot 902 \text{ J/kg} \cdot \text{°C} \cdot 77\text{°C} = 1.041 \text{ J}$$

$$Q_{in} = Q_{in} + Q_{wadah} = 16.247,87 \text{ J} + 1.041 \text{ J} = 17.288,87 \text{ J} = \frac{17.288,87 \text{ J}}{600 \text{ s}} = 26,19515 \text{ W}$$

2. Perhitungan Konduktivitas Termal

Pada pengukuran konduktivitas termal, nilai kalor (q) yang dihasilkan oleh kompor listrik adalah sebesar 26,195 W. proses perhitungan konduktivitas berlangsung seiring bertambahnya waktu, sehingga ΔT mengalami perubahan setiap detik selama 660 detik. Energi panas awal akan melewati panas pada stainless steel 316L sampai mencapai puncak maksimum

yaitu 200°C, sehingga nilai L₂ menjadi 0,0001 m, dan nilai K_{ss} tercatat 18,7108 W/m.°C. berikut adalah perhitungan nilai konduktivitas termal pada detik pertama yang mengacuh pada persamaan (5):

$$k_{terlapis} = \frac{q \cdot [L_1 + L_2]}{\Delta T \cdot A} + \frac{q_{ss} \cdot L_1}{A \cdot (T_2 - T_1)}$$

$$k_{terlapis} = \frac{26,195 \text{ W} \cdot (0,002 \text{ m} + 0,0001 \text{ m})}{(300,75\text{°C} - 29,63\text{°C}) \cdot 0,0028 \text{ m}^2} + \frac{26,195 \text{ W} \cdot 0,002 \text{ m}}{0,0028 \text{ m}^2 \cdot (200\text{°C} - 29,63\text{°C})}$$

$$k_{terlapis} = 0,183 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$$

Setelah temperatur plat stainless steel 316L terlampaui, maka T₁ sama dengan temperatur tertinggi dari plat stainless steel 316L dan T₂ meningkat hingga mencapai titik tertinggi dari lapisan maksimal temperatur plat yang dilapisi, maka nilai k yang diperoleh jauh lebih tinggi dari pada temperatur puncak stainless steel 316L, sehingga perhitungan konduktivitas termal lapisan dilakukan dengan mengacuh pada rumus (6):

$$k_{terlapis} = \frac{q \cdot [L_1 + L_2]}{\Delta T \cdot A} + k_{ss}$$

$$k_{terlapis} = \frac{26,19515 \text{ W} \cdot (0,002 \text{ m} + 0,0001 \text{ m})}{(300,75\text{°C} - 199,38\text{°C}) \cdot 0,0028 \text{ m}^2} + 18,711 \frac{\text{W}}{\text{m}} \cdot \text{°C}$$

$$k_{terlapis} = 18,904 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$$

Perhitungan konduktivitas termal dilakukan pada setiap spesimen serta dihitung setiap detiknya untuk melihat kenaikan nilai konduktivitas termal seiring bertambahnya waktu sampai di akhir temperatur dengan waktu 660 detik.

