

EXPERIMENTAL STUDY OF CARBON MEDIA VARIATIONS SEM TEST AND TEMPERATURE ON STAINLESS STEEL 316L PACK CARBURIZING COATING ON THERMAL CONDUCTIVITY AND CORROSION RATE

Reinardi Odilian Jahu¹, Nereus Tugur Redationo², Bernardus Crisanto Putra Mbulu³

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

Email: 202131004@widyakarya.ac.id, tugur@widyakarya.ac.id, chris_bernardo666@widyakarya.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima:
18 Juli 2025

Naskah Disetujui:
6 Mei 2026

Naskah Diterbitkan:
30 Juni 2026

ABSTRACT

This study analyzed the characteristics of carbon produced from coconut shells and Arabica coffee grounds through a pyrolysis process at a temperature of 1000°C for 1 hour. The SEM test results showed that coconut shells contained 91.87% carbon, while Arabica coffee grounds contained 74.39% carbon, indicating a higher carbon content in coconut shells. Furthermore, this study evaluated the effect of coconut shell carbon and Arabica coffee grounds carbon with temperature variations on the thermal conductivity and corrosion rate of 316L stainless steel plates. The results of the study showed that the highest thermal conductivity values for coconut shell carbon and Arabica coffee grounds were 19.06087 W/m°C and 18.959905 W/m°C, respectively, both achieved at a temperature of 900°C. Increasing the temperature in the pack carburizing process significantly increased the carbon content in 316L stainless steel, which had a positive impact on increasing thermal conductivity. Coconut shell carbon at 900°C showed the lowest corrosion rate of 4.35 mm/year, while Arabica coffee grounds carbon at the same temperature had a corrosion rate of 5.81 mm/year. In conclusion, the effect of adding carbon with temperature variations in the pack carburizing process can increase hardness. The corrosion rate on 316L stainless steel plate will be lower because it contains Cr, Ni, and C which affect strength and high temperature resistance, especially hardness.

Keywords: Coconut Shell, Arabica Coffee Grounds, Thermal Conductivity, Carbon Content, Pack Carburizing, Stainless Steel 316L, Corrosion Rate and Temperature

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara agraris terbesar di dunia, Indonesia memiliki potensi besar dalam produksi pertanian. Namun, dibalik melimpahnya hasil pertanian Indonesia terdapat permasalahan krusial yaitu pengelolaan limbah pertanian yang belum optimal. Limbah pertanian seringkali dianggap biasa oleh masyarakat, seperti tempurung kelapa dan ampas kopi. Tempurung kelapa dan ampas kopi seringkali hanya dibuang begitu saja, menyebabkan masalah lingkungan seperti pencemaran lingkungan dan penumpukan sampah. Padahal, kedua limbah ini memiliki potensi yang signifikan untuk dimanfaatkan salah satunya sebagai sumber karbon [9]. Karbon yang dihasilkan bisa digunakan sebagai bahan pelapis pada stainless steel 316L.

Stainless steel tipe 316L merupakan material logam yang banyak digunakan dalam berbagai industri terutama yang membutuhkan konduktivitas yang baik dan ketahanan korosi. Keunggulan ini menjadikan stainless steel tipe 316L pilihan utama untuk berbagai aplikasi. Namun, untuk meningkatkan performa dan memperluas aplikasinya diperlukan modifikasi terus untuk meningkatkan sifat materialnya. Salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan sifat materialnya adalah dengan proses *pack carburizing* [1].

Pack carburizing merupakan salah satu proses *heat treatment* yang bertujuan untuk menambah kandungan karbon pada permukaan material stainless steel. Pada proses ini melibatkan pemanasan material yang nantinya

dipindahkan ke dalam wadah yang berisi media karbon [2].

Penelitian ini mengeksplorasi pemanfaatan limbah pertanian, khususnya ampas kopi arabika dan tempurung kelapa sebagai sumber alternatif dalam proses *pack carburizing* pada *stainless steel* tipe 316L. Kedua limbah ini mengandung selulosa yang dapat dikonversi menjadi karbon melalui proses pirolisis. Pirolisis adalah proses penguraian atau degradasi pada biomassa oleh temperatur tinggi sehingga menghasilkan arang yang kaya akan karbon [2].

Pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi khususnya bidang material yang ramah lingkungan dan berkelanjutan serta mengurangi dampak negatif limbah pertanian.

Karbon

Karbon adalah bahan yang memiliki luas permukaan yang sangat besar, membuatnya sangat efektif dalam menyerap berbagai macam zat. Bahan ini dibuat dengan cara memanaskan bahan karbon seperti kayu, batubara, tempurung kelapa atau kopi dalam lingkungan tanpa oksigen. Proses ini menghasilkan karbon yang memiliki pori-pori kecil yang banyak, yang memberikan luas permukaan yang sangat besar. Dalam pembuatan karbon hal pertama yang dilakukan adalah pembakaran bahan baku yang nantinya menjadi arang, arang yang dihasilkan akan *dimesh* dan dilakukan pirolisis pada temperatur 1000° C dengan waktu penahanan 1 jam sehingga dapat menghasilkan karbon aktif [11].

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. 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 dan memiliki *density* 8000 kg/m³ [5].

Pack Carburizing

Pack carburizing merupakan salah satu proses *heat treatment* yang bertujuan untuk menambah kandungan karbon pada permukaan material *stainless steel*. Pada proses ini

melibatkan penyerapan karbon ke dalam permukaan baja, membentuk lapisan karbida besi yang keras dan tahan aus. *Pack carburizing* menggunakan metode pelapisan karbon dengan temperatur tinggi untuk mempercepat proses difusi karbon ke dalam baja [11].

Pengujian Laju Korosi Dengan Metode Kehilangan Berat

Korosi merupakan proses degradasi atau kerusakan material atau penurunan kualitas material akibat adanya reaksi kimia antara logam dan unsur lain.

