

## Pengaruh Laju Pemanasan Green Body Terhadap Sifat Mekanis dan Fisis Material Crucible Berbahan Limbah Evaporation Boats

M. Nuril Anwar Habiby<sup>1</sup>, Rusiyanto<sup>2</sup>, Rahmat Doni Widodo<sup>3</sup>, Wirawan Sumbodo<sup>4</sup>  
Email corresponding author: [nurilaby6@gmail.com](mailto:nurilaby6@gmail.com)

<sup>1,2,3,4</sup> Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Sekaran, Gunungpati, Semarang, Indonesia

Article history: Received: 18 Maret 2022 | Revised: 22 Mei 2022 | Accepted: 23 Mei 2022

**Abstract.** *Evaporation boat waste is waste that cannot be decomposed but has a very high heat resistance so it needs to be utilized. This study aims to determine the effect of the heating rate on the mechanical and physical properties of crucible materials made from evaporation boats waste. Variations in heating rate are 2, 4, 6, 8, and 10°C/minute during the combustion process in the furnace. The composition of the specimen uses a weight ratio of 70% waste evaporation boats, 15% graphite, 7.5% kaolin, 7.5% castable SK-34, and 15% clean water from the total weight of the mixture. Each material is sieved with 100 mesh. The material was molded into a specimen according to ASTM C373-72 standard with a compaction pressure of 40 MPa. The combustion uses a temperature of 1000°C and a holding time of 2 hours. Specimens were tested for compressive strength, hardness Vickers, density, microstructure. The highest compressive strength was 29.829 MPa at a slow heating rate of that is 2°C/min. The lowest hardness value is 12.64 HVN at a heating rate of 10°C/min. The highest density value is 2.39 g/cm<sup>3</sup> at a slow heating rate of 2°C/min, while of lowest on value is 1.99 g/cm<sup>3</sup> at a fast heating rate of 10°C/min. The results of the microstructure at a heating rate of 2°C/min resulted in the most balanced distribution structure and the best density. The results obtained can be concluded that the slower the heating rate of the green body used, the better mechanical and physical generated in research properties of the crucible material.*

**Keywords** - Heating Rates, Crucible Materials, Evaporation Boats Waste, Mechanic, Physic

**Abstrak.** *Limbah evaporation boats merupakan limbah yang tidak dapat terurai tetapi memiliki daya tahan panas yang sangat tinggi sehingga perlu dimanfaatkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari laju pemanasan terhadap sifat mekanis dan fisis material crucible yang terbuat dari limbah evaporation boats. Variasi laju pemanasan yang digunakan yaitu 2, 4, 6, 8, dan 10°C/menit saat proses pembakaran di dalam furnace. Komposisi material crucible menggunakan perbandingan berat limbah evaporation boats 70%, grafit 15%, kaolin 7,5%, castable SK-34 7,5%, dan 15% air bersih dari total berat campuran. Setiap bahan diayak dengan ayakan 100 mesh. Bahan tersebut dicetak menjadi spesimen sesuai standar ASTM C373-72 dengan tekanan kompaksi sebesar 40 MPa. Pembakaran menggunakan temperatur 1000°C dan waktu penahanan selama 2 jam. Spesimen diuji kuat tekan, kekerasan Vickers, densitas, struktur mikro. Kuat tekan tertinggi sebesar 29,829 MPa pada laju pemanasan lambat 2°C/menit. Nilai kekerasan terendah sebesar 12,64 HVN pada laju pemanasan 10°C/menit. Nilai densitas tertinggi sebesar 2,39 g/cm<sup>3</sup> pada laju pemanasan 2°C/menit, sedangkan nilai terendah adalah 1,99 g/cm<sup>3</sup> pada laju pemanasan cepat 10°C/menit. Hasil struktur mikro pada laju pemanasan 2°C/menit menghasilkan struktur distribusi fasa yang paling seimbang dan kepadatan terbaik pada material crucible. Hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa semakin lambat laju pemanasan green body yang digunakan maka semakin baik sifat mekanis dan fisis yang dihasilkan dalam penelitian material crucible.*

**Kata Kunci** - Laju Pemanasan, Material Crucible, Limbah Evaporation Boats, Mekanis, Fisis

### PENDAHULUAN

Perkembangan berbagai aspek kehidupan di Indonesia saat ini semakin bertambah pesat seiring dengan adanya kemajuan ilmu dan teknologi (IPTEK) salah satu contohnya adalah perkembangan pada sektor industri manufaktur. Hal ini ditandai dengan meningkatnya industri manufaktur sebagai kontributor terbesar bagi perekonomian nasional. Namun seiring dengan meningkatnya industri yang ada, maka jumlah limbah juga akan semakin meningkat. Sehingga kedepannya terdapat sebuah tuntutan mengenai kemampuan pada masing-masing individu manusia untuk dapat mewujudkan sebuah pembangunan yang berwawasan lingkungan yaitu berupa pengolahan limbah secara efektif dan juga efisien agar lingkungan yang ada tetap terjaga kelestariannya. Sektor industri yang bergerak dibidang manufaktur dapat menghasilkan limbah bermacam-macam jenis dari pengolahan produk yang sedang dijalankan di masing-masing industrinya, salah satu contohnya hasil limbah dari industri manufaktur ini adalah limbah dari sisa pengerjaan aplikasi metalisasi plastik dan pelapisan vacuum modern pada kemasan makanan yang pada umumnya memiliki bentuk persegi panjang dan seperti palung yaitu *evaporation boats*.