Tabel 2. Hasil Konduktivitas Termal Spesimen RAW dan Pack Carburizing

RAW			700 PK			800 PK			900 PK		
Waktu (detik)	T (°C)	K (w/m°C)	Waktu (detik)	T (°C)	K (w/m°C)	Waktu (detik)	T (°C)	K (w/m°C)	Waktu (detik)	T (°C)	K (w/m°C)
0	29,00	0,109	0	31,63	0,184	0	29,13	0,182	0	29,63	0,182
1	29,00	0,109	1	31,63	0,184	1	29,13	0,182	1	29,63	0,182
2	29,00	0,109	2	31,63	0,184	2	29,25	0,182	2	29,63	0,182
3	29,25	0,110	3	31,75	0,184	3	29,25	0,182	3	29,63	0,182
4	29,25	0,110	4	31,75	0,184	4	29,25	0,182	4	29,75	0,182
5	30,25	0,110	5	31,75	0,184	5	29,25	0,182	5	29,75	0,182
578	199,75	18,711	585	199,63	18,905	419	199,63	18,905	423	199,38	18,905
579	200,00	18,711	586	199,88	18,906	420	200,00	18,906	424	199,88	18,906
580	200,50	18,711	587	200,00	18,906	421	200,75	18,907	425	201,00	18,908
581	200,75	18,711	588	200,25	18,906	422	201,50	18,909	426	202,00	19,910
582	200,50	18,711	589	200,38	18,907	423	202,50	18,911	427	202,50	18,911
583	200,75	18,711	590	200,50	18,907	424	202,63	18,911	428	202,88	18,912
627	198,75	9,355	646	204,88	18,916	609	280,13	19,534	627	286,13	20,054
628	199,50	14,969	647	205,00	18,916	610	280,25	19,538	628	286,25	20,066
629	198,00	6,804	648	205,00	18,916	611	280,25	19,538	629	286,63	20,102
630	198,75	9,355	649	205,00	18,916	612	280,25	19,547	630	286,63	20,102
631	198,00	6,804	650	204,50	18,915	613	280,25	19,551	631	286,50	20,090
632	198,25	7,848	651	204,63	18,915	614	280,13	19,556	632	286,50	20,090
659	198,25	7,484	659	203,63	18,913	659	275,00	19,474	659	284,13	19,893
660	197,75	6,237	660	203,50	18,913	660	274,75	19,466	660	284,13	19,893

Tabel 3. Hasil Konduktivitas Termal Spesimen RAW dan Quenching

RAW			700 QU			800 QU			900 QU		
Waktu (detik)	T (°C)	K (w/m°C)	Waktu (detik)	T (°C)	K (w/m°C)	Waktu (detik)	T (°C)	K (w/m°C)	Waktu (detik)	T (°C)	K (w/m°C)
0	29,00	0,109	0	29,63	0,182	0	29,75	0,182	0	29,63	0,182
1	29,00	0,109	1	29,75	0,182	1	29,75	0,182	1	29,63	0,182
2	29,00	0,109	2	29,88	0,183	2	29,88	0,183	2	29,75	0,182
3	29,25	0,110	3	29,88	0,183	3	29,88	0,183	3	29,75	0,182
4	29,25	0,110	4	30,00	0,183	4	29,88	0,183	4	29,75	0,182
5	30,25	0,110	5	30,00	0,183	5	29,88	0,183	5	29,75	0,182

578	199,75	18,711	568	199,38	18,905	401	199,13	18,904	372	198,75	18,901
579	200,00	18,711	569	199,75	18,905	402	199,75	18,905	373	199,25	18,901
580	200,50	18,711	570	200,13	18,906	403	200,25	18,906	374	200,00	18,902
581	200,75	18,711	571	200,25	18,906	404	201,00	18,908	375	200,88	19,903
582	200,50	18,711	572	200,50	18,907	405	201,75	18,909	376	201,50	18,904
583	200,75	18,711	573	200,63	18,907	406	202,38	18,911	377	202,00	18,906
627	198,75	9,355	621	210,63	18,929	609	280,13	19,663	568	290,25	20,517
628	199,50	14,969	622	211,00	18,930	610	280,25	19,669	569	290,38	20,517
629	198,00	6,804	623	211,13	18,930	611	280,25	19,669	570	290,50	20,560
630	198,75	9,355	624	210,88	18,929	612	280,25	19,669	571	290,13	20,582
631	198,00	6,804	625	210,88	18,929	613	280,25	19,669	572	290,00	20,604
632	198,25	7,848	626	210,63	18,929	614	280,13	19,663	573	290,00	20,628
659	198,25	7,484	659	204,13	18,914	659	271,63	19,385	659	274,63	19,481
660	197,75	6,237	660	204,13	18,615	660	271,38	19,380	660	274,38	19,474

