

CALCULATION ANALYSIS OF HEAT CONDUCTIVITY AND AVERAGE HEAT RATE IN CARBON COMPOSITES

Bernardus Crisanto Putra Mbulu¹, Nereus Tugur Redationo², Febri Valen Herwinsha³

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

Email: chris_bernardo666@widyakarya.ac.id, tugur@widyakarya.ac.id, kancud666@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima:
12 Mei 2023

Naskah Disetujui:
16 Oktober 2023

Naskah Diterbitkan:
30 Desember 2023

ABSTRACT

Carbon is the material most often used in the manufacture of composite materials. Carbon has a fairly high heat conductivity when it is in the form of graphite of 119-165 W.K/m. However, carbon is difficult to form, so another material that has formability is needed. This study used a mixture of carbon, ceramic and wood glue (PVAc) with variations in the main composition of 65% carbon for specimens 1,2,3 and 65% ceramic for specimens 4,5,6. Testing of all specimens was carried out by heating for 30 minutes, followed by temperature data collection every minute. The data that has been obtained is then calculated to determine the value of heat conductivity and average heat rate of each specimen. The highest value of heat conductivity and average heat rate was produced by specimen 2 with a composition of 65% carbon, 15% ceramic and 20% PVAc, where the value for heat conductivity was 95.346 W.K/m and for a heat rate of 206.7 Watt/second. Carbon can increase the conductivity value and heat rate, but if it is mixed with other materials it will certainly be affected, where ceramic affects the surface of the specimen which can cause cracks and reduces the value of the specimen's thermal resistance, while PVAc affects the reduction of surface cracks due to ceramic hardness when heated but can also become insulator in the specimen when bonded to the ceramic.

Keywords: Composite, Carbon, Ceramic, Polyvinyl Acetate (PVAc).

PENDAHULUAN

Kelapa merupakan salah satu tanaman yang mudah untuk tumbuh dan dikembangkan. Umumnya manfaat kelapa untuk diambil isinya dan dijadikan sebagai kopra [1] atau pakan ternak [2] sementara cangkangnya kurang dimanfaatkan. Tempurung kelapa sering dianggap sebagai limbah apabila bagian isi kelapa telah dikonsumsi atau hanya digunakan untuk pembakaran. Namun tempurung kelapa juga dapat dimanfaatkan salah satunya menjadi arang. Arang bisa dihasilkan dari pemanasan langsung dan tidak langsung dalam timbunan maupun tanur [3]. Arang adalah hasil dari pemanasan yang mengandung unsur karbon. Karbon mulai diaplikasikan pada berbagai bidang mulai dari bahan penyerap (adsorban), baterai, elektroda *fuel cell* dan super kapasitor. Serbuk arang tempurung kelapa yang telah mengalami proses pemanasan pada temperatur 1000°C dan ditahan selama 60 menit mempunyai kadar karbon yang tinggi yaitu 91,71% [4].

Bahan awal atau dasar dari material rekayasa didalam penelitian ini adalah karbon

dan tanah liat keramik sebagai bahan pengisi dan penguat serta lem kayu sebagai pengikatnya. Pada penelitian ini, penulis ingin memanfaatkan karbon dari tempurung kelapa untuk merekayasa material dari limbah yang tidak bernilai menjadi barang bernilai tinggi dengan cara menggabungkan karbon dengan tanah liat dengan beberapa komposisi yang berbeda.

Keramik berasal dari tanah liat yang umumnya memiliki warna seperti putih susu dengan beberapa sifat yang unik tergantung dari kondisinya, dimana tanah liat keramik dapat bersifat elastis jika memiliki kelembaban yang tinggi atau basah serta dapat bersifat keras apabila mendapat perlakuan panas atau pembakaran sampai kadar air atau kelembabannya menghilang dan dalam keadaan kering [5]. Asal mula terbentuknya tanah liat keramik yaitu dari proses pelapukan batuan yang sebagian besar merupakan batuan *feldspatik* (batuan granit dan batuan beku), yang berada pada dalam kerak bumi. Umumnya tanah liat keramik memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah tergantung dari kelembabannya [6], tanah liat yang memiliki kelembaban tertinggi

yaitu sekitar 60% dapat memiliki konduktivitas termal hingga sebesar 0,66 W/m.K [7].

