

Sinta Indiarti Nurrohmah

Mahasiswa
Universitas Negeri Semarang
Jurusan Teknik Mesin
sintaindiarti@gmail.com

Rusiyanto

Dosen
Universitas Negeri Semarang
Jurusan Teknik Mesin
me_rusiyanto@mail.unnes.ac.id

Rahmat Doni Widodo

Dosen
Universitas Negeri Semarang
Jurusan Teknik Mesin
rahmat.doni@mail.unnes.ac.id

Wirawan Sumbodo

Dosen
Universitas Negeri Semarang
Jurusan Teknik Mesin
wirawansumbodo@mail.unnes.ac.id

PENGARUH *THERMAL SHOCK* DAN KOMPOSISI GRAFIT, KAOLIN (CLAY) TERHADAP STRUKTUR MAKRO DAN KETAHANAN *IMPACT KOWI* BERBAHAN DASAR LIMBAH *EVAPORATION BOATS*

The purpose of this study was to determine the effect of thermal shock and composition of graphite, kaolin (clay) on the macrostructure and impact resistance of crucible based on the waste of evaporation boats. The variation applied was composition waste of evaporation boats, graphite and kaolin 50%:25%:25%; 40%:30%:30%; 70%:15%:15%. Then the thermal shock standard temperature variation is $\Delta T = 100^{\circ}\text{C} - 500^{\circ}\text{C}$. Specimens formed according to the ASTM D256 size (63.5x12.7x12.7) mm with compaction load 80 kg/cm². Continuing the sintering process at a temperature of 1150°C holding time of 2 hours. Tests include XRD test for the waste of evaporation boats, thermal shock test, impact test and macro photo. The results showed that the highest average impact resistance is 0.01772659 Joule/mm² with the composition of 50%: 25%: 25% without thermal shock. The lowest average resistance impact is 0.00637474 Joule/mm² with the composition of 70%: 15%: 15% and 500°C thermal shock temperature. Based on the data, the higher treatment of temperature in thermal shock makes the lower impact resistance of the specimen.

Keywords: *Thermal Shock, Waste of Evaporation Boats, Graphite, Kaolin, Crucible.*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur di Indonesia dinilai cukup pesat karena adanya tuntutan globalisasi dan kemajuan teknologi. Tuntutan lain yang muncul yakni kemampuan untuk mewujudkan pembangunan yang berwawasan lingkungan berupa pengolahan limbah secara efektif dan efisien. Limbah yang dihasilkan pada sektor industri manufaktur metalurgi bermacam-macam jenis, salah satunya yakni limbah sisa pengerjaan aplikasi metalisasi dan pelapis vakum modern. Pada proses metalisasi di industri manufaktur salah satu kegiatan di industrinya yakni melakukan pelapisan vakum untuk kemasan makanan. Limbah yang dihasilkan setelah proses pelapisan vakum yakni suatu material *evaporation boats* yang mengandung boron nitrida dimana memiliki sifat baik sebagai bahan *refractory* [8]. Limbah tersebut tidak diolah kembali dan penanganan pembuangan limbah tersebut masih belum diketahui.

Material boron nitrida memiliki ketahanan yang baik, tahan korosi serta menambah kekerasan, dan dapat digunakan sebagai bagian dari perlengkapan temperatur tinggi yang bisa mengalirkan kalor seperti logam [9]. Sifat-sifat boron nitrida di atas yang memiliki ketahanan panas yang baik, sangat perlu untuk dimanfaatkan sebagai bahan refraktori yang diaplikasikan untuk temperatur panas tinggi seperti bahan pembuatan krusibel pengecoran logam/ kowi.