Hasil limbah dari aktivitas industri ini sangat besar karena dalam aplikasinya material ini akan selalu digunakan dan akan terus diproduksi selama kemasan makanan yang membutuhkan metalisasi plastik dan pelapisan vacum masih diperlukan, material *evaporation boats* ini juga memiliki masa pakai yang cepat yaitu 8 jam pemakaian saja serta digunakan dengan jumlah yang sangat banyak akan tetapi sampai saat ini penanganan dan pembuangan dari limbah *evaporation boats* pasca pemakaian belum diketahui, sehingga jika hal ini dibiarkan secara terus menerus akan menyebabkan penumpukan dan juga mencemari lingkungan dimasa yang akan datang.



**Gambar 1.** Limbah *Evaporation Boats*

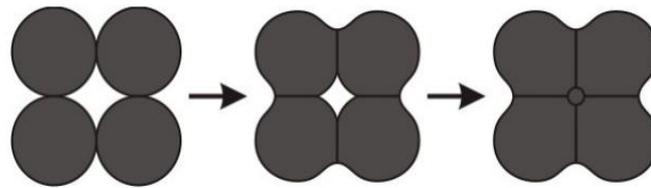
Limbah *evaporation boats* mengandung senyawa *boron nitride* yang memiliki berbagai keunggulan yaitu sifat konduktivitas termal yang baik serta dapat tahan terhadap temperatur panas sangat tinggi sehingga *boron nitride* sangat cocok dijadikan sebagai material refraktori [1]. Keunggulan dari *boron nitride* diatas sangat perlu dimanfaatkan dan diaplikasikan pada benda seperti material pembuatan *crucible* yang digunakan untuk aktivitas peleburan dalam pekerjaan pengecoran logam. Proses pada pekerjaan pengecoran logam yang perlu diperhatikan adalah saat peleburan terutama *crucible* sebagai wadahnya, sehingga ini penting untuk dilakukan penelitian [2].

Pekerjaan bidang pengecoran logam biasanya menggunakan kowi untuk meleburkan bahan *non ferro* yang tidak mengandung unsur besi (Fe) seperti aluminium, tembaga, timah, dan timbal dengan panas yang tidak terlalu tinggi. Menurut [3] Kowi adalah wadah untuk meleburkan bahan *non ferro* yang berbentuk krus menyerupai seperti pot dimana diameter atas lebih besar dari diameter bawah sehingga nama lainnya disebut dengan krusibel. Kebanyakan saat ini kowi lokal terbuat dari bahan grafit. Kowi dapat bertahan lebih lama jika menggunakan kowi impor atau kowi salamender, sedangkan kowi lokal berbahan grafit pada umumnya mempunyai sifat mudah pecah yang hanya mampu bertahan maksimal 10 kali peleburan dalam perlakuan halus dan 5 kali peleburan pada perlakuan kasar [4]. Permasalahan yang dijumpai adalah harga kowi impor jauh lebih mahal dari pada kowi lokal (grafit), kowi berbahan grafit saat ini diketahui mudah retak dan pecah apabila menerima pembebanan saat digunakan menampung logam cair dari peleburan, saat mengalami benturan, dan lonjakan temperatur secara tiba-tiba serta berulang-ulang. Sehingga biaya yang cukup besar harus dikeluarkan oleh industri pengecoran logam untuk melakukan operasional dari pekerjaan yang dijalankannya. Oleh karena itu perlu dikembangkan lagi agar *crucible* lokal dapat memiliki kualitas terbaik serta memiliki umur pakai yang lebih panjang dan lebih tahan lama.



**Gambar 2.** *Crucible* atau Kowi Grafit

Kualitas *crucible* dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah pemilihan dari bahan penyusunnya, ukuran partikel, besarnya tekanan (*press*), dan lamanya waktu proses pembakaran hasil spesimen atau *green body* didalam *furnace*. Penggunaan *crucible* juga berkaitan dengan temperatur dan untuk mencapai temperatur yang diinginkan pasti terdapat laju pemanasan pada setiap suhu dan menitnya sampai masing-masing bahan menyatu dengan sempurna, oleh karena itu dalam pembuatan *crucible* perlu diketahui parameter laju pemanasan yang tepat karena akan menentukan lama waktu pada proses pembakaran (*firing*) sehingga akan mempengaruhi hasil *crucible*.



**Gambar 3.** Perubahan Struktur Mikro Proses Pembakaran

Laju pemanasan (*heating rates*) merupakan naiknya temperatur proses pada pembakaran dan akan menentukan sifat dari material *crucible*. Parameter ini perlu dikontrol karena salah satu yang perlu diperhatikan dalam proses pembakaran adalah jangan membakar keramik terlalu cepat karena keramik akan mengalami banyak keretakan karena tidak cukup waktu bagi air plastisitas untuk menguap sehingga parameter yang tepat harus diketahui [5].