PVAc (*polyvinyl acetate*) merupakan salah satu jenis polimer yang memiliki kekuatan kerekatan yang cukup tinggi, dalam pengaplikasiannya PVAc ternyata juga memiliki sifat yang tidak berbau, tidak mudah terbakar dan cepat solid. Beberapa keuntungan menggunakan polimer ini antara lain memiliki sifat yang ringan, kuat, ulet, mudah dibentuk, tahan terhadap kelembaban dan murah dari sisi ekonominya [8].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik komposit karbon, keramik dan PVAc terhadap konduktivitas termal dan laju kalor rata-rata, yang dihasilkan dari masing-masing perbandingan. Persamaan yang digunakan untuk mendukung penelitian ini, diantaranya:

1. Kalor (Q_{in})

Mengacu pada Hukum Termodinamika II dimana energi berpindah dari tempat yang berenergi tinggi ke tempat yang berenergi lebih rendah sebagai dasar pada penelitian ini, dimana saat suatu zat mengalami proses pemanasan maka partikel pada zat tersebut akan bergetar dan menumbuk partikel yang bertemperatur rendah. Umumnya kalor dinyatakan dalam temperatur ($^{\circ}C$) dan merupakan energi dengan satuan SI adalah Joule (J) [9].

Rumus kalor adalah sebagai berikut:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \tag{1}$$

Di mana:

Q = Jumlah kalor (J)

M = Massa benda (Kg)

c = Kalor jenis zat (J/Kg $^{\circ}C$)

ΔT = Perbedaan temperatur ($^{\circ}C$)

2. Perpindahan Panas Konduksi /laju Kalor (q)

Perpindahan panas secara konduksi merupakan perpindahan panas yang melalui zat perantara, akan tetapi zat tersebut tidak ikut berpindah atau bergerak. Ketika sebuah objek memiliki temperatur yang berbeda dengan lingkungan sekitarnya, maka panas akan mengalir dari objek yang bertemperatur tinggi menuju objek yang bertemperatur rendah. Perpindahan panas konduksi satu dimensi melalui padatan diatur oleh hukum Fourier (*Fourier Law of Heat Conduction*) yang dinyatakan sebagai:

$$q = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \tag{2}$$

Di mana:

q = Laju kalor konduksi yang berpindah (W)

k = Konduktivitas termal bahan (W/m.K)

A = Luas penampang bidang (m^2)

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

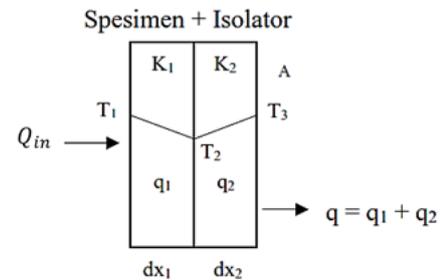
3. Konduktivitas Termal (k)

Pada rumus perpindahan panas konduksi tanda (-) mengartikan bahwa terjadi pelepasan panas, maka untuk perbedaan temperaturnya yaitu temperatur rendah dikurangi temperatur tinggi. Untuk penelitian ini karena spesimen menyerap panas, maka tanda (-) dapat dihilangkan, dimana temperatur tinggi dikurangi temperatur rendah dan dikarenakan spesimen dan isolator pengujian saling berhimpit serta mempengaruhi satu sama lain maka persamaan (2) dapat dikembangkan menjadi [10]:

$$q = q_1 + q_2 \tag{3}$$

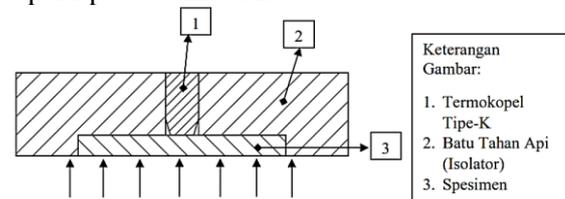
dengan,

$$q = \frac{k_1 \cdot A_1 \cdot \Delta T_1}{dx_1} + \frac{k_2 \cdot A_2 \cdot \Delta T_2}{dx_2}$$



Gambar 1. Persamaan Konduksi Gabungan

Kalor masuk (Q_{in}) didapat dari kompor listrik 300 Watt, nantinya panas akan melewati spesimen dan isolator. Temperatur pada permukaan kompor (T_1) dan temperatur setelah melewati spesimen (T_2) akan dihitung dengan menggunakan termokopel, kemudian dicatat sebagai data temperatur spesimen. Pencatatan temperatur dilakukan setiap menit selama 30 menit sebanyak 3 kali setiap spesimennya, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Gambaran Uji Pemanasan Spesimen

Maka, untuk mendapatkan nilai konduktivitas termal (k) dengan memindahkan ruas yang ingin dicari pada rumus di atas menjadi:

$$k_1 = \frac{(q \cdot dx_1 \cdot dx_2) - (k_2 \cdot A_2 \cdot \Delta T_2 \cdot dx_1)}{(A_1 \cdot \Delta T_1 \cdot dx_2)} \tag{4}$$