Pada bidang pengecoran logam, untuk melebur material *non ferro* yang tidak mengandung unsur besi (Fe) seperti aluminium, tembaga, timah dapat menggunakan cawan pelebur/ kowi dengan panas yang relatif tidak tinggi. Kowi adalah tempat berbentuk seperti mangkuk digunakan untuk peleburan bahan *non ferro* [1]. Kowi berbentuk krus atau meruncing kebawah karena diameter atas lebih besar dari diameter bawah sehingga nama lain kowi adalah krusibel. Menurut *home industry* pengecoran logam Ceper, Klaten Jawa Tengah, pembuatan kowi pada *home industry* tersebut menggunakan bahan semen tahan api dan serbuk batu

bata. Adapula kowi terbuat dari *grafit* dan tanah liat dimana sifatnya mudah pecah, sehingga kemungkinan besar hanya bisa digunakan dalam waktu jangka pendek. Oleh karena itu perlu di kembangkan agar kowi bisa digunakan untuk jangka panjang. Peningkatan kualitas kowi dapat dilakukan dengan penambahan material limbah *evaporation boats*, *grafit* dan kaolin (lempung) untuk menghasilkan kowi dengan sifat yang baik.

Secara ilmiah *grafit* berwarna hitam, mempunyai karakteristik lunak, ringan, dan mampu menghantarkan listrik. Penambahan *grafit* pada komposit dapat meningkatkan konduktivitas serta stabilitas *thermal* [12]. Kaolin digunakan sebagai campuran pembuatan kowi yakni berfungsi sebagai bahan pengikat. Hamzah [3] menyatakan “Karakteristik kaolin yakni butiran kasar dan tidak plastis, sulit dibentuk, berwarna putih dengan kandungan besi paling rendah, tetapi kaolin mempunyai sifat yang tahan api dengan titik leburnya mencapai 1800°C. Widodo dan Rusiyanto [14] menyatakan bahwa “Keramik komposit berbahan *fly-ash* dan kaolin dapat diaplikasikan pada pembuatan *furnance lining*, *crusibel*, serta bahan isolator listrik. Bahan utama kaolin mempengaruhi sifat densitas keramik”.

Penggunaan kowi/krusibel yang berkala dimana penggunaannya juga sangat berkaitan dengan temperatur, maka dalam pembuatan kowi ini perlu diberikan heat treatment berupa *thermal shock*. Adanya perlakuan *thermal shock* pada kowi berbahan limbah *evaporation boats*/grafit/kaolin, karena dilihat dari kebiasaan penggunaan kowi pelebur yang secara terus menerus dengan perbedaan suhu yang mendadak. *Thermal shock* digambarkan dengan keadaan suhu yang bertekanan tinggi, kemudian mendapatkan perlakuan secara mendadak sehingga suhu komponen menurun [4]. Pada saat situasi yang luar biasa, sebuah bagian dapat secara spontan hancur atau rusak selama pendinginan. Pemanasan atau pendinginan yang cepat dari sebuah keramik akan sering mengalami kegagalan. Kegagalan material ini diketahui dari panas kejut dan terjadi ketika panas tinggi dan posisi panas bertekanan melebihi ketahanan dari material tersebut [2].

Peningkatan kualitas kowi membutuhkan inovasi baru. Pembuatan kowi ini harus mengetahui berapa posisi optimal pencampuran bahan untuk mendapatkan kowi yang ideal. Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk membuat inovasi campuran bahan limbah *evaporation boats*, lempung (kaolin) serta *grafit* sebagai bahan pembuat kowi/cawan lebur dengan meneliti *thermal shock* serta komposisinya terhadap sifat makro, ketahanan *impact* dan kemampuannya sebagai bahan *refractory*.

2. METODE DAN BAHAN

Jenis penelitian ini merupakan penelitian eksperimental. Tujuan penelitian eksperimental adalah menyelidiki ada tidaknya sebab akibat dan mengukur berapa besar sebab akibat setelah diberikan perlakuan (*treatment*). Perlakuan yang dilakukan terhadap variabel bebas dilihat hasilnya pada variabel terikatnya. Teknik pengumpulan data menggunakan metode observasi dan analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif. Data yang diperoleh dari hasil pengujian berupa angka kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah terdapat tiga variasi komposisi bahan limbah *evaporation boats*, *grafit*, kaolin yang akan dijadikan spesimen uji secara berurutan dengan presentase Komposisi 1 (50%: 25%: 25%); Komposisi 2 (40%: 30%: 30%); Komposisi 3 (70%: 15%: 15%). Lalu menetapkan adanya variasi temperatur *thermal shock* sebesar ΔT (100°C–500°C) [10].