Berikut rumus untuk menghitung nilai laju korosi dengan metode kehilangan berat [11]:

$$M_{py} = \frac{W}{D \cdot A \cdot T} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

- M_{py} : mm per year
- W : Kehilangan berat (mg)
- D : Densitas (g/cm²)
- A : Luas penampang spesimen (cm²)
- T : Waktu pengkorosian (jam)

Kalor

Kalor merupakan suatu energi yang mengalami perpindahan akibat perbedaan temperatur. Kalor mengacu pada hukum termodinamika II dimana panas bergerak dari daerah bertemperatur tinggi ke daerah bertemperatur rendah. Umumnya kalor dinyatakan dalam temperatur (°C) dengan satuan SI adalah J. Berikut ini rumus menghitung nilai kalor [3] :

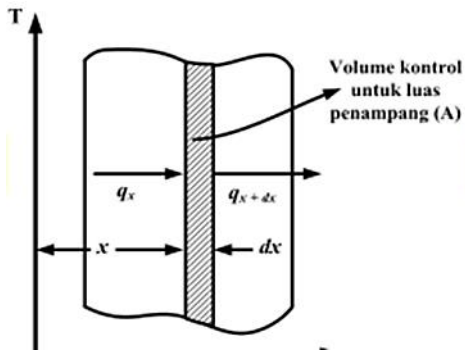
$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- Q : Jumlah kalor (J)
- m : Massa benda (kg)
- c : Kalor jenis zat (J/kg°C)
- ΔT : Perbedaan temperatur (°C)

Perpindahan panas

Merupakan proses proses perpindahan panas yang melalui zat perantara, akan tetapi zat tersebut tidak ikut bergerak. Panas yang mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah.



Gambar 1. Perpindahan Panas Konduksi Steady State Satu Dimensi Pada Bidang Datar

Dalam rumus perpindahan panas konduksi tanda negatif (-) yang berarti terjadi pelepasan panas, sehingga perbedaan temperaturnya yaitu temperatur rendah dikurangi temperatur tinggi. Pada penelitian ini terjadi proses penyerapan panas, maka tanda negatif (-) dapat temperatur tinggi dikurangi temperatur rendah. Berikut rumus perpindahan panas konduksi:

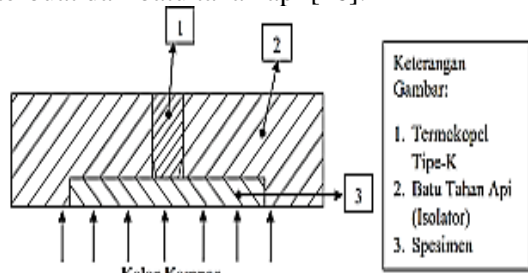
$$q = -k.A.\frac{\Delta T}{\Delta x} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

- q : Laju perpindahan panas konduksi (W)
- k : Konduktivitas termal (W/m.K)
- A : Luas penampang material (m²)
- ΔT : Perbedaan temperatur (°C)
- Δx : Tebal (m)

Konduktivitas Termal

Merupakan kemampuan suatu material dalam menghantar panas. Nilai konduktivitas termal dicari menggunakan kalor dari kompor listrik, dimana penutup spesimen saat pengujian terbuat dari batu tahan api [16].



Gambar 2. Uji Pemanasan Spesimen

Dasar Persamaan dalam perhitungan konduktivitas termal adalah Tahanan konduksi secara seri:

Pada pengujian konduktivitas Panas mula-mula melalui tebal plat stainless steel 316L saja hingga puncak temperatur:

$$k_{terlapis} = \frac{q \cdot [L_1 + L_2]}{\Delta T \cdot A} + k_{ss} \dots\dots\dots (4)$$

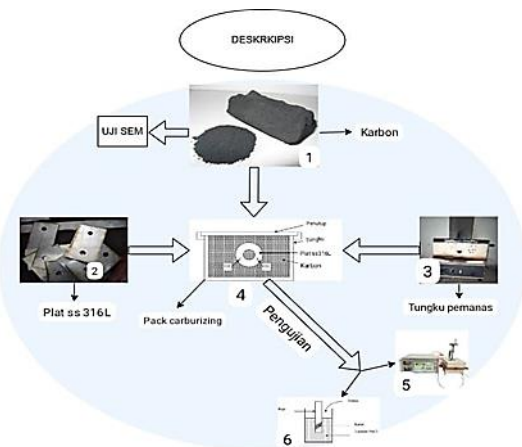
Setelah Temperatur plat stainless steel 316L terlewati, maka T₁ = Temperatur tertinggi plat stainless steel 316L dan T₂ Meningkatkan hingga temperatur puncak Lapisan puncak maksimum temperatur Plat terlapis, didapat nilai k jauh lebih besar dari temperatur puncak stainless steel 316L sehingga perhitungan konduktivitas terlapis sebagai berikut:

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

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan metode ekprimental dengan pendekatan kuantitatif. awalnya dimulai dengan menyiapkan media karbon dari tempurung kelapa dan ampas kopi arabika yang sudah dipirolysis dan dimesh. Selanjutnya sempel karbon yang sudah dihasilkan akan dilakukan uji SEM untuk melihat fasa pada karbon. Setelah diuji SEM karbon dilanjutkan dengan memanaskan plat stainless steel 316L pada tungku pemanas dimana stainless steel 316L akan dipanaskan di atas temperatur rekristalisasi (700°C, 800°C, 900°C) dengan penahanan waktu 1 jam.

Deskripsi Penelitian



Gambar 2. Deskripsi Penelitian

Pada proses pemanasan akan terjadi proses pemuaihan sehingga mengubah struktur plat seperti terbukanya pori-pori pada plat, semakin tinggi temperatur maka pori-pori pada plat akan semakin terbuka dan memerah. Setelah proses pemanasan selesai stainless steel 316L akan dipack carburizing dimana plat dipindahkan ke wadah keramik yang sudah diisi karbon lalu ditutup dan didiamkan selama 24 jam, pada saat pendinginan akan terjadi penutupan pori-pori sehingga karbon akan masuk pada pori-pori plat. Pada proses pemindahan plat stainless steel 316L dari tungku

pemanas waktu juga sangat berpengaruh, semakin cepat waktu pemindahan plat maka semakin banyak karbon yang masuk hal ini dikarenakan pori-pori pada plat masih terbuka lebar. Setelah proses *pack carburizing* selanjutnya akan dilakukan pengujian konduktivitas termal dan laju korosi. Plat yang telah dilapisi oleh karbon dengan variasi temperatur akan ditimbang untuk melihat massa plat setelah *pack carburizing*. Massa plat akan semakin tinggi seiring peningkatan temperatur (700°C, 800°C, 900°C), hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya karbon yang masuk ke dalam struktur material selama proses *pack carburizing*.