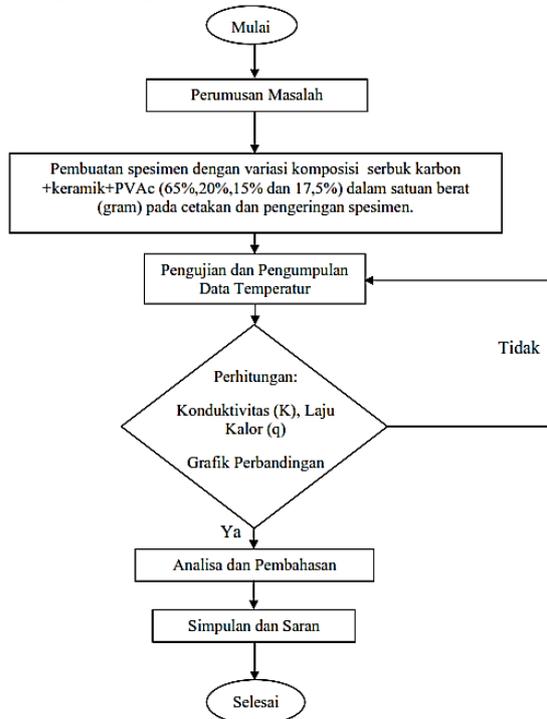
Dimana nilai Q_{in} , A , k_2 dan dx memiliki nilai tetap, maka berdasarkan dari persamaan (4) nantinya perubahan temperatur (ΔT) berpengaruh terhadap nilai konduktivitas (k_1).

METODE PENELITIAN

Rancangan penelitian

Antara karbon, keramik dan PVAc nantinya akan dicampurkan dan dicetak dengan beberapa variasi komposisi sehingga dihasilkan 6 spesimen. Pada spesimen 1, 2 dan 3 berkomposisi 65% karbon divariasikan dengan keramik sebesar 20%, 15% dan 17,5% serta PVAc sebesar 15%, 20% dan 17,5%. Untuk spesimen 4,5 dan 6 berkomposisi 65% keramik divariasikan dengan karbon sebesar 20%, 15% dan 17,5% serta PVAc sebesar 15%, 20% dan 17,5%. Masing-masing spesimen nantinya akan dilakukan pengujian untuk mendapatkan data perhitungan konduktivitas termal (k_1) dan laju kalor (q) rata-rata dari tiap spesimen. Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimen dan kuantitatif dengan tujuan untuk mendapatkan dan mengetahui kemampuan termal dari spesimen yang dibuat melalui beberapa variasi komposisi, sehingga didapatkan hasil data yang selanjutnya diolah dan digunakan pada pembahasan.

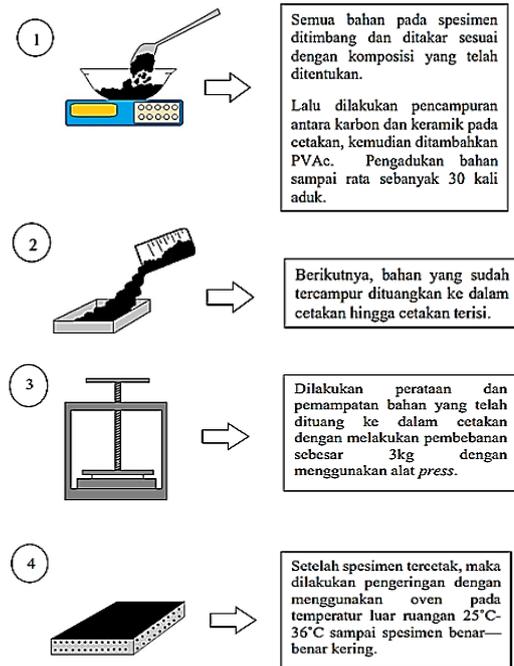
Diagram alir penelitian ini, akan ditunjukkan pada Gambar 3. di bawah ini:



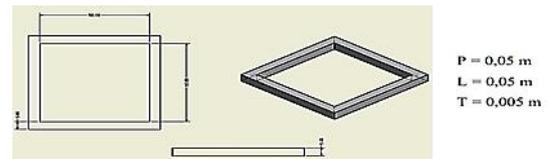
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah variasi campuran karbon (dari arang tempurung kelapa),



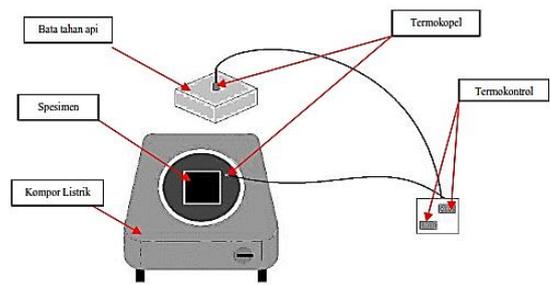
keramik dan lem PVAc, dengan proses



pembuatan spesimen sebagai berikut:

Gambar 4. Proses Pembuatan Spesimen
Gambar 5. Penahan/Cetakan

Skema Penelitian



Gambar 6. Skema Penelitian

Variabel Penelitian

Penentuan variabel penelitian ini, terbagi atas:

- Variabel Bebas :

Variasi perbandingan komposisi bahan campuran berdasarkan volume cetakan dikonversikan dalam gram, yaitu:

- a. Karbon, keramik dan lem kayu/PVAc (65%, 20%, 15%), (65%, 17,5%, 17,5%), (65%, 15%, 20%).
- b. Keramik, karbon, dan lem kayu/PVAc (65%, 20%, 15%), (65%, 17,5%, 17,5%), (65%, 15%, 20%).