*Green body* merupakan hasil kompaksi atau pemampatan serbuk hingga antar partikelnya menyatu dengan sempurna hingga menjadi spesimen, untuk mengetahui kualitas dari material *crucible* perlu dilakukan pengujian pada *green body* material *crucible* agar dapat mengetahui peningkatan dari sifat mekanis dan fisis material secara umum seperti pengujian kuat tekan (*compressive strength*), kekerasan *Vickers*, densitas, dan pengamatan material dengan struktur mikro, sehingga diharapkan produk *crucible* yang dihasilkan akan lebih sempurna kedepannya.

Penelitian ini juga melakukan pengamatan dengan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* atau SEM-EDX terlebih dahulu pada limbah *evaporation boats* untuk mengetahui gambar struktur dan komposisi kandungan apa saja yang ada didalamnya serta pengujian sifat mekanis dan fisis dari hasil spesimen atau *green body* material *crucible* yang telah dibuat dengan persamaan sebagai berikut:

- **Pengujian Kuat Tekan (*Compressive Strength*)**

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengetahui kemampuan material saat menerima beban hingga material tersebut mengalami retak dan pecah. Nilai kuat tekan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma_T = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

Keterangan:

$\sigma_T$  = Kuat tekan (MPa)

$P$  = Beban maksimum saat material mulai retak (N)

$A_0$  = Luas penampang material uji (mm<sup>2</sup>)

- **Pengujian Kekerasan *Vickers***

Pengujian kekerasan *Vickers* bertujuan untuk mengetahui ukuran ketahanan material terhadap deformasi atau penetrasi dari luar yang berupa lengkungan oleh indenter. Pengujian kekerasan *Vickers* pada spesimen pengujian dapat diukur dengan persamaan berikut:

$$HVN = \frac{1,854 \times P}{d^2} \quad (2)$$

Keterangan:

$P$  = beban tumbuk (gf)

$d$  = panjang diagonal penginjakan penetrator (μm)

- **Pengujian Densitas**

Pengujian densitas bertujuan untuk mengetahui ukuran kerapatan suatu benda yang dapat dinyatakan sebagai banyaknya massa per satuan volume benda itu sendiri. Nilai densitas diperoleh dengan penerapan hukum *Archimedes* yang ada pada fluida cair sesuai dengan persamaan berikut:

$$\rho_m = \frac{Mk}{Mk - (Ma)} \times \rho_{H_2O} \quad (3)$$

Keterangan:

$\rho_m$  = Densitas aktual (gram/cm<sup>3</sup>)

$Mk$  = Massa sampel kering (gram)

$Ma$  = Massa sampel dalam air (gram)

$\rho_{H_2O}$  = Massa jenis air = 1 gram/cm<sup>3</sup>

## METODE

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental. Sifat mekanis dan fisis dari material *crucible* yang akan dilakukan meliputi pengujian kuat tekan, kekerasan *Vickers*, densitas, dan pengamatan struktur mikro pada *green body* atau spesimen dari material *crucible* berbahan dasar limbah *evaporation boats* setelah diberikan perlakuan laju pemanasan pada proses pembakaran (*firing*).

### A. Paramater Penelitian

Parameter penelitian ini terdiri dari variabel bebas yaitu variasi laju pemanasan 2, 4, 6, 8, 10°C/menit, dan variabel terikat yaitu kuat tekan, kekerasan, densitas, struktur mikro, variabel kontrol menggunakan perbandingan berat komposisi material *crucible* yaitu limbah *evaporation boats* 70%, grafit 15%, kaolin 7,5%, *castable SK-34* 7,5%, penambahan air 15% dari total berat campuran, ukuran partikel serbuk bahan 100 *mesh*, waktu *mixing* 90 menit dengan *rotating drum*, tekanan kompaksi spesimen 40 MPa, pengeringan spesimen selama 8 hari pada suhu ruangan, pembakaran dengan temperatur 1000°C dan *holding time* selama 2 jam. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode observasi ilmiah dan analisis deskriptif dengan data kuantitatif, metode ini digunakan untuk memberikan gambaran terhadap perubahan setelah dilakukan beberapa perlakuan tertentu dengan variabel bebas terhadap variabel terikat, kemudian data yang didapat akan disajikan dalam bentuk grafik dan gambar agar lebih mudah dipahami oleh para pembaca.