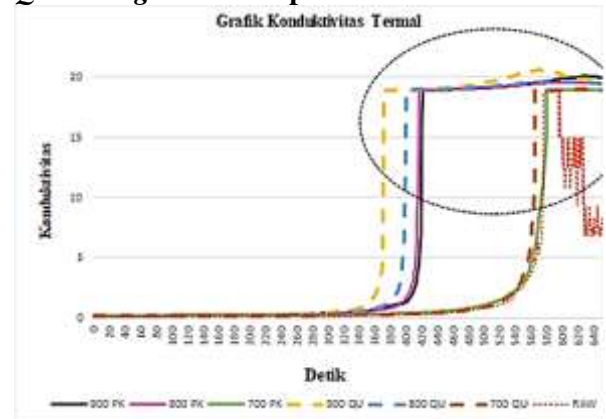
Dari Tabel 2. dan hitungan, terlihat bahwa nilai konduktivitas termal akan meningkat, bisa dilihat pada tabel bahwa nilai plat *stainless steel* 316L (*Raw*) sebagai patokan untuk naiknya nilai konduktivitas termal serta juga dapat dilihat pada waktu tercepat untuk naiknya nilai konduktivitas termalnya. Pada *raw* pada waktu 578 detik temperatur 199,75°C dengan nilai konduktivitas termalnya 18,711 W/m²·°C, nilai ini sebagai patokan untuk melihat konduktivitas termal serta waktu tercepat untuk mengetahui mana yang terbaik, terus pada temperatur maksimum 200,75°C mendapatkan nilai konduktivitas termal 18,710 W/m²·°C, menjelaskan bahwa pada temperatur 200°C nilai konduktivitas termalnya tidak diteruskan lagi.

Pada 900°C *pack carburizing* (PK) pada waktu 424 detik memiliki temperatur 199,88°C dengan nilai konduktivitas termalnya 18,906 W/m²·°C, sedangkan pada waktu ke 629 detik temperatur mencapai panas maksimum 286,63°C dengan nilai konduktivitas termalnya 20,102 W/m²·°C. sedangkan pada 800°C *pack carburizing* waktunya 419 detik dengan temperatur 199,63 °C dengan nilai konduktivitas termalnya 18,905 W/m²·°C, sedangkan pada temperatur maksimum pada waktu ke 610 dengan temperatur 280,25°C dengan nilai konduktivitas termalnya 19,538 W/m²·°C. sedangkan pada 700°C *pack carburizing* waktunya mengalami kenaikan sedangkan nilai konduktivitas termalnya mengalami penurunan, pada waktu 586 detik dengan temperatur 199,88°C memiliki nilai konduktivitas termalnya 18,906 W/m²·°C, dengan temperatur maksimum pada waktu 647 pada temperatur 18,916 W/m²·°C.

Sedangkan pada Tabel 3. proses *quenching* (QU) pada temperatur 900°C untuk waktunya lebih rendah dari pada 800°C, dan 700°C. Tetapi untuk nilai konduktivitas termalnya 900°C lebih besar dari pada temperatur yang lain. Pada temperatur 900°C *quenching* waktu 374 detik dengan temperatur 200°C memiliki nilai konduktivitas termal 18,902 W/m²·°C. saat mencapai nilai puncak pada waktu ke 570 detik dengan temperatur 290,50°C memiliki nilai konduktivitas termal 20,560

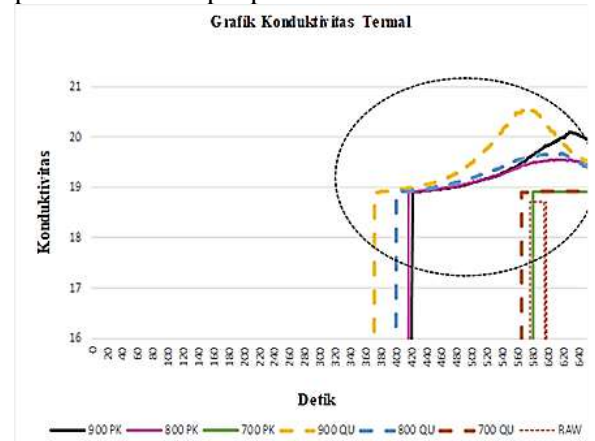
W/m²·°C. Pada 800°C *quenching* waktu ke 402 detik dengan temperatur 199,75°C memiliki nilai konduktivitas termalnya 18,905 W/m²·°C, saat mencapai puncak temperatur 280,25°C pada waktu 610 detik dengan nilai konduktivitas 19,669 W/m²·°C. sedangkan pada *quenching* 700°C pada waktu 569 detik dengan temperatur 199,75°C memiliki nilai konduktivitas 18,905 W/m²·°C, saat mencapai puncak temperatur 211,13°C pada waktu 623 detik dengan nilai konduktivitas 18,930 W/m²·°C.