- Variabel Terikat:
 - a. Volume wadah cetakan 50 mm x 50 mm x 5 mm = 12.500 mm, dan juga dengan luas penampang 2.500 mm².
 - b. Komposisi air yang hanya sebagai pelarut 1:1 dengan lem kayu/PVAc atau mengikuti berat komposisi lem kayu/PVAc.
 - c. Penekanan dilakukan dengan pembebanan sebesar 3 kg.
- Variabel Terkontrol :
Pengeringan menggunakan pemanasan pada oven dengan temperatur 25 °C - 36 °C.

Teknik Pengambilan Data

Setelah spesimen kering dilakukan perhitungan untuk dimensinya pada tiap spesimen, agar dapat mengetahui perubahan dimensi yang terjadi pada spesimen tersebut. Laju temperatur kalor diuji dengan cara memanaskan spesimen menggunakan kompor listrik berdaya 300Watt waktu selama 30 menit. Untuk meminimalisir pengaruh dari temperatur luar, dalam pengujian spesimen bisa juga diberlakukan penutupan berupa bata tahan api yang telah dibentuk kotak dan disesuaikan dengan ukuran spesimen dan di atasnya diberi alat pengukur berupa termokopel. Temperatur kalor diukur dengan termokopel yang sudah terhubung dengan termokontrol untuk melihat laju temperatur yang ditampilkan. Agar didapatkan data yang valid dalam pengujian tiap spesimen diuji sebanyak 3 kali. Sebelum dan sesudah dilakukan pengujian akan dihitung terlebih dahulu dimensi serta massa dari setiap spesimen, agar dapat diketahui terjadinya perubahan terhadap spesimen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pengambilan data temperatur hasil pengujian terhadap waktu dari masing-masing spesimen yang digunakan sebagai pendukung dalam pembahasan, tersaji pada Tabel 1. di bawah ini:

Tabel 1. Perubahan Temperatur Rata-rata Pada Setiap Spesimen

Waktu	Sp 1	Sp 2	Sp 3	Sp 4	Sp 5	Sp 6
Menit	K					
0	299,15	299,15	299,15	299,15	299,15	299,15
1	299,15	299,15	299,15	299,15	299,15	299,15
2	300,81	300,483	299,483	300,817	300,483	299,817
3	306,15	303,15	300,483	304,15	303,15	301,817
4	312,15	306,15	304,817	308,15	310,15	306,483
5	322,81	313,15	316,483	319,483	327,483	317,817

6	341,48	334,483	339,15	338,48	351,817	335,483
7	356,81	351,483	359,15	355,817	360,15	351,483
8	360,81	355,483	363,15	358,817	361,817	359,483
9	363,81	357,817	364,15	363,483	363,483	364,817
10	367,48	362,483	366,15	376,483	367,483	372,817
11	376,48	373,817	375,483	388,817	383,15	385,817
12	393,81	385,15	386,817	405,15	406,15	401,483
13	412,81	405,15	400,483	425,15	425,817	419,15
14	432,81	423,15	418,15	443,15	446,15	437,817
15	450,81	441,483	434,483	462,817	466,483	456,483
16	470,48	458,483	449,15	481,817	484,483	472,483
17	483,81	475,483	464,15	496,483	501,15	489,483
18	497,15	490,483	477,15	514,483	515,817	504,817
19	510,15	505,817	489,817	528,817	527,15	518,817
20	523,15	520,15	501,483	535,483	541,483	533,15
21	535,81	533,817	513,15	557,483	556,15	546,483
22	546,15	547,15	523,483	569,483	566,817	555,817
23	557,81	558,15	532,817	580,817	578,817	571,483
24	567,81	569,817	543,15	591,817	590,817	583,15
25	577,15	579,817	557,15	602,15	602,15	593,15
26	585,15	589,483	564,15	610,817	610,483	602,483
27	593,15	597,817	571,15	619,483	617,817	611,15
28	600,81	605,483	579,483	627,817	625,483	618,817
29	606,81	612,817	586,483	634,817	632,483	626,483
30	614,15	619,817	594,15	642,15	638,817	632,483