Pada pengujian konduktivitas Panas mula-mula melalui tebal plat *stainless steel* 316L saja hingga puncak temperatur. Setelah Temperatur plat *stainless steel* 316L terlewati, maka $T_1 =$ Temperatur tertinggi plat *stainless steel* 316L dan T_2 Meningkat hingga temperatur puncak Lapisan puncak maksimum temperatur Plat terlapsi, didapat nilai k jauh lebih besar dari temperatur puncak *stainless steel* 316L sehingga perhitungan konduktivitas terlapsi menggunakan persamaan (4). Artinya Bahwa dengan pelapisan dapat meningkatkan konduktivitas

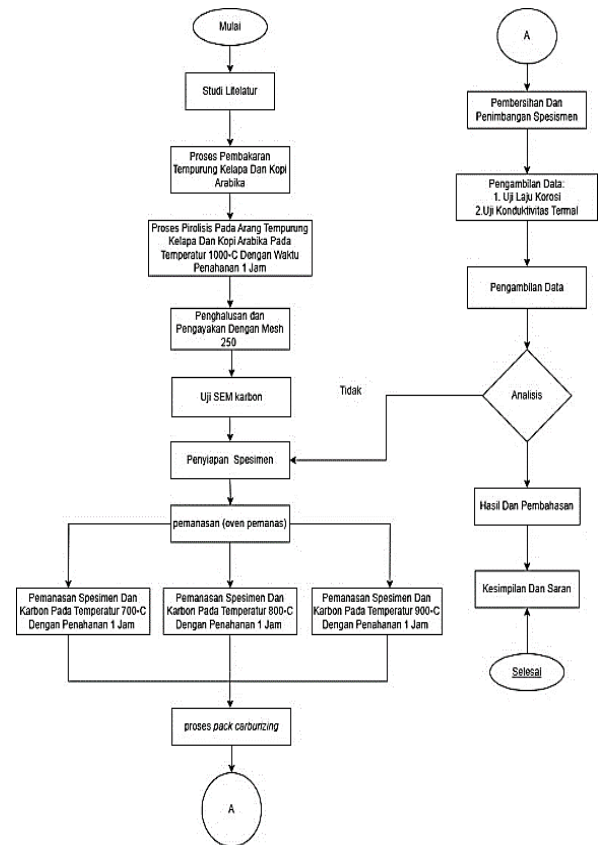
Pada pengujian laju korosi plat *stainless steel* 316L akan ditimbang terlebih dahulu untuk melihat massa setelah *pack carburizing* dan akan dilakukan timbangan kembali setelah pengujian laju korosi. Semakin tinggi temperatur pada proses *pack carburizing* maka semakin rendah nilai laju korosi ini dipengaruhi oleh besarnya kandungan kandungan karbon pada plat [11].

Variabel Penelitian

Berikut variabel pada penelitian ini:

1. Variabel tetap
 - a. Jumlah karbon setiap spesimen
 - b. Material *stainless steel* 316
 - c. Waktu penahanan setiap spesimen 1 jam
2. Variabel bebas
 - a. Karbon yang digunakan yaitu tempurung kelapa dan kopi arabika
 - b. Variasi temperatur setiap spesimen: 700°C, 800°C, 900°C

Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir

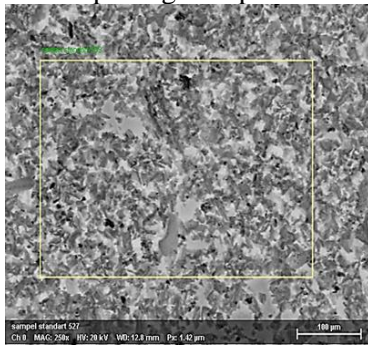
Proses Pengambilan Data

Proses pengambilan data dimulai dengan menyiapkan plat *stainless steel* 316 yang sudah dipotong dengan ukuran 7 cm x 4 cm dengan ketebalan 2 mm. *Stainless steel* 316L yang sudah dipotong akan ditimbang dan melihat nilai konduktivitas termalnya dulu sebelum proses *pack carburizing* yang menggunakan timbangan digital dan sensor termokopel untuk memperoleh data berat plat dan nilai konduktivitas termalnya. Selanjutnya dilakukan proses *pack carburizing* dimana plat *stainless steel* 316L dimasukan dan di panaskan pada tungku pemanas dengan variasi temperatur yang sudah ditentukan yaitu 700°C, 800°C dan 900°C dan dengan penahanan selama 1 jam. Setelah proses pemanasan plat akan dimasukan ke dalam wadah keramik yang sudah di isi karbon (50 gram) dan di diamkan selama 24 jam. setelah melewati proses *pack carburizing* plat *stainless steel* 316L nantinya timbang lagi untuk mengetahui berat plat setelah proses pelapisan karbon. Pada penelitian ini peneliti membuat 3 spesimen setiap temperatur, dimana 2 spesimen akan di uji konduktivitas termalnya dan spesimen akan di uji laju korosi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tempurung kelapa dan ampas kopi arabika yang sudah dipiroliis dan dimesh dengan ukuran 250 pada temperatur 1000°C akan dilakukan uji SEM untuk melihat komposisi, kandungan dan struktur permukaan. Pada hasil pengujian SEM didapat komposisi, kandungan dan struktur permukaan pada karbon tempurung kelapa dan ampas kopi arabika sebagai berikut:

1. Karbon Tempurung Kelapa



Gambar 4. Struktur Permukaan Karbon Tempurung Kelapa

Tabel 1. Kandungan Karbon Pada Tempurung Kelapa sampel standart 579

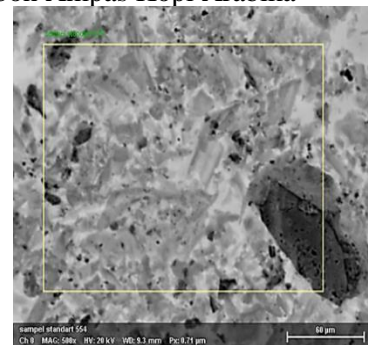
Element	At. No.	Netto	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (1 sigma)	rel. error [%] (1 sigma)
C	6	262118	91.87	70.93	79.93	9.93	10.81
O	8	36950	24.30	18.76	15.87	2.96	12.18
Mg	12	20647	1.29	0.99	0.55	0.10	7.52
Al	13	33894	1.66	1.28	0.64	0.11	6.35
Si	14	92957	3.36	2.59	1.25	0.17	5.03
K	19	50133	2.31	1.78	0.62	0.10	4.16
Ca	20	63044	3.44	2.65	0.90	0.13	3.68
Fe	26	12697	1.31	1.01	0.25	0.06	4.74
		Sum	129.52	100.00	100.00		

Pada Tabel 1. menunjukkan unsur-unsur yang terkandung pada karbon tempurung kelapa dengan temperatur 1000 °C dengan penahan waktu selama 1 jam. Pada pengujian SEM didapat kandungan pada tempurung kelapa yaitu 91,87% karbon, 24,30% oksigen, 1,29% magnesium, 1,66% aluminium, 3,13% silikon, 2,31% kalium, 3,44% kalsium dan 1,31% besi

Tabel 2. Unsur, Kandungan Dan Keterangan Pada Tempurung Kelapa

Unsur	Massa Kandungan	keterangan
Karbon	91,87%	Dapat meningkatkan konduktivitas termal dan dapat menurunkan laju korosi
Oksigen	24,30%	Pembentukan oksidasi dimana oksigen bereaksi dengan unsur lain membentuk oksidasi. Misalnya oksigen dengan besi sehingga menyebabkan karat.
Magnesium	1,29%	Merupakan Logam padat, purih kemerahan, dan sebagai konduktor panas dan listrik yang baik, serta dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan korosi pada permukaan
Silikon	3,13%	Semikonduktor, konduktivitas termal cukup tinggi, keras dan tahan karat. Bereaksi dengan oksigen membentuk silikon oksidasi.
Aluminium	1,66%	Logam yang ringan, tahan korosi dan ketahanan korosi yang baik
Kalsium	3,44%	Logam kalsium melebur pada temperatur 824 °C dan konduktor yang baik berdasarkan massa. Cukup reaktif dan membentuk lapisan oksida
Kalium	2,31%	Logam alkali berwarna putih keperakan yang lunak reaktivitas dan kemampuan menghasilkan panas
Besi	1,31%	Penghantar panas dan listrik yang baik dan besi mudah bereaksi dengan oksigen, air dan asam, membentuk senyawa yang karat

2. Karbon Ampas Kopi Arabika



Gambar 5. Struktur Permukaan Karbon Ampas Kopi Arabika

Tabel 2. Kandungan Karbon Pada Ampas Kopi Arabika sampel standart 569

Element	At. No.	Netto	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (1 sigma)	rel. error [%] (1 sigma)
C	6	15376	74.39	74.39	82.49	9.86	13.26
O	8	1414	17.27	17.27	14.37	3.59	20.78
Mg	12	748	0.72	0.72	0.40	0.08	11.08
Al	13	858	0.65	0.65	0.32	0.07	10.57
P	15	928	0.58	0.58	0.25	0.06	10.00
K	19	6640	5.08	5.08	1.73	0.20	3.86
Ca	20	1381	1.31	1.31	0.44	0.08	6.16
		Sum	100.00	100.00	100.00		

Pada Tabel 2. menunjukkan unsur-unsur yang terkandung pada ampas kopi arabika dengan temperatur 1000 °C dengan penahanan waktu selama 1 jam. Pada pengujian SEM

didapat kandungan pada ampas kopi arabika yaitu 74,39% karbon, 17,27% oksigen, 0,72% magnesium, 0,65% aluminium, 0,58% fosforus, 5,08% kalium, dan 1,31% kalsium.

Tabel 3. Unsur, Kandungan dan Keterangan Pada Karbon Ampas Kopi Arabika

Unsur	Massa Kandungan	Keterangan
Karbon	74,39%	Dapat meningkatkan konduktivitas termal dan ketahanan korosi
Oksigen	17,27%	Pembentukan oksidasi dimana oksigen bereaksi dengan unsur lain membentuk oksidasi. Misalnya oksigen dengan besi sehingga menyebabkan karat.
Kalium	5,08%	Reaktivitas dan kemampuan menghasilkan panas
Magnesium	0,72%	Logam padat, purih kemerahan, dan sebagai konduktor panas dan listrik yang baik, dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan korosi
Aluminium	0,65%	Konduktor panas yang baik dan ketahanan korosi yang baik
Fosforus	0,58%	Unsur non-logam yang sangat reaktif, mudah terbakar dan beracun
Kalsium	1,31%	Logam kalsium melebur pada temperatur 824 °C dan konduktor yang baik berdasarkan massa