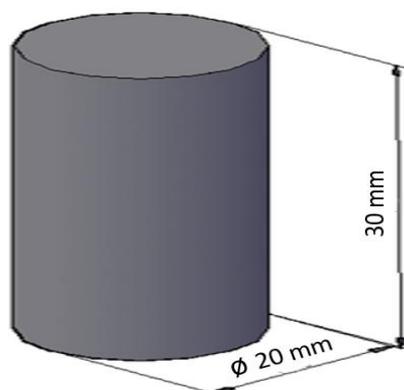
### B. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu cetakan spesimen yang mengacu standar ASTM C373-72, mesin *crusher* (pemecah bahan), ayakan 100 *mesh*, kompaksi hidrolik, jangka sorong, timbangan digital, plastik pemisah spesimen (klip plastik), mesin *mixer* (pencampur bahan), *furnace* atau oven, mesin amplas, mikroskop *Meijhi Techno UM 7200* untuk pengamatan struktur mikro, *Universal Testing Machine (UTM)* merk *Torontech* untuk pengujian kuat tekan, *Microhardness M800* untuk pengujian kekerasan *Vickers*, dan timbangan digital untuk pengujian densitas, sedangkan untuk bahan material *crucible* yang digunakan antara lain limbah *evaporation boats* sebagai bahan utama, grafit sebagai bahan tambah, kaolin sebagai bahan perekat, semen tahan api (*castable SK-34*) juga sebagai bahan perekat, dan air bersih sebagai bahan pengikat agar masing-masing bahan dapat menyatu secara sempurna.

### C. Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen dimulai dari menghancurkan limbah *evaporation boats* menggunakan mesin *crusher* hingga menjadi serbuk. Limbah *evaporation boats* yang sudah dihancurkan diayak dengan ayakan 100 *mesh* serta dicampur dengan bahan grafit, kaolin, dan *castable SK-34* kemudian dilakukan pencampuran (*mixing*) selama 90 menit menggunakan mesin *mixer* dan penambahan air 15% dari berat total campuran saat proses *mixing* berlangsung. Pencampuran bahan bertujuan untuk memperoleh hasil bahan yang lebih homogen. Kemudian bahan campuran dimasukkan kedalam cetakan spesimen sesuai standar yaitu ASTM C373-72 [6], dan dikompaksi menggunakan alat kompaksi hidrolik sebesar 40 MPa [7]. Hasil spesimen yang sudah jadi lalu didiamkan selama 8 hari pada suhu ruang untuk mengurangi kadar airnya.

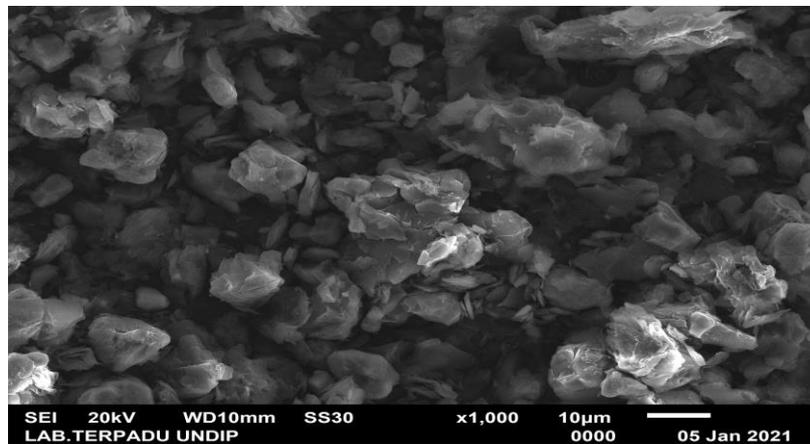
Ukuran spesimen pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Spesimen Pengujian Standar ASTM C373-72

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan *Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive X-Ray* atau disebut sebagai SEM-EDX pada limbah *evaporation boats* dilakukan di UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro Semarang. Pengamatan ini dilakukan menggunakan alat SEM-EDX yang bertujuan untuk mengetahui gambar morfologi atau struktur mikro yang ada didalam bahan serta komposisi elemen apa saja yang terkandung didalamnya.



**Gambar 5.** Hasil Pengamatan SEM pada Limbah *Evaporation Boats*

Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat dianalisis bahwa pengujian SEM/*Scanning Electron Microscope* menghasilkan gambar dari sampel dengan memindai permukaan menggunakan sinar elektron yang terfokus pada pembesaran 1000 kali. Hasil dari gambar yang diperoleh diatas menunjukkan struktur limbah *evaporation boats* yang akan dijadikan sebagai bahan dasar dalam pembuatan *crucible* memiliki bentuk butir atau partikel berbentuk bulat tetapi tidak beraturan serta padat dan setiap partikel yang memiliki ukuran rata-rata 10 mikron.