Tabel 2. Massa Setiap Spesimen Sebelum dan Sesudah Pengujian (C = karbon, K = keramik, L = lem)

Komposisi	Massa (gram)				
	Awal	Uji 1	Uji 2	Uji 3	Massa Hilang
Spesimen 1 = 65% C, 20% K, 15% L	10,8	9,6	8,4	7,2	3,6
Spesimen 2 = 65% C, 15% K, 20% L	9,7	8,6	7,4	5,9	3,8
Spesimen 3 = 65% C, 17,5% K, 17,5% L	10,5	9,8	8,1	6,8	3,7
Spesimen 4 = 20% C, 65% K, 15% L	16,2	13,8	11,6	9,3	6,9
Spesimen 5 = 15% C, 65% K, 20% L	16,8	14,5	12,6	10,4	6,4
Spesimen 6 = 17,5% C, 65% K, 17,5% L	16,5	14,4	12,6	10,4	5,8

1. Perhitungan Kalor masuk (Q_{in})

Air sebanyak 0,3 kg dituangkan ke dalam yang terbuat dari aluminium dengan massa 0,025 kg, dimana kapasitas kalor (c) dari air adalah 4.220 J/Kg.°C dan kapasitas kalor dari wadah aluminium sebesar 902 J/Kg.°C. Mengacu pada

persamaan (1), maka nilai (Q_{in}) didapatkan melalui perhitungan:

$$Q_{air} = 0,3 \text{ kg} \cdot 4220 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 74^\circ\text{C} = 93684 \text{ J}$$

$$Q_{wadah} = 0,025 \text{ kg} \cdot 902 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 74^\circ\text{C} = 1668,7 \text{ J}$$

$$Q_{in} = Q_{air} + Q_{wadah} = 93.684 \text{ J} + 1668,7 \text{ J} = 95352,7 \text{ J}$$

Lama waktu pemanasan selama 30 menit, maka nilai (Q_{in}) menjadi:

$$Q_{in} = 95352,7 \text{ J} : 1800 \text{ detik} = 52,97 \text{ J/detik}$$

2. Perhitungan Konduktivitas Termal (k_1)

Konduktivitas termal adalah kemampuan suatu benda dalam menghantarkan kalor. Konduktivitas termal (k_1) dicari dengan menggunakan kalor dari kompor listrik sebesar 52,97 Watt, dimana penutup spesimen yang digunakan saat pengujian terbuat dari batu tahan api jenis JM 23 dengan nilai konduktivitas termal sebesar 0,18 W.K/m. Temperatur kompor (T_1) yang digunakan pada perhitungan sebesar 559,26 K, yang didapatkan dari rata-rata temperatur kompor pada saat pengujian berlangsung. Perhitungan dilakukan setiap menitnya dengan ΔT berbeda, yang berkesinambungan dengan berjalannya waktu pada saat pengujian hingga 30 menit. Contoh perhitungan untuk spesimen 1 pada menit ke 2 pada Tabel 1. dengan mengacu pada persamaan (4) adalah sebagai berikut:

$$k_1 = \frac{(52,97 \text{ W} \cdot 0,005 \text{ m} \cdot 0,02 \text{ m}) - (0,18 \text{ W.K/m} \cdot 0,0025 \text{ m}^2 \cdot 0 \text{ K} \cdot 0,005 \text{ m})}{(0,0025 \text{ m}^2 \cdot 258,44 \text{ K} \cdot 0,02 \text{ m})} = 0,4099 \text{ W.K/m}$$

Pada perhitungan di atas nilai ΔT_1 dari (559,26 K - 300,817 K = 258,443 K) sedangkan nilai $\Delta T_2 = 0 \text{ K}$, dimana nilai (0) dikarenakan perpindahan panas tidak terjadi antara T_2 dan T_3 . Saat konduktivitas spesimen mencapai puncaknya atau bisa diartikan pada saat $T_1 = T_2$, panas tertahan di isolator, namun dikembalikan dari isolator menuju spesimen. Oleh karena itu temperatur menjadi positif (+) yang artinya menyerap panas, sehingga untuk $\Delta T_2 = \Delta T_1$.