Data dan Hasil Uji Temperatur Untuk Konduktivitas Termal

Tabel 4. Data Rata-Rata Hasil Uji Temperatur

Karbon tempung kelapa						Karbon ampas kopi arabika					
900°C		800°C		700°C		900°C		800°C		700°C	
waktu	°C	waktu	°C	waktu	°C	waktu	°C	waktu	°C	waktu	°C
1	29,25	1	29,63	1	29,50	1	29,25	1	30,13	1	29,25
2	29,13	2	29,25	2	29,63	2	29,13	2	29,75	2	29,50
3	29,00	3	29,63	3	29,75	3	29,25	3	29,88	3	29,13
4	29,00	4	29,38	4	29,63	4	29,63	4	29,50	4	29,38
5	29,75	5	30,13	5	29,13	5	29,75	5	30,13	5	29,38
6	29,13	6	29,75	6	29,25	6	29,50	6	29,75	6	29,63
7	29,13	7	29,75	7	29,63	7	29,38	7	29,88	7	29,50
8	29,00	8	29,50	8	29,50	8	29,38	8	29,63	8	29,50
9	29,38	9	29,88	9	29,63	9	29,75	9	29,88	9	29,50
10	28,88	10	29,50	10	29,63	10	29,50	10	30,13	10	29,38
...
477	200,89	496	200,50	520	200,50	512	200,38	518	200,25	531	200,88
478	201,60	497	200,50	521	200,63	513	200,50	519	200,63	532	201,75
479	202,31	498	200,75	522	200,63	514	201,38	520	201,25	533	202,25
480	203,02	499	201,38	523	201,63	515	201,50	521	201,88	534	202,25
481	204,13	500	202,00	524	201,75	516	201,50	522	202,50	535	203,00
...
594	236,88	570	224,88	605	218,63	630	221,88	627	218,88	607	215,25
...
660	232,25	660	221,72	660	216,38	660	220,38	660	216,88	660	212,63

Semakin banyak karbon yang masuk dan semakin tinggi temperatur maka hasil uji

temperatur pada *stainless steel* 316L akan semakin meningkat. Tabel lengkap bisa dilihat dilampiran.

Perhitungan Nilai Konduktivitas Termal

A. Perhitungan Kalor Masuk (Q_{in})

Perhitungan kalor masuk dilakukan dengan dengan memanaskan air dengan kompor listrik dalam wadah aluminium, dimana air yang dimasukan sebanyak 0,05 kg dengan massa wadah aluminium 0,015 kg, dimana kapasitas kalor dari air adalah 4.220 J/kg.°C dan kapasitas kalor dari wadah aluminium sebesar 902 J/kg.°C. Mengacu pada persamaan (2), maka nilai kalor masuk (Q_{in}) didapatkan melalui perhitungan sebagai berikut:

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

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

$$Q_{in} = Q_{air} + Q_{wadah} = 16.247,87 \text{ J} + 1.041 \text{ J} = 17.288,87 \text{ J}$$

$$= \frac{17.288,87 \text{ J}}{600 \text{ s}} = 26,19515 \text{ W}$$

B. Perhitungan Konduktivitas Termal

Pada perhitungan konduktivitas termal nilai laju kalor (q) menggunakan kompor listrik yaitu sebesar 26,19515 W. Pada awal dilakukan perhitungan konduktivitas pada plat raw material dengan puncak temperatur plat raw adalah 200°C:

$$q_{ss} = \frac{26,1952 \text{ W} \cdot (0,002 \text{ m})}{(300,75^\circ\text{C} - 29,25^\circ\text{C}) \cdot 0,0028 \text{ m}^2}$$

$$q_{ss} = 26,15515 \text{ W}$$

sehingga nilai konduktivitas pada plat raw material adalah:

$$k_{ss} = \frac{26,1952 \text{ W} \cdot (0,002 \text{ m})}{(200^\circ\text{C} - 199^\circ\text{C}) \cdot 0,0028 \text{ m}^2}$$

$$k_{ss} = 18,71082 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$$

Pada perhitungan nilai konduktivitas dilakukan seiring bertambahnya waktu sehingga nilai ΔT berbeda setiap detiknya selama 660 detik. Panas mula-mula melalui tebal plat *stainless steel* 316L saja hingga puncak temperatur yaitu 199°C, sehingga nilai L₂ = 0,0001 m, dan nilai K_{ss} adalah 18,7108 W/m.C. Contoh perhitungan konduktivitas pada detik pertama adalah sebagai berikut:

$$K_{terlapis} = \frac{26,1952 \text{ W} \cdot (0,002 \text{ m} + 0,0001 \text{ m})}{(300,75^\circ\text{C} - 29,25^\circ\text{C}) \cdot 0,0028 \text{ m}^2} + \frac{26,1952 \text{ W} \cdot 0,0001 \text{ m}}{0,0028 \text{ m}^2 \cdot (200^\circ\text{C} - 29,25^\circ\text{C})}$$

$$K_{\text{terlapisi}} = 0,1840688 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

Setelah temperatur plat *stainless steel* 316L terlewati, maka T_1 = Temperatur tertinggi plat *stainless steel* 316L dan T_2 Meningkat hingga temperatur puncak lapisan puncak maksimum temperatur plat terlapisi, didapat nilai k jauh lebih besar dari temperatur puncak *stainless steel* 316L sehingga perhitungan konduktivitas terlapisi sebagai berikut:

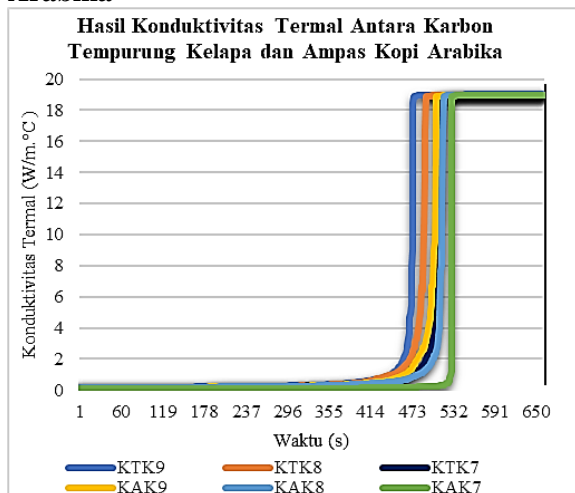
$$K_{\text{terlapisi}} = \frac{26,1952W \cdot (0,002m + 0,0001m)}{(300,75^\circ\text{C} - 199,33^\circ\text{C}) \cdot 0,0028m^2}$$

$$+ 18,7108 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

$$K_{\text{terlapisi}} = 18,905101 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

Perhitungan konduktivitas termal dilakukan setiap spesimen dan perhitungan dilakukan seiring bertambahnya waktu saat pengujian temperatur sampai detik 660.