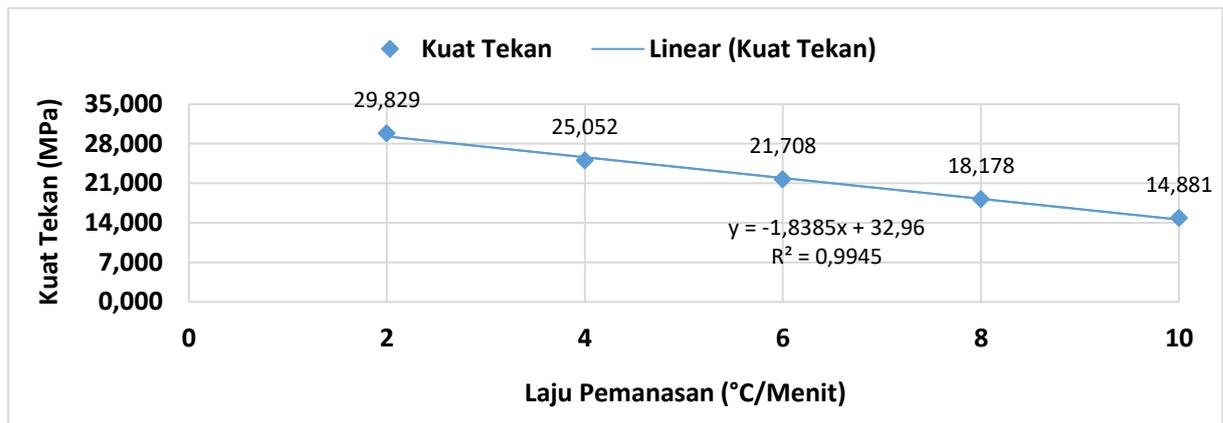
ZAF Method Standardless Quantitative Analysis					
Fitting Coefficient : 0.0139					
Element	(keV)	Mass%	Sigma	Atom%	K
B K	0.183	43.68	0.01	51.22	35.8222
C K	0.277	12.84	0.05	13.55	1.8276
N K	0.392	34.98	0.08	31.66	47.8996
O K	0.525	2.50	0.03	1.98	1.4447
Al K	1.486	0.15	0.00	0.07	0.2724
Ca K	3.690	0.14	0.00	0.04	0.3452
Ti K	4.508	5.25	0.02	1.39	11.4477
Fe K	6.398	0.05	0.00	0.01	0.1076
Cu K	8.040	0.27	0.01	0.05	0.5287
Zn K	8.630	0.15	0.01	0.03	0.3044
<b>Total</b>		<b>100.00</b>		<b>100.00</b>	

**Gambar 6.** Hasil Pengamatan EDX pada Limbah *Evaporation Boats*

Berdasarkan hasil pengamatan EDX pada limbah *evaporation boats* diatas unsur yang paling banyak dalam bentuk presentase adalah B (Boron) dengan presentase sebesar 43,68% pada tegangan 0,183 keV serta N (Nitrogen) dengan besar presentase 34,98% pada tegangan 0,392 keV. Presentase boron dan nitrogen yang dihasilkan pada pengamatan ini sesuai dengan karakteristik dari material *evaporation boats* yang didapatkan berdasarkan sumber referensi dari (3M Advanced Materials Division, 2015) bahwa kandungan Boron dan Nitrogen tersebut merupakan komposisi utama yang ada didalam material *evaporation boats*.

### A. Hasil Pengujian Kuat Tekan (*Compressive Strength*)

Hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa laju pemanasan yang lambat akan menghasilkan nilai kuat tekan yang tinggi, sedangkan laju pemanasan yang lebih cepat akan menghasilkan nilai kuat tekan yang semakin rendah. Hasil nilai tersebut dapat terjadi karena laju pemanasan lambat pada proses pembakaran terjadi secara perlahan sehingga antar partikelnya kuat, sedangkan laju pemanasan cepat menyebabkan partikel tidak sempurna karena perubahan suhu yang terlalu cepat sehingga pertumbuhan butir (*grain growth*) yang terjadi seiring dengan meningkatnya temperatur proses pada saat pembakaran mengalami pertumbuhan butir yang tidak sempurna sehingga dapat menurunkan nilai mekanis dan fisisnya.



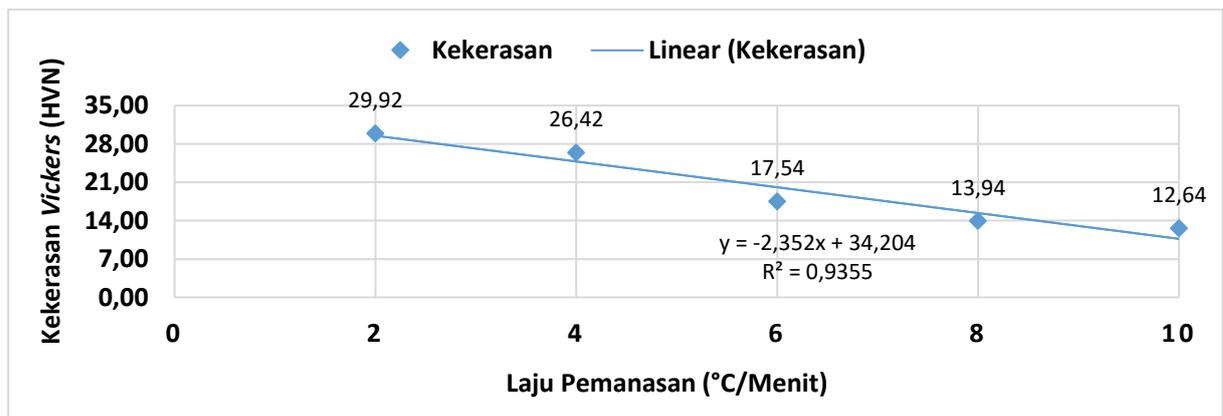
**Gambar 7.** Grafik Rata-rata Nilai Pengujian Kuat Tekan

Diketahui dari grafik diatas menunjukkan nilai rata-rata kuat tekan bahwa nilai rata-rata tertinggi diperoleh pada penggunaan laju pemanasan lambat yaitu 2°C/menit sebesar 29,829 MPa, sedangkan nilai kuat tekan terendah diperoleh pada laju pemanasan tercepat yaitu 10°C/menit sebesar 14,881 MPa. Hasil dari pengujian kuat tekan pada setiap spesimen menggunakan laju pemanasan lambat 2°C/menit selalu memperoleh nilai paling tertinggi, kemudian disusul dan diikuti oleh penggunaan laju pemanasan dari 4°C/menit, 6°C/menit, 8°C/menit, dan sampai pada nilai terkecil pada laju pemanasan tercepat yaitu 10°C/menit.