3. Perhitungan Laju Kalor (q)

Perhitungan laju kalor dilakukan ketika telah didapatkan konduktivitas termal masing-masing spesimen. Untuk mendapatkan laju kalor maka dibagi dengan 60 detik, agar didapat peningkatan kalor perdetik adalah dengan menggunakan konduktivitas tertinggi dari setiap spesimen sebagai k_1 . Mengacu pada persamaan

(3), maka contoh perhitungan untuk spesimen 1 pada menit ke 2 pada Tabel 1. adalah sebagai berikut:

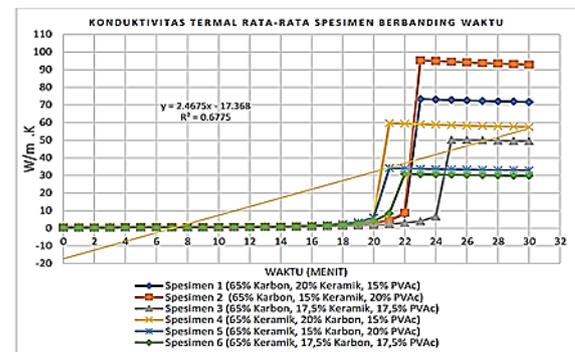
$$q = \left(\frac{73,343 \text{ W.K/m} \cdot 0,0025 \text{ m}^2 \cdot 258,44 \text{ K}}{0,005 \text{ m}} + \frac{0,18 \text{ W.K/m} \cdot 0,0025 \text{ m}^2 \cdot 0 \text{ K}}{0,02 \text{ m}} \right) : 60 = 157,96 \text{ Watt/detik}$$

Sama halnya dengan perhitungan konduktivitas termal spesimen, perhitungan dilakukan dengan mengikuti seiring bertambahnya waktu pada saat pengujian sampai menit ke-30.

Pembahasan

Setelah melakukan pengambilan data melalui pengujian dan perhitungan pada setiap spesimen, maka didapatkan analisis dan pembahasan sebagai berikut:

a) Perbandingan Konduktivitas Termal Pada Setiap Spesimen



Gambar 7. Grafik Konduktivitas Termal Setiap Spesimen

Pada Gambar 7. konduktivitas puncak tiap spesimen didapati tepat sebelum panas terjadi pada isolator, dapat dilihat dimana ditandai dengan menurunnya konduktivitas (spesimen + isolator) secara perlahan namun untuk temperatur meningkat juga secara perlahan. Konduktivitas tertinggi didapatkan pada spesimen 2 yaitu sebesar 95,346 W.K/m dan tercapai pada menit ke 23, sedangkan untuk konduktivitas termal terendah didapat pada spesimen 6 yaitu sebesar 30,79 W.K/m dan tercapai pada menit 22.

Pada spesimen 1 faktor komposisi karbon yang lebih besar 65 % dan komposisi keramik yang lebih besar dari PVAc (20 % : 15 %), menyebabkan campuran tidak mengikat karbon secara merata ($\pm 15 \%$), sehingga panas akan banyak melewati celah (*porous*) karbon yang pastinya akan berpengaruh terhadap nilai laju aliran panas dan konduktivitas panas spesimen.

Pada spesimen 2 komposisi PVAc (20%) yang lebih besar dari keramik mengakibatkan PVAc tersebut akan mudah hilang atau terbakar, yang pastinya akan berpengaruh pada

kehilangan massa dan peningkatan temperatur. Karena komposisi karbon yang lebih besar 65 %, maka panas tersebut akan melewati celah (*porous*) karbon dan mengikis lapisan karbon yang terlapis keramik. Akibat pengikisan tersebut maka nilai (q) dan (k) akan mengalami peningkatan yang signifikan pada spesimen.

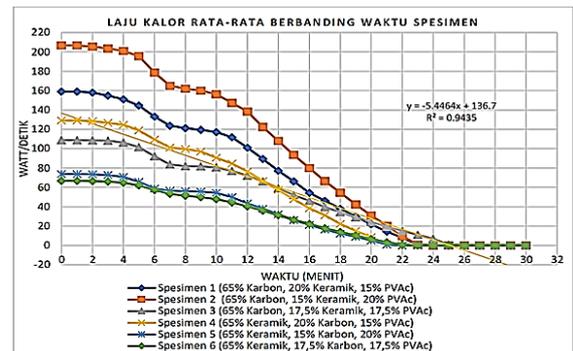
Pada spesimen 3 Akibat komposisi campuran keramik dan PVAc yang seimbang membentuk suatu isolator, maka massa yang terbakar lebih sedikit dibanding spesimen 4 (3,7 gr : 6,9 gr, lihat Tabel 2.) serta menghambat kenaikan temperatur. Namun karena komposisi karbon spesimen 3 masih dominan yaitu 65 %, maka panas bergerak mencari celah (*porous*) dan melewati karbon serta mengikis lapisan yang melingkupinya (sisa \pm 30 % karbon), sehingga akan berpengaruh terhadap peningkatan nilai konduktivitas dan laju aliran kalor sedikit dibawah dari spesimen 4 (49,2 : 58,5, lihat Gambar 7.). Hal ini dapat dilihat dari persamaan konduksi, dimana ketika temperatur rendah, laju aliran kalor akan meningkat jika nilai konduktivitas panas bahannya meningkat atau tinggi.