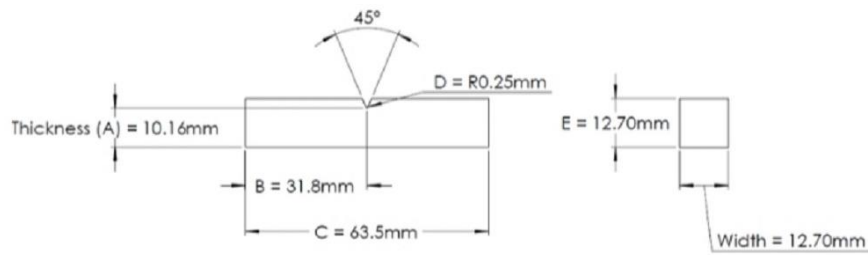
2.1 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan diantaranya ayakan *mesh* 80, jangka sorong, oven, *furnance*, alat uji *impact*, alat uji XRD, timbangan digital, mesin roll plat, kamera DLSR, mesin press, cetakan spesimen dan thermometer. Sedangkan bahan penelitian antara lain air/ akuades, *grafit* hitam dari serbuk baterai berasal dari tempat pengecoran logam Ceper Klaten, lempung kaolin asli Belitung yang diperoleh dari toko kimia Indrasari, Stadion Diponegoro Kota Semarang dan limbah *evaporation boats* yang sudah di hancurkan menggunakan mesin *roll* plat.

2.2 Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen dimulai dari pengayakan ketiga bahan dengan ayakan *mesh* 80 kemudian masuk ke proses pencampuran (*mixing*). Pembuatan spesimen dimulai dari proses pembuatan cetakan sesuai ukuran yang sudah ditetapkan sesuai standar ASTM D 256 tanpa takikan untuk pengujian *impact* Charpy. Kemudian campuran akan ditambahkan dengan air sebanyak 30% dari berat jumlah total campuran. Bahan campuran dimasukan dalam cetakan kemudian ditekan menggunakan mesin press dengan kekuatan 80 kg/cm² [6]. Setelah dicetak maka spesimen akan didiamkan pada suhu ruang selama satu minggu sebelum di *sintering*. Spesimen uji kemudian di *sintering* dengan temperatur 1150°C dengan *holding time* 2 jam [14].

Ukuran spesimen uji impact ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1: Spesimen Uji *Impact*

2.3 Pengujian Spesimen

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian XRD limbah *evaporation boats* dan spesimen dengan campuran terbaik. Lalu ada uji *impact* dan struktur makro.

2.3.1 Pengujian *Impact Charpy*

Pengujian impact menggunakan standart ASTM D256 dengan luas penampang bujur sangkar 12,7 mm x 12,7 mm dan panjang spesimen 63,5mm. Usaha untuk mematahkan benda uji dihitung dengan persamaan [7]:

$$W_2 = G \times \lambda(1 - \cos \beta) \quad (1)$$

Harga Ketahanan *Impact* dapat dihitung dengan persamaan:

$$K = W/A \quad (2)$$

2.3.2 Pengujian Foto Makro

Pengujian struktur makro dilakukan menggunakan kamera DLSR. Pengujian ini bertujuan untuk melihat struktur makro dari hasil patahan spesimen uji, sehingga pengujian struktur makro dilakukan pada titik hasil patahan dari pengujian impact, karena hal ini sangat mempengaruhi sifat fisis dari material tersebut.