Perbandingan Konduktivitas Termal dengan Variasi Proses *Pack Carburizing* dan *Quenching* Serta Temperatur



Gambar 4. Perbandingan Konduktivitas Termal dengan Variasi Proses *Pack Carburizing* dan *Quenching* serta temperatur

Untuk memperjelas gambar pada kenaikan konduktivitas termal serta penurunan pada saat mencapai puncak maksimum.



Gambar 5. Perbesaran Puncak Konduktivitas Termal

Dari Gambar 4. dan 5. menunjukkan bahwa variasi proses *pack carburizing* dan *quenching* serta temperatur sangat berpengaruh pada waktu serta kenaikan konduktivitas termalnya pada plat *stainless steel* 316L. Hasil Gambar 5. menunjukkan bahwa pada proses *quenching* dengan temperatur 900°C menunjukkan bahwa waktu kenaikan konduktivitas termalnya lebih cepat dibandingkan dengan 900°C pada proses

*pack carburizing*nya, tapi sama-sama tetap mengalami kenaikan meskipun sudah mencapai nilai maksimum pada nilai konduktivitas *raw*-nya.

Pada temperatur 800°C *quenching* juga menunjukkan bahwa waktu dan kenaikan konduktivitas termalnya lebih cepat dibandingkan dengan 800°C *pack carburizing*, tapi masih mengalami kenaikan saat mencapai puncak maksimum pada nilai *raw*. Ini membuktikan bahwa perlakuan proses juga sangat berpengaruh terhadap cepatnya kenaikan konduktivitas termalnya.

Sedangkan pada temperatur 700°C *quenching* juga masih sama bahwa waktu dan kenaikan konduktivitas termal masih lebih cepat dengan proses *quenching* dibandingkan dengan proses 700°C *pack carburizing*, sedangkan pada saat nilai konduktivitas mencapai puncak, tidak lagi mengalami kenaikan melainkan nilai konduktivitasnya konstan.

Dari proses *quenching* lebih baik dalam waktu dan nilai konduktivitas termal [16], karena pada proses *pack carburizing* panas yang masuk ke dalam plat *stainless steel* 316L tidak sama dengan perlakuan panas yang diharapkan yaitu: 700°C, 800°C, 900°C. terlihat dari Gambar 4. dan Tabel 2. pada temperatur 700°C *pack carburizing* kalah sama *raw* karena pada temperatur 700°C kurang membuka pori-pori pada plat, yang disebabkan panas yang masuk terisolasi pada wadah penampung spesimen serta aluminium foil. Sehingga panas yang terhantar ke plat kurang dari temperatur rekristalisasi. Sehingga distribusi karbon lebih rendah pada proses *pack carburizing* dibandingkan dengan proses *quenching*. Pada proses *quenching* temperatur 700°C, 800°C, 900°C berada diatas rekristalisasi sehingga pertumbuhan karbon meningkat akibat struktur dan fasa terbuka. Hal ini, lebih jelas dilihat pada Tabel 3. *quenching*. Terlihat bahwa unsur karbon naik secara signifikan.

Pada tahap awal pemanasan, lapisan karburisasi dapat berfungsi sebagai isolator ringan yang, sehingga peningkatan temperatur berlangsung lebih lambat dibandingkan dengan *stainless steel* biasa atau tanpa lapisan. Namun, setelah mencapai titik temperatur maksimal, lapisan ini mampu mempertahankan panas dengan lebih efisien karena densitasnya (massa jenis) yang lebih tinggi.

Perhitungan Nilai Korosi

Pada pengujian laju korosi menggunakan plat *stainless steel* 316L yang memiliki ukuran 7 cm x 4 cm x 2 mm, dilakukan dengan cara proses

elektrolisis dengan menggunakan kadar air dengan jumlah 1,5 liter dan kadar KOH 147 gram selama 1 jam.