Hasil tersebut sesuai dengan penelitian [8] yang menyimpulkan bahwa perlakuan laju pemanasan *sintering* berpengaruh pada nilai kuat tekan material, semakin lambat laju pemanasan *sintering* yang digunakan maka akan memperbesar penyusutan pori serta laju densifikasi dari material sehingga partikel semakin padat dan bersatu dengan kuat. Pernyataan tersebut didukung juga oleh [9] didalam penelitiannya yang menjelaskan bahwa laju pemanasan cepat akan memiliki porositas lebih tinggi pada material karena saat proses *sintering* terjadi secara cepat sehingga pembentukan antar partikel bahan tidak sempurna.

## B. Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Hasil pengujian kekerasan *Vickers* yang telah dilakukan menunjukkan adanya nilai berbeda meskipun spesimen diberikan temperatur pembakaran yang sama. Secara umum perbedaan nilai kekerasan *Vickers* pada setiap perlakuan laju pemanasan tidak terlalu besar terutama antara laju pemanasan 8 dan 10°C/menit.



**Gambar 8.** Grafik Rata-rata Nilai Pengujian Kekerasan *Vickers*

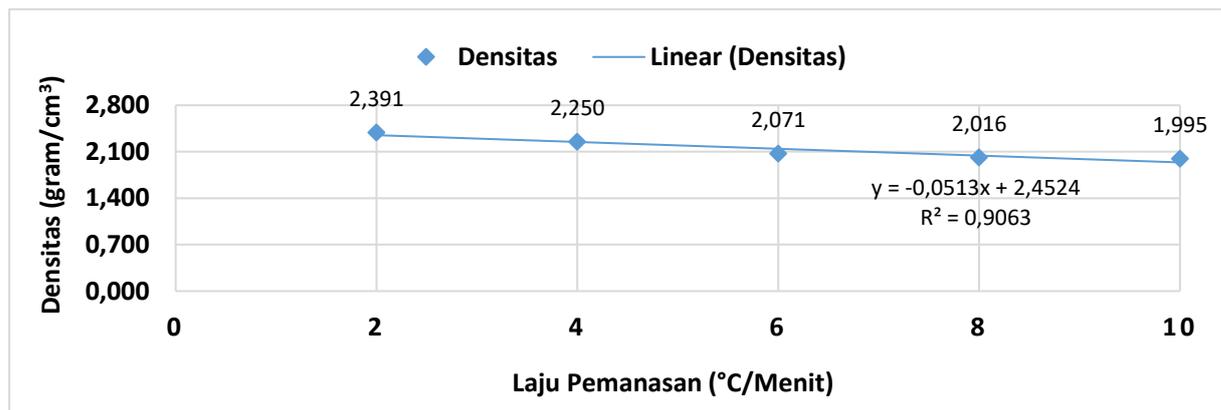
Perbedaan selisih tersebut disebabkan dari besar butir yang tidak seragam dan campuran bahan yang kurang homogen sehingga dimungkinkan yang terkena pijkkan indentor saat pengujian hanya pada komposisi terkeras saja seperti limbah *evaporation boats* tetapi laju pemanasan lambat tetap memperoleh nilai tertinggi.

Diketahui grafik diatas menunjukkan nilai rata-rata kekerasan *Vickers* bahwa laju pemanasan lambat 2°C/menit menghasilkan nilai rata-rata kekerasan *Vickers* tertinggi yaitu 29,92 HVN, sedangkan penggunaan laju pemanasan yang cepat 10°C/menit menghasilkan nilai rata-rata kekerasan *Vickers* paling rendah yaitu 12,64 HVN. Proses pembakaran pada laju pemanasan lambat menjadikan kontak antar butir atom material melebur satu sama lain secara perlahan, dan mengalami penyusutan dengan sangat baik yang menyebabkan kekerasannya lebih tinggi dibandingkan dengan laju pemanasan lainnya yang lebih cepat.

Hasil tersebut sesuai dengan penelitian [10] bahwa semakin cepat laju pemanasan pada proses *sintering* maka nilai kekerasan *Vickers* material akan menurun, sedangkan laju pemanasan lambat akan membuat tingkat kerapatan partikel bahan semakin baik karena proses kontak antar butir terjadi secara perlahan sehingga nilai kekerasannya meningkat. Penggunaan laju pemanasan yang terlalu cepat juga berkaitan dengan *thermal shock* akibat perubahan temperatur yang mendadak. Hal ini sesuai dengan penelitian [11] bahwa semakin tinggi kejutan termal maka akan menyebabkan kekerasan dan ketangguhan material menjadi semakin rendah.