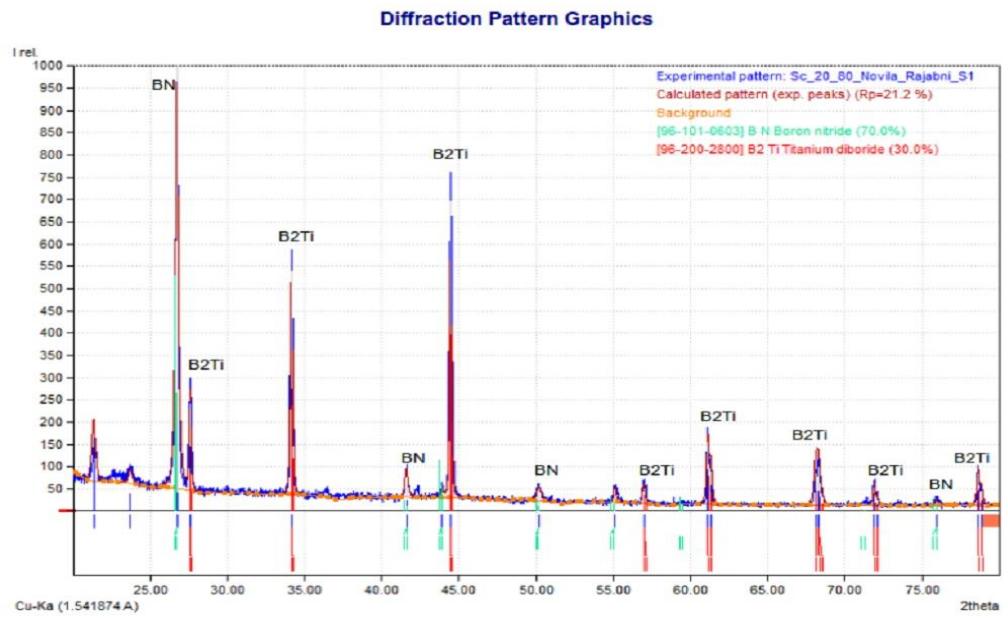
3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang melibatkan dua faktor, yaitu struktur variabel bebas berupa variasi temperatur ΔT (100°C–500°C) untuk menguji pengaruh *thermal shock resistance* bahan pembuat kowi pelebur (*crusible*) serta variasi komposisi bahan kowi pelebur (*crusible*). Variabel terikatnya adalah ketahanan *impact charpy* dan analisa struktur makro kowi. Data diperoleh dari beberapa pengujian di antaranya pengujian dengan *X-Ray Diffraction* untuk bahan pembuatan kowi, uji *impact* kemudian untuk sifat fisiknya dengan pengujian makro struktur pada spesimen uji.

3.1.1 Hasil Pengujian XRD

Adapun uji untuk mengetahui senyawa bahan dasar penyusun material kowi yakni limbah *evaporation boats*. Uji XRD dari limbah *evaporation boats* dapat ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2: Hasil Uji XRD limbah *evaporation boats*

Berikut *Peak List* dari hasil pengujian XRD limbah *evaporation boats* pada Tabel 1

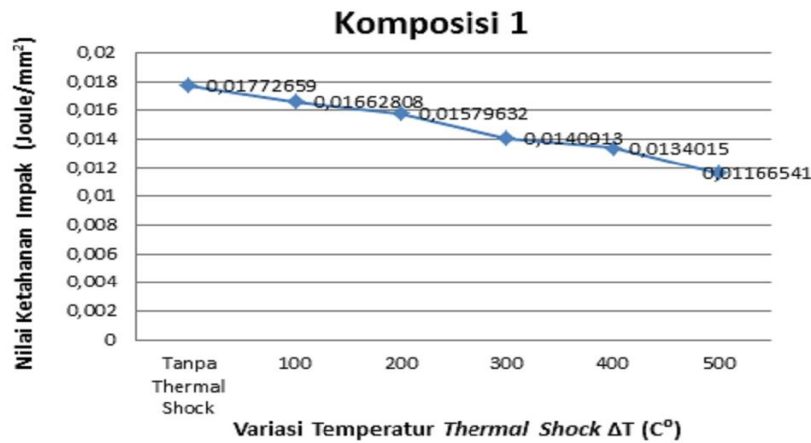
Tabel 1: Hasil Uji XRD limbah *evaporation boats*

POS. [°2TH.]	HEIGHT [CTS]	FWHM LEFT [°2TH.]	D-SPACING [Å]	REL. INT. [%]
21,4596	202,83	0,2362	4,14087	10,15
23,8043	86,33	0,3149	3,73804	4,32
26,7561	1998,11	0,1968	3,33198	100,00
27,5642	393,20	0,0720	3,23342	19,68
27,6744	562,50	0,0787	3,22347	28,15
34,1231	908,95	0,0720	2,62544	45,49
34,2175	1238,33	0,0787	2,62058	61,98
36,4840	28,61	0,2362	2,46281	1,43
41,6507	155,59	0,1968	2,16847	7,79
42,3728	48,28	0,2362	2,13318	2,42
44,4141	1145,60	0,0720	2,03807	57,33
44,5308	1673,16	0,0787	2,03469	83,74
50,2071	80,84	0,2362	1,81715	4,05
55,1579	84,02	0,2362	1,66520	4,21
57,0250	125,22	0,1378	1,61503	6,27
61,1717	338,38	0,1378	1,51512	16,93
68,3609	212,66	0,1181	1,37226	10,64
71,9333	121,94	0,1574	1,31265	6,10
75,9558	39,28	0,3149	1,25283	1,97
78,6392	174,41	0,1378	1,21667	8,73