Pada spesimen 4 terlihat bahwa massa yang hilang atau terbakar hampir 2x lebih banyak dari spesimen 3 (6,9 gr : 3,7 gr, lihat Tabel 2.), sehingga menyebabkan panas akan meningkat. Komposisi keramik lebih besar yaitu 65 %, maka panas tersebut akan tertahan dan menyebabkan porositas akibat temperatur yang meningkat tajam. Panas tersebut kemudian melewati karbon (20 %) serta mengikis lapisannya yang terlapis keramik dan PVAc, sehingga menyebabkan nilai konduktivitas dan laju aliran kalor bisa lebih tinggi dari spesimen 3 yang berkomposisi 65% karbon.

Pada spesimen 5 komposisi PVAc yang lebih besar dari karbon (20 % : 15 %) dan faktor komposisi keramik yang lebih besar 65 %, menyebabkan panas akan tertahan. Oleh karena panas yang tertahan tersebut, maka temperatur akan mengalami peningkatan dan menyebabkan massa akan berkurang (hilang/terbakar) sedikit lebih banyak dari spesimen 6 (Tabel 2.). Akibat massa yang berkurang cukup banyak dan panas lebih dominan melewati celah (*porous*) karbon yang terlapis keramik lebih tebal, maka nilai konduktivitas dan laju aliran panasnya tidak terlalu tinggi atau menurun. Meskipun disini temperaturnya meningkat, namun faktor komposisi keramik yang lebih dominan, menyebabkan spesimen lebih isolator dan panas sulit menembus ke dalam area inti karbon.

Pada spesimen 6 komposisi yang seimbang dari karbon dan PVAc (17,5 % : 17,5 %) serta faktor komposisi keramik 65 %, menyebabkan panas akan lebih tertahan karena spesimen lebih dominan bersifat isolator. Oleh karena panas yang tertahan tersebut, maka temperatur akan mengalami peningkatan dan menyebabkan massa akan berkurang cukup banyak (hilang/terbakar). Akibat massa yang berkurang cukup banyak dan panas lebih dominan melewati celah (*porous*) karbon yang terlapis keramik lebih tebal, maka akan berakibat pada nilai konduktivitas dan laju aliran panasnya yang tidak terlalu tinggi atau menurun. Meskipun disini temperaturnya meningkat, namun faktor komposisi keramik yang lebih besar, menyebabkan spesimen lebih isolator dan panas sulit menembus ke dalam area inti karbon.

b) Perbandingan Laju Kalor Rata-rata Pada Spesimen



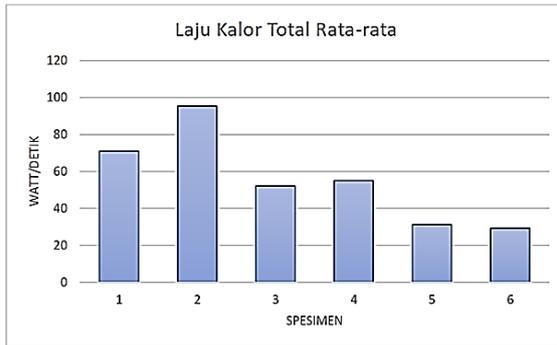
Gambar 8. Grafik Laju Kalor Dari Setiap Spesimen

Gambar 8. menunjukkan laju kalor tertinggi berada pada menit 0, dimana pada menit tersebut terjadi perpindahan panas yang tinggi ditandai dengan perbedaan temperatur yang tertinggi dari tiap spesimen. Hal ini sesuai bahwa ketika laju kalor naik (puncak) sebanding dengan perubahan temperatur naik (puncak). Pada laju aliran kalor ketika telah mencapai ujung dari permukaan spesimen (sebelum isolator, lihat Gambar 2.) tidak melepas kalor, namun kalor tertahan oleh isolator. Dengan tertahannya laju kalor oleh isolator membuat laju kalor menjadi *stagnant* (tetap), ataupun ada penurunan yang sangat sedikit.

Dari Gambar 8. laju kalor rata-rata tiap spesimen terlihat berbeda dimana laju kalor tertinggi dimiliki oleh spesimen 2 pada angka 206,7 Watt/detik dan ujungnya pada menit 23, sedangkan laju kalor terendah dimiliki oleh spesimen 6 sebesar 66,73 Watt/detik dan ujungnya pada menit 22. Oleh karena laju aliran kalor juga dipengaruhi dengan konduktivitas

panas dari spesimen, maka untuk analisa dari setiap spesimen juga identik dengan pembahasan pada konduktivitas panas dari spesimen (sub pembahasan a)) dikarenakan saling berhubungan antara laju kalor dengan konduktivitasnya.