1. Perhitungan Nilai Laju Korosi *Pack Carburizing*

Setelah pelaksanaan elektrolisis selama 1 jam, data mengenai kehilangan berat akan dihitung menggunakan rumus (1) untuk menentukan tingkat korosi pada spesimen. Berikut adalah perhitungan tingkat korosi pada spesimen untuk mengetahui nilai korosinya:

$$A = 2 (p.l + p.t + l.t)$$

$$A = 2(7.4 + 7.0,2 + 4.0,2)$$

$$A = 60,4 \text{ cm}^2$$

Diketahui:

$$W = 42 \text{ mg dijadikan} = 0,042 \text{ g}$$

$$A = 60,4 \text{ cm}^2$$

$$T = 1 \text{ jam}$$

$$D = 8,0 \text{ g/cm}^3$$

Jawab:

$$\begin{aligned} \text{Laju korosi (Mpy)} &= \frac{W}{A.T.D} \\ &= \frac{0,042 \text{ g}}{60,4 \text{ cm}^2 \cdot 1 \text{ jam} \cdot 8,0 \text{ g/cm}^3} = \frac{0,042 \text{ g}}{483,2 \text{ jam.g/cm}^3} \\ &= \frac{0,042 \text{ g}}{483,2 \text{ jam.g/cm}^3} \times \frac{8760 \text{ jam}}{1 \text{ year}} \times \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \\ &= 7,61 \text{ mm/year} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat juga dilakukan untuk menghitung nilai laju korosi pada spesimen variasi proses *pack carburizing* dan *quenching* serta temperatur.

Tabel 4. Laju Korosi Pada Proses *Pack Carburizing*

HASIL UJI KOROSI						
<i>Pack Carburizing</i>						
Temperatur	Sesudah Proses	Sesudah Uji Korosi	Selisih Berat	Kehilangan Berat	Rata-rata	Laju Korosi
°C	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(mm/year)
RAW	37917	37875	0	42	42	7,61
700	37764	37712	14	52	53,5	9,70
	37878	37823	16	55		
	37809	37753	20	56		
800	37637	37569	24	68	62	11,24
	38000	37928	24	72		
900	37937	37863	33	74	73	13,23

Dari Tabel 4. terlihat bahwa pada proses *pack carburizing* menunjukkan bahwa semakin banyak karbon ampas kopi yang masuk ke dalam plat maka semakin besar juga nilai korosinya, dibuktikan dengan laju korosi pada RAW menghasilkan laju korosi sebesar 7,61 mm/year. Sedangkan pada temperatur 700°C mengalami kenaikan pada nilai laju korosi sebesar 9,70 mm/year, dan nilai laju korosi terus meningkat pada temperatur 800°C memiliki nilai laju korosi sebesar 11,24 mm/year, terus meningkat laju korosi pada temperatur 900°C nilai laju korosi terus mengalami kenaikan dengan laju korosi sebesar 13,23 mm/year. Disini membuktikan bahwa semakin banyak karbon yang masuk ke

dalam *stainless steel* 316L, maka semakin besar juga laju korosinya.

2. Perhitungan Nilai Laju Korosi Pada Proses *Quenching*

Berikut ini adalah tabel dari hasil laju korosi pada spesimen untuk perbedaan proses yaitu *quenching*:

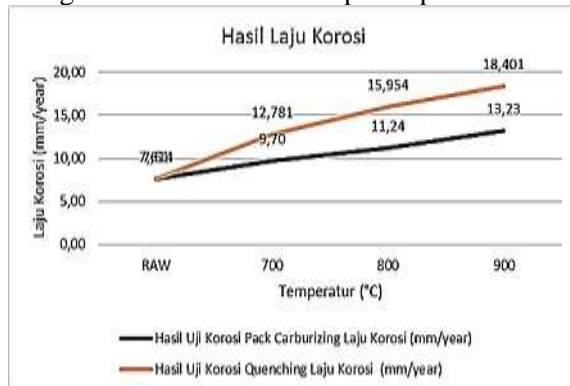
Tabel 5. Laju Korosi Pada Proses *Quenching*