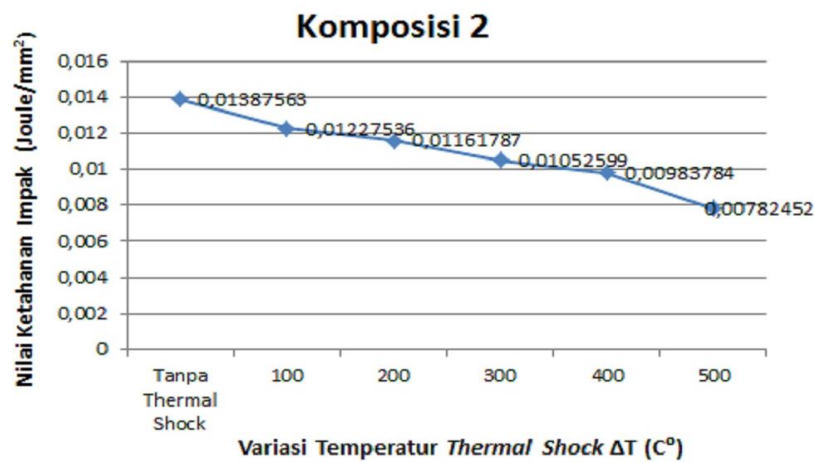
Dari Gambar 2 dan Tabel 1 menunjukkan hasil komposisi yang terkandung dalam material limbah *evaporation boats* adalah 70 % boron nitride dan 30 % titanium diboride. Hasil XRD dianalisa menggunakan software *match* versi 2 dan dicocokkan menggunakan Crystallography Open Database (COD). *Peak list* yang dihasilkan dari uji XRD material *evaporation boats* sebanyak 20, lalu dianalisis bagian *peak list*/puncak yang mana hasilnya ada pada Gambar 1 beserta keterangan senyawanya.

3.1.2 Hasil Pengujian *Impact*

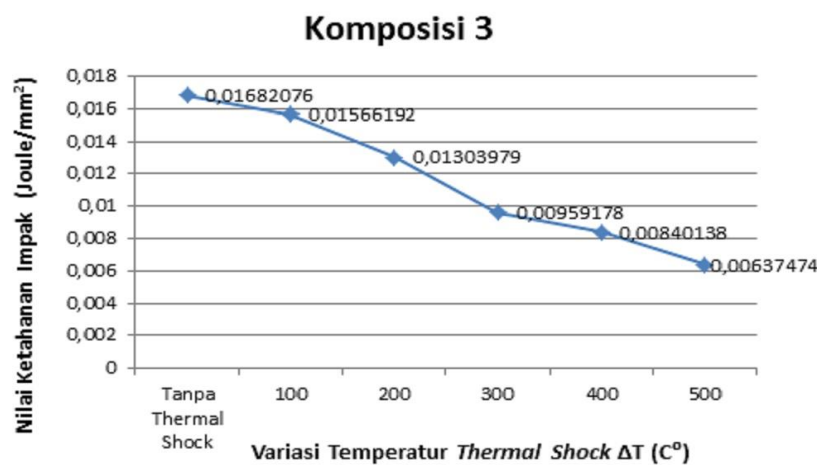
Pengujian *impact* Charpy menggunakan mesin uji *impact* Meiji di Laboratorium Teknik Mesin, Universitas Negeri Semarang. Pengujian *impact* bertujuan untuk mengetahui seberapa besar ketahanan benda uji terhadap beban kejut yang diberikan, sehingga dapat diketahui pula seberapa kuat benda uji untuk diterapkan sebagai bahan pembuat kowi pelebur (*crucible*). Data pengujian *impact* didapatkan dari setiap sampel uji kemudian diambil rata-ratanya, sehingga diperoleh data final sebanyak 6 jenis kekuatan *impact* tiap perlakuan. Adapun hasil pengujian *impact* pada penelitian ini ditunjukkan dalam Gambar 3,4, dan 5.