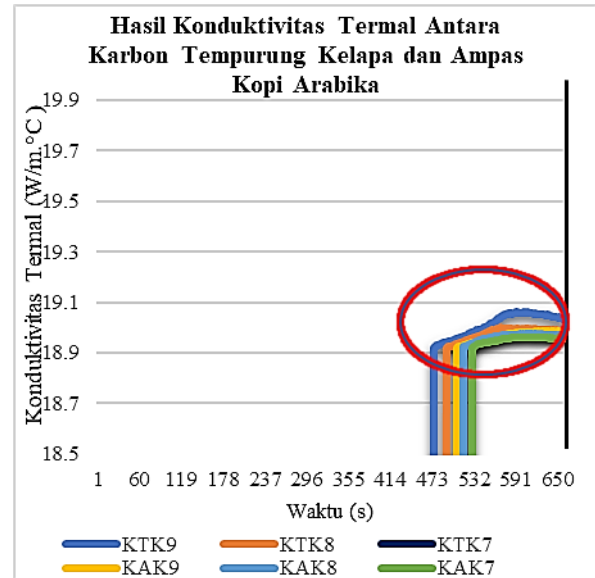
Perbandingan Konduktivitas Termal Antara Karbon Tempurung Kelapa dan Ampas Kopi Arabika



Gambar 6. Perbandingan Konduktivitas Termal Antara Karbon Tempurung Kelapa dan Ampas Kopi Arabika

Pada Gambar 6. menunjukkan bahwa semakin banyak kandungan karbon pada plat *stainless steel* 316L maka laju aliran panas juga akan semakin cepat dan nilai konduktivitas juga akan semakin tinggi. Pada detik ke-1 sampai detik ke-450 menunjukkan belum mengalami peningkatan konduktivitas termal yang signifikan hal ini dikarenakan laju aliran panas yang masih rendah. Pada detik ke-450 sampai detik 525 mengalami peningkatan nilai konduktivitas termal hal ini menunjukkan bahwa panas telah mencapai puncak plat *stainless steel* 316L. Setelah melewati temperatur puncak nilai plat *stainless steel* 316L menjadi konstan. Detik

ke-525 sampai 660 nilai konduktivitas termal meningkat hingga puncak temperatur maksimum plat terlapisi.



Gambar 7. Perbandingan Konduktivitas Termal tertinggi Antara Karbon Tempurung Kelapa dan Ampas Kopi Arabika

Pada Gambar 7. di atas temperatur karbon tempurung kelapa 900°C memiliki nilai konduktivitas yang tinggi dari pada temperatur 800°C dan 700°C yaitu 19,06087 W/m.C. Pada karbon ampas kopi arabika nilai konduktivitas termal juga tinggi pada temperatur 900°C yaitu 18,959905 W/m.C. Hasil simpulan menunjukkan bahwa karbon tempurung kelapa memiliki nilai konduktivitas termal yang baik dari pada karbon ampas kopi arabika. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa karbon tempurung kelapa (91,87%) memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi dibandingkan karbon ampas kopi arabika (74,39%).

Perhitungan Nilai Laju Korosi

Pada uji laju korosi menggunakan plat *stainless steel* 316L yang memiliki ukuran 7 cm x 4 cm x 2 mm dilakukan dengan proses elektrolisis dengan kadar air sejumlah 1,5 liter dan kadar garam 153 gram selama 1 jam.

1. Perhitungan Nilai Laju Korosi Pada Karbon Tempurung Kelapa

Setelah dilakukan proses elektrolisis selama 1 jam hasil data kehilangan berat dan data akan dihitung dengan persamaan (1) untuk menghitung laju korosi pada spesimen. Berikut ini perhitungan laju korosi pada spesimen tanpa perlakuan:

$$A = 2(P \cdot l + P \cdot t + l \cdot t)$$

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

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

Diketahui:

$$W = 0,384 \text{ g}$$

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

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

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

Jawab:

$$\begin{aligned} \text{Laju korosi (Mpy)} &= \frac{W}{A.T.D} \\ &= \frac{0,384 \text{ g}}{60,4 \text{ cm}^2 \cdot 1 \text{ jam} \cdot 8,0 \text{ g/cm}^3} \cdot \frac{0,384 \text{ g}}{483,2 \text{ jam.g/cm}} \\ &= \frac{0,384 \text{ g}}{483,2 \text{ jam.g/cm}} \times \frac{8760 \text{ jam}}{1 \text{ year}} \times \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} \\ &= 69,61 \text{ mm/year} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat dilakukan juga untuk menghitung laju korosi pada spesimen karbon tempurung kelapa dengan variasi temperatur. Berikut ini data tabel hasil korosi pada spesimen karbon tempurung kelapa:

Tabel 5. Laju Korosi Karbon Tempurung Kelapa

Hasil Uji Laju Korosi Karbon Tempurung Kelapa						
NO	Temperatur (°C)	Berat Plat Sebelum P _c (mg)	Berat Plat Sesudah Uji (mg)	Selisi Berat (mg)	Kehilangan Berat (mg)	Rata-Rata Laju Korosi (mm/year)
1	700	42718	42606	22	112	22,21
2	700	42028	41895	27	133	
4	800	42896	42828	40	68	10,24
5	800	42760	42715	39	45	
7	900	42903	42881	44	22	4,35
8	900	42651	42625	51	26	
9	RAW	42889	42505	0	384	69,61

Berdasarkan Tabel 5. menunjukkan bahwa karbon tempurung kelapa dengan peningkatan temperatur, maka nilai laju korosi akan semakin rendah. Pada raw material mengalami laju korosi yang sangat tinggi yaitu 69,61 mm/year, berbeda dengan spesimen dengan pelapisan karbon seperti pada temperatur 700°C mengalami korosi dengan nilai 22,21 mm/year, temperatur 800°C mengalami korosi yang lebih rendah dari temperatur 700°C yaitu 10,24 mm/year, dan temperatur 900°C mengalami korosi lebih rendah dari variasi temperatur yang lainnya yaitu 4,35 mm/year.