Untuk laju kalor total rata-rata tiap spesimen dimana untuk spesimen 2 memiliki laju kalor total rata-rata tertinggi sebesar 95,37 Watt/detik dan spesimen 6 memiliki nilai laju kalor total rata-rata terendah pada angka 29,24 Watt/detik. Berikut laju kalor total rata-rata dari setiap spesimen, yang tersaji pada Gambar 9. di bawah:



Gambar 9. Laju Kalor Total Rata-rata

SIMPULAN

Berdasarkan hasil hasil dan pembahasan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

Karbon berpengaruh pada nilai konduktivitas termal dan laju aliran kalor pada spesimen, pada spesimen 1 dan 2 semakin banyak karbon maka semakin tinggi pula konduktivitas termal dan laju kalornya, namun untuk spesimen 3 tidak berlaku dikarenakan campuran dari keramik dan PVAc yang seimbang membuat terbentuknya bagian isolator pada spesimen 3. Keramik mempengaruhi permukaan dan porositas pada spesimen yang berakibat keretakan. Semakin tinggi komposisi keramik semakin kecil tahanan termal spesimen dikarenakan keretakan permukaan spesimen. PVAc berpengaruh pada pengurangan keretakan dan poritas pada permukaan yang disebabkan oleh kekerasan keramik ketika dipanaskan, namun PVAc juga dapat menjadi isolator dalam spesimen ketika dapat berikatan dengan baik dengan keramik.

Adanya hubungan antara konduktivitas dan laju kalor menyebabkan hasil perhitungan menunjukkan karakter yang identik, hal ini diakibatkan karena di dalam persamaan nilai laju kalor akan dipengaruhi oleh konduktivitas ketika unsur yang lain bernilai tetap. Sebagai pembuktian dimana hasil tertinggi konduktivitas termal dan laju kalor rata-rata adalah pada

spesimen 2, sedangkan hasil terendah konduktivitas termal dan laju kalor rata-rata adalah pada spesimen 6.

REFERENSI

- [1] O. F. C. Walangitan dan A. Y. Punuindoong, "Kelompok Usaha Pengolahan Buah Kelapa Sebagai Sumber Penghasilan Masyarakat Desa Tateli Kecamatan Mandolang Kabupaten Minahasa Provinsi Sulawesi Utara," *J. Administasi Bisnis*, vol. 7, no. 2, hal. 1–5, 2018, [Daring]. Tersedia pada: <https://media.neliti.com/media/publications/269333-kelompok-usaha-pengolahan-buah-kelapa-se-61c797b1.pdf>
- [2] Umbang Arif Rokhayati, *Meramu Bungkil Kelapa Sebagai Sumber Protein Nabati Untuk Pakan Ternak*, I. Gorontalo, 2019.
- [3] H. L. Rampe, Meytij Jeanne, Vistarani Arini Tiwow, Rampe, "Potensi Arang Hasil Pirolisis Tempurung Kelapa sebagai Material Karbon," *J. Sainsmat*, vol. II, no. 2, hal. 191–197, 2013.
- [4] N. T. Redationo, "Karakterisasi Serbuk Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Target Dengan Variasi Temperatur Pemanasan," *Wawasan*, vol. XXVI, no. 1, hal. 27–34, 2017, [Daring]. Tersedia pada: <http://lppm.widyakarya.ac.id/wawasan-volume-xxvi-1-nercus-tugur-redationo/>
- [5] P. Yustana, "Karakteristik Tanah Liat Dan Pengaruhnya Terhadap Keberhasilan Warna Glasir," *Corak*, vol. 1, no. 1, hal. 62–77, 2012, doi: 10.24821/corak.v1i1.2313.
- [6] R. Sulistya, *Pengolahan Tanah Liat*, 1 ed. Jakarta: Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2013. [Daring]. Tersedia pada: https://ftp.unpad.ac.id/bse/Kurikulum_2013/Kelas_11_SMK_Pengolahan_Tanah_Liat_1.pdf
- [7] A. Phelipot-Mardelé, F. Collet, Y. Jiang, C. Lanos, M. Lawrence, dan M. Lemke, "Moisture buffering capacity of clay-based plasters," *3rd Int. Conf. Bio-Based Build. Mater.*, vol. 37, no. 2, hal. 363–370, 2019.
- [8] L. Hanif dan Rozalina, "Perekat Polyvinyl Acetate (PVAc)," 2020. doi: 10.36985/jar.v9i1.193.
- [9] P. R. Sasmita, *Modul Fisik Suhu, Kalor*,

Dan Perpindahan Kalor. 2015. [Daring].
Tersedia pada:
<http://danaseknginden1.blogspot.com/>

- [10] Imam Fitriadi, “Analisis Kehilangan Energi Panas (Heat Loss) Pada Instalasi Sistem Pemipaan Pembangkit Tenaga Uap,” Universitas Medan Area, 2017.