Gambar 3: Variasi Temperatur *Thermal Shock* terhadap Ketahanan *Impact* Komposisi 1



Gambar 4: Variasi Temperatur *Thermal Shock* terhadap Ketahanan *Impact* Komposisi 2



Gambar 5: Variasi Temperatur *Thermal Shock* terhadap Ketahanan *Impact* Komposisi 3

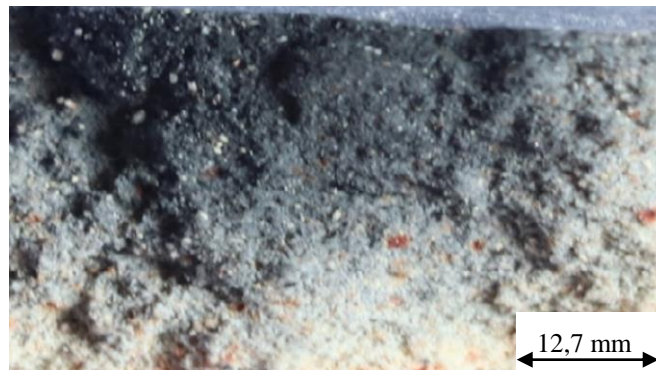
Gambar 3 - 5 mendeskripsikan hubungan antara ketahanan *impact* dari tiap variasi komposisi terhadap temperatur *thermal shock*. Ketiga grafik menunjukkan adanya penurunan ketahanan *impact* benda uji setelah adanya perlakuan *thermal shock*. Penurunan terlihat pada semua variasi komposisi.

3.1.3 Hasil Pengujian Foto Makro

Pengamatan struktur makro dilakukan untuk mengetahui bentuk patahan spesimen uji dari hasil pengujian sebelumnya yakni pengujian *impact*. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat uji kamera DLSR. Spesifikasi kamera dilengkapi dengan lensa 200- 300 mm dan dengan kemampuan perbesaran optikal (*optical zoom*) yang digunakan yakni 10 kali. Hasil uji foto makro nantinya akan diketahui bentuk/jenis patahan akibat perlakuan *thermal shock* dan uji *impact*. Adapun hasil pengujian foto makro pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 6,7, dan 8.



Gambar 6 : Hasil Foto Makro Patahan Uji *Impact* Komposisi 1



Gambar 7 : Hasil Foto Makro Patahan Uji *Impact* Komposisi 2



Gambar 8 : Hasil Foto Makro Patahan Uji *Impact* Komposisi 3

Dilihat dari struktur makronya pada material spesimen uji terjadi perpatahan getas yang ditandai dengan ciri pembelahan (*cleavage*) dan permukaan patahan terdapat batas butir yang lebih besar dan halus dengan memantulkan cahaya yang tinggi. Hasil foto makro pada masing-masing komposisi ditampilkan hanya satu

karena hasilnya sama dan mewakili satu jenis perpatahan yakni perpatahan getas (granular). Perpatahan granular disebabkan adanya tegangan thermal yang terjadi pada material spesimen uji setelah melewati proses *thermal shock* dan *impact*.

3.2 Diskusi

Penelitian ini membahas tentang pengaruh *thermal shock* dan komposisi limbah *evaporation boats*, grafit, kaolin terhadap sifat mekanis berupa ketahanan *impact* dan sifat fisis berupa struktur makro. Pengujian *thermal shock* bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan kowi (*crucible*) dan kualitasnya sehingga dapat mengetahui pula ketahanan terhadap tingkat keretakan hingga umur kowi itu sendiri. Pengujian *thermal shock* sangat penting dilakukan pada bahan *refractory* pembuatan kowi (*crucible*).