### C. Hasil Pengujian Densitas

Diketahui rata-rata densitas pada spesimen yang diberikan laju pemanasan lambat yaitu  $2^{\circ}\text{C}/\text{menit}$  memiliki nilai densitas tertinggi yaitu  $2,391 \text{ gram}/\text{cm}^3$ , sedangkan spesimen yang diberikan laju pemanasan cepat yaitu  $10^{\circ}\text{C}/\text{menit}$  mendapat nilai terendah yaitu  $1,995 \text{ gram}/\text{cm}^3$ . Data tersebut menunjukkan bahwa laju pemanasan dapat mempengaruhi besar kecilnya nilai densitas pada material *crucible*.

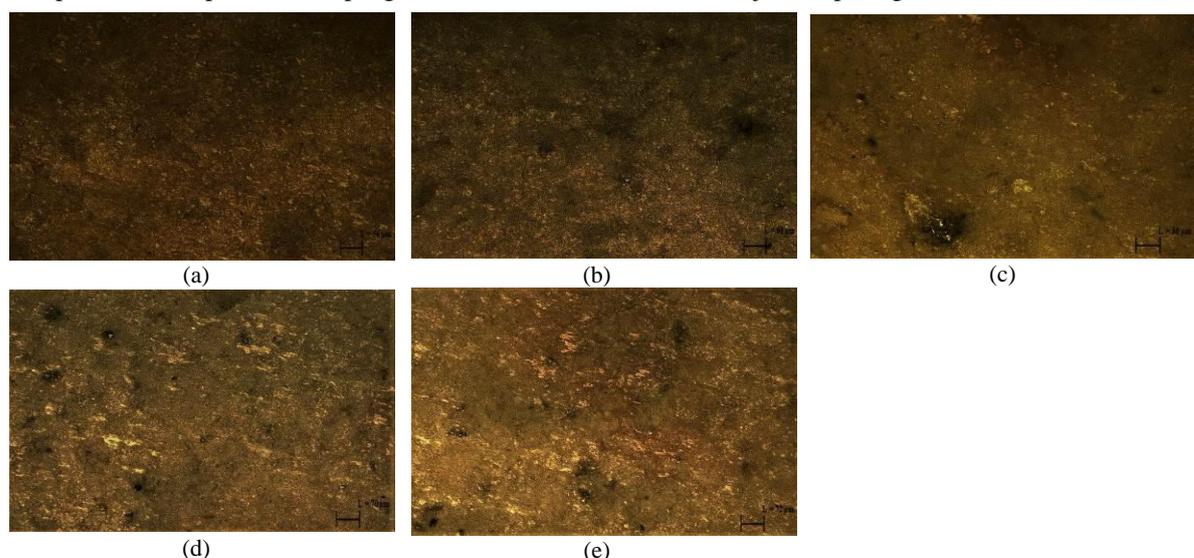


Gambar 9. Grafik Rata-rata Nilai Pengujian Densitas

Laju pemanasan lambat mengakibatkan proses pembakaran menjadi lebih baik, karena laju kenaikan suhu lambat sehingga tingkat kerapatan partikelnya juga semakin baik serta nilai densitasnya tinggi. Material yang densitasnya besar mempunyai kerapatan yang tinggi. Semakin rapat massa jenisnya, maka semakin besar massa dari volumenya, oleh karena itu penggunaan laju pemanasan lambat yang menghasilkan nilai densitas terbaik dapat diterapkan agar hasil *crucible* semakin baik lagi. Nilai dari densitas berbanding terbalik dengan porositas material dan berbanding lurus dengan kuat tekan dan kekerasan yang telah dijelaskan sebelumnya sehingga nilai densitas ini bisa dijadikan juga sebagai data pendukung dari pengujian sebelumnya.

### D. Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Adapun hasil dan pembahasan pengamatan struktur mikro akan ditunjukkan pada gambar 10.



GAMBAR 10. Hasil Pengamatan Struktur Mikro (a) Laju Pemanasan  $2^{\circ}\text{C}/\text{Menit}$ , (b) Laju Pemanasan  $4^{\circ}\text{C}/\text{Menit}$  (c) Laju Pemanasan  $6^{\circ}\text{C}/\text{Menit}$ , (d) Laju Pemanasan  $8^{\circ}\text{C}/\text{Menit}$ , (e) Laju Pemanasan  $10^{\circ}\text{C}/\text{Menit}$ .

Struktur mikro pada laju pemanasan paling lambat 2°C/menit menunjukkan penyebaran fasa dan distribusi fasa yang paling maksimal, disusul dengan laju pemanasan 4°C/menit yang masih terlihat merata, pada laju pemanasan 6°C/menit permukaan mulai tidak merata dan bergelombang, dan hasil fasa yang paling tidak maksimal ditunjukkan pada laju pemanasan cepat yaitu 8 dan 10°C/menit.