HASIL UJI KOROSI						
Quenching						
Temperatur	Sesudah Proses	Sesudah Uji Korosi	Selisih Berat	Kehilangan Berat	Rata-rata	Laju Korosi
°C	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(mm/year)
RAW	37917	37875	0	42	42	7,61
700	37492	37419	25	73	70,5	12,78
	37319	37251	12	68		
800	37490	37395	42	95	88	15,95
	37412	37331	32	81		
900	38001	37897	54	104	101,3	18,40
	37936	37837	49	99		

Dari Tabel 5. terlihat bahwa pada proses *quenching* menunjukkan bahwa semakin banyak karbon ampas kopi robusta yang masuk ke dalam plat maka semakin besar juga nilai korosinya, dibuktikan dari perhitungan laju korosi pada *raw* lebih kecil laju korosinya dibandingkan dengan perlakuan *quenching* yang laju korosinya terus bertambah tinggi nilai korosinya tergantung pada temperatur dan massa karbon yang masuk ke dalam plat *stainless steel* 316L yang sudah diberi proses. Bisa di lihat dari besar nilai korosi *raw* dengan nilai laju krosi 7,61 mm/year, dan nilai korosi terus meningkat sampai pada temperatur 900°C dengan nilai laju korosi sebesar 18,40 mm/year.

Perbandingan Laju Korosi Antara Variasi Proses *Pack Carburizing* dan *Quenching*

Berikut adalah gambar grafik yang menunjukkan perbandingan tingkat korosi antara spesimen yang menjalani variasi proses *pack carburizing* dan *quenching* yang sama-sama menggunakan karbon dari ampas kopi robusta:



Gambar 6. Perbandingan Laju Korosi dengan Variasi Proses *Pack Carburizing* dan *Quenching*

Berdasarkan Gambar 6. menunjukkan bahwa laju korosi setelah dilakukan proses pelapisan dengan karbon ampas kopi robusta dengan variasi proses *pack carburizing* dan

quenching nilai laju korosi terus meningkat dibuktikan dengan proses *quenching* laju korosi lebih tinggi dibandingkan dengan proses *pack carburizing*[17].

Unsur yang menyebabkan korosi terus meningkat pada proses *pack carburizing* dan *quenching* adalah tanpa adanya unsur Molibdenum (Mo) yang hilang setelah terjadinya proses *pack carburizing* dan *quenching*[18]. Unsur-unsur ini dapat dilihat dari hasil uji SEM pada setiap spesimen dengan temperatur yang berbeda:

Tabel 6. Hasil SEM pada Spesimen dengan Temperatur yang Berbeda

Unsur	RAW	Pack Carburizing			Quenching		
		700°C	800°C	900°C	700°C	800°C	900°C
		Massa (%)			Massa (%)		
C	4,35	4,18	7,50	8,40	22,29	27,19	34,54
O	24,70	35,48	37,03	27,99	23,59	23,17	18,2
Na	-	-	0,66	-	0,52	0,87	0,89
P	-	-	-	-	-	-	0,69
K	-	-	-	-	-	-	0,77
Si	-	-	0,74	-	-	-	-
Ca	-	-	0,62	-	-	-	1,41
S	-	-	-	0,47	-	-	-
Cr	10,86	4,10	2,83	16,64	9,59	7,34	2,01
Mg	-	-	-	0,24	-	-	-
Mn	0,94	0,75	0,92	0,81	0,84	0,61	1,57
Fe	58,2	49,23	48,87	38,63	18,10	42,88	43,45
Ni	4,33	5,31	4,43	4,36	2,15	2,86	0,98
Mo	0,91	-	-	-	-	-	-
Te	0,13	-	-	-	-	-	-

Beberapa unsur yang ada pada Tabel 6. yang mempengaruhi fakto-faktor laju korosi sebagai berikut:

1. Carbon (C) bersifat keras, lebih-lebih bila menjadi paduan atau lapisan pada besi (Fe)/*stainless steel*. Pada tabel 4.5 terutama pada proses *pack carburizing* dan *quenching* unsur carbon terus mengalami peningkatan. Pada proses *quenching* nilai carbon naik secara signifikan seiring meningkatnya nilai konduktivitas termal.
2. Chromium (Cr) bersifat ulat dan temperatur yang sangat tinggi, yang mempengaruhi kekuatan suatu material dengan panas yang sangat tinggi. Hal ini, membuat lanju korosi lebih rendah atau tidak mudah karat[20].
3. Nikel (Ni) bersifat ulat dan temperatur yang rendah. Perpaduan antara Cr dan Ni pada material *stainless steel* mempunyai ketangguhan yang sangat besar (kekuatan dan panas yang tinggi). (Surdia, 1992)
4. Oksigen (O) bersifat korosif, akibat adanya oksidasi terutama pada proses elektrolisis.
5. Namun hasil uji SEM ini tidak terlalu bisa untuk menjadi landasan atau pacuan dalam memberikan alasan untuk nilai konduktivitas panas dan laju korosi, karena pada pengambilan data konduktivitas panas dan laju korosi menggunakan spesimen berukuran 7 cm x 4 cm x 2 mm, sedangkan pada uji SEM hanya menggunakan ukuran 1 cm x 1 cm x 2 mm.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

1. Pengaruh proses *hardening* (*pack carburizing* dan *quenching*) adalah kenaikan pada jumlah massa karbon yang masuk ke dalam *stainless steel* 316L. yang menyebabkan kenaikan pada konduktivitas termal. Pada proses *quenching* nilai konduktivitas termal 900°C ketika pada temperatur 290,50°C, nilai konduktivitas termal 20,556 °C, 800°C ketika pada temperatur 280,25°C, nilai konduktivitas termal 19,669 W/m°C dan 700°C ketika temperatur 211,13°C, nilai konduktivitas termal 18,930 W/m°C. Sedangkan pada proses *pack carburizing* 900°C ketika pada temperatur 286,63°C, nilai konduktivitas termal 20,101 W/m°C, dan 800° ketika pada temperatur 280,25°C, nilai konduktivitas termal 19,547 W/m°C, dan pada 700°C ketika pada temperatur 205°C nilai konduktivitas termal 18,916 W/m°C.
2. Unsur-unsur yang terdapat pada proses *hardening* (*pack carburizing* dan *quenching*) yang mempengaruhi laju korosi adalah chromium (Cr), nikel (Ni), karbon (C), serta oksigen (O). Pada laju korosi *raw* memiliki nilai laju korosi 7,61 mm/year, pada proses *quenching* 700°C memiliki laju korosi 12,78 mm/year, sedangkan temperatur 900°C dengan nilai laju korosi 18,40 mm/year, dan pada proses *pack carburizing* 700°C memiliki nilai laju korosi 9,70 mm/year temperatur 900°C dengan nilai laju korosi 13,23 mm/year.
3. Proses yang lebih baik dalam konduktivitas termal adalah *quenching*, karena memiliki waktu yang lebih cepat tapi memiliki nilai konduktivitas tinggi, sedangkan kalo untuk laju korosi yang terbaik adalah *raw* tapi kalo untuk proses *pack carburizing* karena mamiliki nilai laju korosi lebih kecil dibandingkan dengan proses *quenching*.

Saran

Melakukan pengujian SEM pada setiap spesimen yang sudah dilapisi dengan variasi proses *pack carburizing* dan *quenching* untuk plat *stainless steel* 316L. Mencari secara keseluruhan unsur-unsur apa saja yang meningkatkan konduktivitas termal, laju korosinya dan ukuran yang sama disaat pengambilan data konduktivitas termal dan laju korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASM, "ASM Metals Handbook - Vol 13A

- Corrosion - Fundamentals, Testing, and Protection," *J. Biomed. Mater. Res. B. Appl. Biomater.*, 2011, [Online]. Available:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21819315>