2. Perhitungan Nilai Laju Korosi Pada Karbon Ampas Kopi Arabika

Berikut ini data tabel hasil korosi pada spesimen karbon ampas kopi arabika:

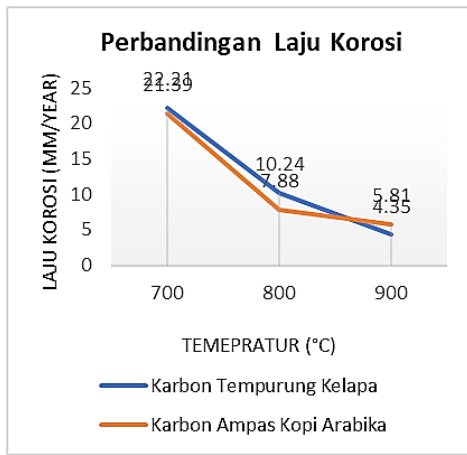
Tabel 6. Laju Korosi Pada Karbon Ampas Kopi Arabika

Hasil Uji Laju Korosi Karbon Ampas Kopi Arabika						
NO	Temperatur (°C)	Berat Plat Sebelum P _c (mg)	Berat Plat Sesudah Uji (mg)	Selisi Berat (mg)	Kehilangan Berat (mg)	Rata-Rata Laju Korosi (mm/year)
1	700	42763	42698	19	65	21,39
2	700	42910	42739	20	171	
4	800	42878	42832	27	46	7,88
5	800	42928	42887	26	41	
7	900	42931	42899	25	32	5,81
8	900	42528	42496	36	32	
9	RAW	42889	42505	0	384	69,61

Berdasarkan tabel 6. menunjukkan bahwa karbon ampas kopi arabika dengan peningkatan temperatur maka nilai laju korosi akan semakin rendah. Dapat lihat pada raw material mengalami laju korosi yang sangat tinggi yaitu 69,61 mm/year, berbeda dengan spesimen dengan pelapisan karbon seperti Pada temperatur 700°C mengalami korosi dengan nilai 21,39 mm/year, pada temperatur 800°C mengalami korosi yang lebih rendah dari temperatur 700°C yaitu 7,88 mm/year, dan pada temperatur 900°C mengalami korosi lebih rendah dari variasi temperatur yang lainnya yaitu 5,81 mm/year.

3. Perbandingan Laju Korosi Karbon Tempurung Kelapa dan Karbon ampas Kopi Arabika

Berikut ini merupakan grafik perbandingan laju korosi antara spesimen yang telah melewati proses *Pack Carburizing* dengan karbon tempurung kelapa, dan spesimen yang telah melewati proses *Pack Carburizing* dengan karbon ampas kopi arabika.



Gambar 8. Perbandingan Laju Korosi Karbon Tempurung Kelapa Dan Ampas Kopi Arabika

Berdasarkan Gambar 8. di atas laju korosi pada karbon tempurung kelapa dan karbon ampas kopi arabika menunjukkan tren penurunan laju korosi seiring dengan peningkatan temperatur. Pada karbon tempurung kelapa temperatur 700°C laju korosi lebih tinggi dari pada temperatur 800°C dan 900°C yaitu 22,21 mm/year. pada temperatur 800°C laju korosi lebih rendah dari pada temperatur 700°C yaitu 10,24 mm/year dan pada temperatur 900°C laju korosi paling rendah yaitu yaitu 4,35 mm/year. Sedangkan Pada karbon ampas kopi arabika juga mengalami hal yang sama dimana temperatur 700°C laju korosi lebih tinggi dari pada temperatur 800°C dan 900°C yaitu 21,39 mm/year. pada temperatur 800°C laju korosi lebih rendah dari pada temperatur 700°C yaitu 7,88 mm/year dan pada temperatur 900°C laju korosi paling rendah yaitu yaitu 5,81 mm/year.

Pada temperatur 900°C laju korosi lebih tinggi pada karbon ampas kopi arabika dibandingkan karbon tempurung kelapa yang lebih rendah hal ini dipengaruhi oleh banyaknya kandungan karbon yang masuk ke dalam plat *stainless steel* 316L, meskipun kandungan oksigen yang tinggi pada tempurung kelapa tapi ada unsur lain seperti silikon dan aluminium yang membentuk lapisan oksida yang tebal dan stabil sehingga dapat melindungi logam dari korosi.

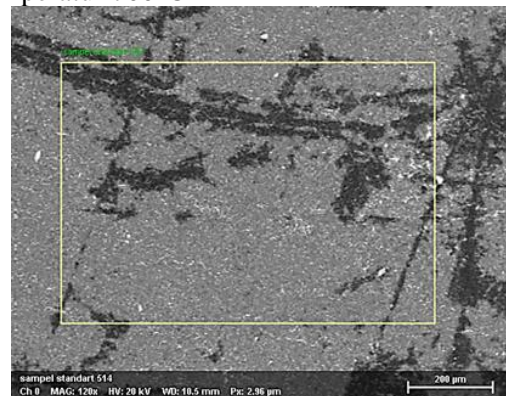
Pada temperatur 800°C laju korosi lebih tinggi pada tempurung kelapa dibandingkan ampas kopi arabika meskipun kandungan karbon lebih tinggi pada tempurung kelapa tapi ada faktor lain yang menyebabkan tingginya laju korosi pada karbon tempurung kelapa temperatur 800°C salah satunya dipengaruhi oleh kandungan oksigen (15,30%) yang terdapat pada tempurung kelapa lebih banyak dari pada karbon ampas kopi arabika (1,95%). Oksigen

bereaksi dengan unsur lain membentuk oksidasi sehingga menyebabkan peningkatan laju korosi.

Pengaruh lain seperti nilai *chromium* dimana kandungan pada karbon tempurung kelapa (13,32%) dan pada karbon ampas kopi arabika lebih tinggi (13,35%). Nilai *chromium* pada karbon ampas kopi arabika lebih tinggi dibandingkan pada karbon tempurung kelapa. *Chromium* mempunyai sifat keuletan, temperatur yang sangat tinggi, sehingga akan menghambat pengaruh laju korosi.

Pengaruh lain seperti nilai nikel dimana kandungan pada karbon tempurung kelapa (6,66%) dan pada karbon ampas kopi arabika lebih tinggi (7,62%). Nilai nikel pada karbon ampas kopi arabika lebih tinggi dibandingkan pada karbon tempurung kelapa. nikel mempunyai sifat yang keras, lentur dan tahan terhadap korosi. Pada karbon ampas kopi arabika unsur Oksigen sangat rendah, dan unsur *Chromium*, nikel lebih tinggi sehingga laju korosinya rendah.