Hasil ini sesuai dengan penelitian [8] yang menyimpulkan bahwa laju pemanasan akan berpengaruh pada hasil mikro struktur suatu bahan, laju pemanasan lambat menghasilkan ukuran pori yang lebih kecil serta menyebabkan *grain* akan saling berikatan akibat adanya fusi partikel sehingga struktur gambar yang dihasilkan akan lebih merata. Hasil dari pengamatan struktur mikro ini juga dapat menjadi data pendukung dari pengujian mekanis sebelumnya yang telah dijelaskan diatas yaitu kuat tekan dan kekerasan *Vickers* serta pengujian fisis yaitu densitas sehingga dapat memperjelas dan meyakinkan lagi dari data sebelumnya.

## KESIMPULAN

Data hasil penelitian yang diperoleh bahwasannya penggunaan laju pemanasan 2°C/menit sangatlah baik dalam meningkatkan sifat mekanis dan fisis material *crucible* dibandingkan dengan laju pemanasan yang cepat lainnya. Karena laju pemanasan lambat akan menjadikan proses pembakaran material didalam *furnace* akan lebih maksimal dan untuk mencapai titik *sinter* akan menjadikan proses kontak antar butir materialnya terjadi secara perlahan dan bisa mengisi rongga antar butirnya didalam material *crucible* dengan lebih baik, sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan laju pemanasan yang lambat dapat meningkatkan sifat mekanis dan fisis dari material *crucible*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih banyak kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam terlaksananya penelitian ini, terutama kepada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang atas segala bantuan serta dukungannya untuk dapat menggunakan semua fasilitas yang mendukung berlangsungnya penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] Benard, S., dan Miele, P., "Polymer - Derived Boron Nitride: A Review on The Chemistry, Shaping, and Ceramic Conversion of Borazine Derivatives", *Journal Materials*, v. 7, n.11, pp. 7436-7459, 2014.
- [2] Fajri, N. R., Rusiyanto, Widodo, R. D., dan Fitriyana, D. F., "Pengaruh Thermal Shock dan Komposisi Evaporation Boats, Semen Tahan Api, dan Pasir Silika Terhadap Kekuatan Impact dan Foto Makro Lining Refractory", *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 12, n. 1, pp. 11-17, 2021.
- [3] Leman, S. A., Tiwan, dan Mujiyono, "Tungku Krusibel Dengan Economizer Untuk Praktik Pengecoran di Jurusan Teknik Mesin FT UNY", *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, v. 2, n. 1, pp. 21-27, 2017.
- [4] Tamara, P., Gultom, P. I., dan Sari, S. A., "Perancangan Kowi Peleburan Limbah Kaca Dengan Metode DGF dan AHP", In: *Seminar Nasional Teknologi 2015*, Yogyakarta, 2015.
- [5] Sulistya, R., *Pembakaran Benda Keramik Semester I*, cetakan Pertama, Jakarta, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK), 2013.
- [6] Bisioni, A. M. D., Hamzah, M. S., dan Alimuddin Sam, "Sifat Kuat Tekan dan Impak Komposit Abu Sekam Padi/Alumina", *Jurnal Mekanikal*, v. 10, n. 1, pp. 955-969, 2019.
- [7] Krismanto, P. H., Rusiyanto, Widodo, R. D., Kriswanto, dan Firmansyah, H. N. "Pengaruh Tekanan Kompaksi Terhadap Densitas, Porositas, Struktur Mikro Kowi (Crucible) Berbahan Evaporation Boats, Kaolin, Castable, Abu Sekam Padi", *Jurnal Inovasi Mesin*, v. 2, n. 2, pp. 11-18, 2020.
- [8] Firmansyah, R., Fadli, A., dan Bahrudin, "Pengaruh Kecepatan Pengadukan dan Laju Pemanasan Sintering Pada Pembuatan Trikalium Fosfat Berpori Dengan Menggunakan Metode Starch-Consolidation", *Jurnal Fakultas Teknik Universitas Riau*, v. 1, n. 1, pp. 1-6, 2014.
- [9] Shalleh, N., Shamsudin, Z., Juoi, J. M., dan Mustafa, Z., "Effects of Heating Rates and SBE Loading on Sintered Properties of Spent Bleach Earth/Recycled Glass Composite", *Journal Mechanical Engineering and Sciences*, v. 11, n. 4, pp. 3104-3115, 2017.
- [10] Shongwe, M. B., Ramakokovhu, M. M., Diouf, S., Durowoju, M. O., Obadele, B. A., Sule, R., Lethabane, M. L., dan Olubambi, P. A., "Effect of Starting Powder Particle Size and Heating Rate on Spark Plasma Sintering Of Fe-Ni Alloy", *Journal of Alloys and Compounds*, v. 678, pp. 241-248, 2016.
- [11] Sari, A. L., Rusiyanto, "Pengaruh Thermal Shock Resistance dan Komposisi Bahan Refraktori terhadap Kekuatan Impact dan Struktur Makro", *Jurnal Kompetensi Teknik*, v. 4, n. 2, pp. 105-110, 2019.
- [12] Anonim, *3M™ Evaporation Boats*, Jakarta, 3M Advanced Materials Division, 2015.