- [2] P. Studi, T. Mesin, F. Teknik, U. Katolik, and W. Karya, "Pemanfaatan karbon tempurung kelapa dan cangkang sawit sebagai bahan pack carburizing untuk meningkatkan kekerasan dan mengurangi laju korosi stainless steel tipe 304," 2024.
- [3] H. Istiqlaliyah and I. Setyowidodo, "Efektivitas Proses Carburizing dan Quenching Terhadap Nilai Kekerasan Baja S45C," *J. Tecnoscienza*, vol. 6, no. 1, pp. 203–218, 2021, doi: 10.51158/tecnoscienza.v6i1.629.
- [4] G. Sania, E. Taer, and H. Aziz, "Utilization of activated carbon from used robusta coffee ground activated using potassium hydroxide (KOH) as a material for supercapacitor electrodes," *J. Aceh Phys. Soc.*, vol. 11, no. 1, pp. 24–32, 2022, doi: 10.24815/jacps.v11i1.22190.
- [5] B. C. P. Mbulu and M. Novianto, "Analysis of Theoretical Caloric Values From Various Mixtures of Robusta and Arabica Spent Coffee Grounds Briquettes," *J. Met.*, vol. 2, pp. 1–6, 2024.
- [6] B. A. Economics, R. Serials, A. Villaram, and M. P. Hilado, "Undergraduate Theses," 1991.
- [7] D. D'Andrea, "Additive Manufacturing of AISI 316L Stainless Steel: A Review," *Metals (Basel)*, vol. 13, no. 8, 2023, doi: 10.3390/met13081370.
- [8] D. Ngakan Ketut putra Negara and I. Dewa Made Kirshna Muku, "Pack Carburizing Baja Karbon Rendah," *J. Energi dan Manufaktur*, vol. 7, pp. 167–172, 2015.
- [9] 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.
- [10] B. Utomo, "Jenis Korosi Dan Penanggulangnya," *Kapal J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 6, no. 2, pp. 138–141, 2012, doi: 10.14710/kpl.v6i2.2731.
- [11] Izwar, "Pengaruh Proses Carburizing Dengan Variasi Arang Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Dari Bearing Aftermarket Sepeda Motor," 2021, [Online]. Available:

- <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/36244%0Ahttps://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/36244/16525031KhalifahPratamaIzwar.pdf?sequence=3>
- [12] M. A. Rizki, M. Razi, and Bukhari, "Pengaruh Proses Pack Carburizing Dengan Variasi Temperatur Dan Karbon Aktif Terhadap Kekerasan Permukaan Baja Aisi 1020," *J. Mesin Sains Terap.*, vol. 6, no. 2, pp. 63–67, 2022, [Online]. Available: <http://e-jurnal.pnl.ac.id/mesinsainsterapan/article/view/3323>
- [13] T. R. Saputra and A. Ngatin, "Extract of Cocor Bebek (*Kalanchoe Pinnata*) As a Corrosion Inhibitor," *J. Bahan Alam Terbarukan*, vol. 6, no. 2, pp. 112–116, 2017, doi: 10.15294/jbat.v6i2.7949.
- [14] Susastriawan, Sudarsono, and Badrawada, *Perpindahan Kalor Dasar*, no. July. 2022.
- [15] I. K. Suarsana, I. M. Astika, and I. G. P. Agus Suryawan, "Efek perlakuan pack carburizing dan media korosif pada baja AISI 1045 terhadap laju korosi," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 14, no. 2, p. 37, 2022, doi: 10.24843/jem.2021.v14.i02.p01.
- [16] A. B. Perlindungan and A. Mursadin, "Analisis Pengaruh Berbagai Macam Merk Oli Terhadap Temperatur Mesin Yamaha Vixion 150Cc," 2017. doi: 10.20527/sjmekinematika.v2i1.43.
- [17] Dinda Natasya, *Pengaruh Penambahan Serbuk Arang Aktif Ampas Kopi Terhadap Permukaan Stainless Steel 304 Dengan Variasi Temperatur Menggunakan Proses Pack Carburizing*. 2023.
- [18] F. F. Mulya, "Mulya Ff," *Anal. Korosi Retak Tegangan Pada Stainl. Steel (Aisi 304) Yang Diberi Perlakuan Panas Dengan Variasi Temp.*, no. Aisi 304, 2019.
- [19] B. C. P. Mbulu, N. T. Redationo, and F. V. Herwinsha, "Calculation Analysis Of Heat Conductivity And Average Heat Rate In Carbon Composites," *J. Met.*, vol. 1, no. 2, pp. 17–24, 2023.
- [20] A. Suprihanto and Y. Umardani, "Perbaikan Sifat Mekanis Besi Cor Kelabu Lewat Penambahan Unsur Cr Dan Cu," *Rotasi*, vol. 8, no. 3, pp. 24–28, 2012, doi: 10.14710/rotasi.8.3.24-28.