Pengaruh komposisi pada pembuatan kowi ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan bahan limbah *evaporation boats* apabila diaplikasikan kedalam bahan pembuatan kowi, serta bahan pendukung lainnya seperti grafit dan kaolin. Variasi komposisi dilakukan untuk mengetahui data pencampuran bahan pembuatan kowi (*crucible*) yang terbaik sehingga dapat diaplikasikan pada pembuatan kowi (*crucible*). Parameter untuk mengetahui bagus tidaknya bahan campuran tersebut dengan menggunakan uji *impact* dan analisa struktur makro. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan kejut/ ketahanan bahan campuran dan menilai layak/ tidaknya komposisi tersebut digunakan sebagai bahan *refractory* kowi.

3.2.1 Ketahanan *Impact* Kowi

Dari Gambar diatas dapat diketahui bahwa nilai ketahanan *impact* pada setiap variasi komposisi dan perlakuan untuk variasi temperatur *thermal shock* hasilnya berbeda, sesuai dengan penelitian [6] bahwa komposisi yang dilakukan berpengaruh pada sifat mekanis spesimen uji. Sehingga hal ini sangat mempengaruhi besaran ketahanan *impact*. Rata-rata ketahanan *impact* tertinggi ada pada variasi komposisi 1 tanpa *thermal shock* (50%:25%:25%) dengan rata-rata ketahanan *impact* 0,01772659 Joule/mm². Sedangkan rata-rata ketahanan *impact* terendah ada pada variasi komposisi 3 (70%:15%:15%) dengan temperatur *thermal shock* 500°C sebesar 0,00637474 Joule/mm².

Semakin tinggi temperatur *thermal shock*, maka semakin rendah pula harga ketahanan *impact*nya. Penurunan nilai ketahanan *impact* terbesar pada komposisi 1 dan 2 ada pada temperatur 400°C-500°C, sedangkan penurunan nilai ketahanan *impact* terbesar pada komposisi 3 terjadi pada temperatur 200°C-300°C. Dapat dilihat pula bahwa pada varian komposisi 1 mempunyai harga ketahanan *impact* (K) tertinggi dari pada komposisi 2 dan 3. Hal ini mengindikasikan bahwa persentase komposisi bahan limbah *evaporation boats*, grafit, kaolin sangat mempengaruhi hasil ketahanan *impact* kowi (*crucible*).

Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian [5] bahwa kekuatan *impact* spesimen uji bahan arang sekam padi, grafit, kaolin mengalami penurunan drastis sering bertambahnya siklus *thermal shock*. Semakin tinggi *thermal shock* menyebabkan tingkat kekerasan meningkat dan spesimen uji semakin getas. Hasil penelitian ini yakni sesuai dengan teori yang menyatakan semakin besar temperatur *thermal shock* maka ketahanan bahan/ ketangguhannya menurun. Hal tersebut dibuktikan dengan grafik masing-masing komposisi yang menurun yang mana berarti terjadi penurunan ketahanan seiring bertambahnya kenaikan temperatur *thermal shock* ΔT (100°C–500°C).

3.2.2 Struktur Makro Kowi

Dari hasil uji foto makro pada Gambar 6 komposisi 1 (limbah *evaporation boats* :50%, grafit : 25%, kaolin : 25%) terjadi patahan *transgranular* karena patahannya melewati butiran-butiran dan pada permukaan patahan terdapat batas butir yang lebih besar dan halus dengan memantulkan cahaya. Pada struktur makro komposisi 1 warna hitam mendominasi yakni merupakan kandungan limbah *evaporation boats*. Terdapat bintik-bintik putih yang merupakan material kaolin, sedangkan material grafit berwarna sedikit kemerahan menandakan reaksinya akibat proses *sintering* temperatur tinggi.

Pada Gambar 7 hasil uji foto makro komposisi 2 (limbah *evaporation boats* :40%, grafit : 30%, kaolin :30%) terjadi pula jenis patah *transgranular* dengan patahan getas. Perpatahan getas ditandai dengan permukaan patahan yang berbutir (granular) dan terang serta ditandai dengan perambatan retak yang cepat. Perpatahan getas biasanya terjadi pada material yang memiliki komposisi karbon tinggi sehingga sangat kuat namun rapuh. Komposisi 2 memiliki persentase grafit (C) paling tinggi diantara komposisi lainnya sehingga spesimen uji mudah rapuh. Dilihat dari struktur makronya pada Gambar adanya perbedaan distribusi warna yang tidak homogen. Hal tersebut dipengaruhi oleh teknik pencampuran bahan komposisi kowi yang kurang merata.