Pada temperatur 700°C juga mengalami hal yang sama dimana laju korosi pada tempurung kelapa lebih tinggi dari pada ampas kopi arabika. Berikut gambar struktur permukaan pada plat *stainless steel* 316L dengan temperatur 700°C



Gambar 9. Karbon Tempurung Kelapa (700°C)



Gambar 10. Karbon Ampas Kopi Arabika (700°C)

Pada gambar (a) struktur permukaan tidak merata sehingga hal ini yang menyebabkan

korosi pada gambar (a) lebih tinggi dibanding pada gambar (b). Pada gambar (b) struktur karbon lebih merata disetiap permukaan hal ini yang menyebabkan laju korosi pada *stainless steel* 316L lebih rendah.

Pada Tabel 6. plat karbon ampas kopi arabika plat ke-1 temperatur 700°C memiliki kehilangan berat 171 mg, plat ke-2 kehilangan berat 65 mg. Pada plat ke-2 ada kesalahan atau *error* pada proses pengujian korosi dengan proses elektrolisis terutama pemasangan selang pada plat *stainless steel* 316L di elektroda. Kesalahan ini berakibat arus listrik yang kurang stabil pada plat 2. Kuat arus listrik yang tidak stabil berakibat pada laju korosi.

SIMPULAN

Hasil uji SEM menunjukkan kandungan dan komposisi karbon pada tempurung kelapa yaitu 91,87% karbon dan pada ampas kopi 900°C yaitu 5,81 mm/year. arabika memiliki kandungan karbon sekitar 74,39%.

- 1) Semakin tinggi temperatur pada proses *pack carburizing* maka kandungan karbon pada *stainless steel* 316L juga akan semakin meningkat sehingga dapat meningkatkan nilai konduktivitas termal pada plat *stainless steel* 316L. Pada karbon tempurung kelapa nilai konduktivitas termal tertinggi pada temperatur 900°C yaitu 19,06087 W/m.°C dan pada karbon ampas kopi arabika nilai konduktivitas termal tertinggi pada temperatur 900°C juga yaitu 18,959905 W/m.°C.
- 2) Semakin tinggi temperatur pada proses *pack carburizing* maka kandungan karbon pada *stainless steel* 316L juga akan semakin meningkat sehingga dapat dapat menurunkan nilai laju korosi pada *plat stainless steel* 316L. Hasil menunjukkan bahwa karbon tempurung kelapa dengan temperatur 900°C memiliki nilai laju korosi yang paling rendah dari pada temperatur 800°C dan 700°C yaitu 4,35 mm/year. Sedangkan pada karbon ampas kopi arabika nilai laju korosi rendah pada temperatur

REFERENSI

- [1] A. F. Abidah, "Analisa SS400 Hasil Carburizing Media Arang Tempurung Kelapa-BaCO₃ Dengan Variasi Temperatur Pemanasan Dan Holding Time Ditinjau Dari Pengujian Kekerasan Dan Struktur Mikro," *Jtm*, vol. 07, no. 02, pp. 1–8, 2019.
- [2] Surya. 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] A. Lody. Analisis perbandingan campuran komposisi karbon, semen dan air terhadap laju konduktivitas panas, kapasitas kalor dan efisiensi kapasitas kalor (Doctoral dissertation) (2019).
- [4] R. Idrus, B. P. Lapanporo, and Y. S. Putr, "PRISMA FISIKA , Vol . I , No . 1 (2013), Hal . 50 - 55 ISSN : 2337-8204," vol. I, no. 1, pp. 50–55, 2013.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] T. Metalurgi, U. Sultan, A. Tirtayasa, and A. Naznabila, "Efek quenching dan partitioning terhadap sifat mekanik, ketahanan korosi, dan struktur mikro pada stainless steel 316l," 2025.
- [8] R. L. Kevin J. Pattireuw, Fentje A. Rauf, "Analisis Laju Korosi Pada Baja Karbon Dengan Menggunakan Air Laut Dan H₂SO₄," *Univ. Sam Ratulangi Manad.*, p. 10, 2013.
- [9] D. Fernianti, "Analisis Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif Dari Ampas Kopi Bubuk Yang Sudah Diseduh," *Berk. Tek.*, vol. 3, no. 2, pp. 563–572, 2013, [Online]. Available: <https://jurnal.um-palembang.ac.id/berkalateknik/article/view/361>
- [10] I. Hafizi, W. Widjijono, M. Heparis, and N. Ekindaru, "Penentuan Konsentrasi Stainless Steel 316L Dan Kobalt Kromium Rermanium GM-800 Pada Uji GPMT Untuk Fksasi Tulang . Mulai Dari Hal Sederhana Steel Karena Adanya Potensi Korosi Pit Ataupun," *Kedokt. Gigi Indones.*, vol. 2, no. 3, pp. 121–127, 2016.

- [11] 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.
- [12] R. J. Fajri, "Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi Arabika (*Coffea Arabica*) Menjadi Karbon Aktif Sebagai Adsorben Zat Warna Metilen Biru," *Skripsi*, pp. 1–76, 2023.
- [13] G. Sania, "PEMANFAATAN KARBON AKTIF DARI AMPAS BIJI KOPI (Robusta)," 2021.
- [14] N. T. Redationo, "Karakterisasi Serbuk Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Target Dengan Variasi Temperatur Pemanasan," *Wawasan*, vol. XXVI, no. 1, pp. 27–34, 2017, [Online]. Available: <http://lppm.widyakarya.ac.id/wawasan-volume-xxvi-1-nerheus-tugur-redationo/>
- [15] V. D. Pratiwi and I. Mukhaimin, "Pengaruh Suhu dan Jenis Perekat Terhadap Kualitas Biobriket dari Ampas Kopi dengan Metode Torefaksi," *CHEESA Chem. Eng. Res. Artic.*, vol. 4, no. 1, p. 39, 2021, doi: 10.25273/cheesa.v4i1.7697.39-50.
- [16] 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.