Gambar 8 menunjukkan hasil foto makro komposisi 3 (limbah *evaporation boats* :70%, grafit : 15%, kaolin : 15%) juga terjadi patahan getas. Pada foto makro dengan variasi komposisi 3 ternyata tidak begitu mengkilap dan memiliki banyak porositas sehingga mempunyai kekuatan *impact* yang rendah. Patah getas mengalami perambatan retakan yang sangat cepat akibat adanya porositas. Pada komposisi 3 terlihat rapuh dikarenakan persentase kaolin sebagai pengikat (densitas) yang sedikit.

3.2.3 Kemampuan Komposisi bahan sebagai *Refractory*

Penelitian tentang pengaruh *thermal shock* dan komposisi *grafit*, kaolin terhadap struktur makro dan ketahanan *impact* kowi berbahan dasar limbah *evaporation boats* ini akan diaplikasikan sebagai bahan *refractory* pembuatan kowi (*crucible*). Komposisi bahan diantaranya limbah *evaporation boats*, *grafit* dan kaolin dinilai cocok di gunakan sebagai bahan *refractory* pembuatan kowi (*crucible*). *Refractory* merupakan jenis material yang mampu mempertahankan bentuk dan kekuatannya pada temperatur yang sangat tinggi [13]. Persyaratan umum bahan *refractory* adalah tahan terhadap suhu tinggi, tahan terhadap suhu yang mendadak, tahan terhadap lelehan terak logam, menghemat panas, dan tidak mencemari bahan yang bersinggungan [15]. Atas dasar tersebut dipilihlah bahan limbah *evaporation boats*, *grafit* dan kaolin sebagai komposisi pembuatan kowi.

Senyawa utama yang terkandung dalam limbah *evaporation boats* yakni boron nitrida dimana menurut Surdia [11] “BN serupa dengan grafit dilihat dari strukturnya dan sifat mekaniknya. Bahan ini bukan hanya tahan panas tetapi juga berkekuatan tinggi pada temperatur tinggi”. Bahan *grafit* diketahui memiliki ketahanan temperatur yang tinggi serta tidak menimbulkan reaksi antara material yang dilebur dengan material kowi. Disamping itu kaolin mempunyai sifat yang tahan api dan memperkuat densitas keramik.

Setelah melakukan pencampuran komposisi bahan limbah *evaporation boats*, *grafit* dan kaolin dengan variasi komposisi 1 (50%:25%:25%), variasi komposisi 2 (40%:30%:30%) dan variasi komposisi 3 (70%:15%:15%). Perumusan variasi komposisi merujuk pada beberapa penelitian tentang kandungan *grafit* dan kaolin yang baik dalam pembuatan material *refractory*. Sedangkan komposisi untuk material limbah *evaporation boats* menyesuaikan, karena belum ada sumber mengenai pembuatan material *refractory* kowi dari limbah *evaporation boats*. Variasi komposisi limbah *evaporation boats*, *grafit* dan kaolin dinilai cocok untuk bahan *refractory* kowi karena dapat melewati proses sintering hingga temperatur 1150 °C dan *thermal shock* ΔT 100 °C–500 °C tanpa ada perubahan/kerusakan yang berarti.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah

1. Variasi temperatur *thermal shock* dan komposisi bahan limbah *evaporation boats*, *grafit* dan kaolin memberikan pengaruh terhadap ketahanan *impact* kowi (*crucible*). Nilai ketahanan *impact* pada komposisi tersebut semakin menurun diikuti penambahan/ kenaikan variasi temperatur *thermal shock*.
2. Pengaruh *thermal shock* dan komposisi bahan limbah *evaporation boats*, *grafit* dan kaolin terhadap struktur makro kowi (*crucible*) ditandai dengan patahan akibat uji *impact*. Hasil patahan dari semua spesimen memiliki sifat getas dan mampu memberikan daya pantul cahaya yang tinggi.
3. Bahan limbah *evaporation boats*, *grafit* dan kaolin cocok digunakan sebagai material *refractory* pembuatan kowi. Masing-masing bahan memiliki keunggulan yang mampu meningkatkan sifat fisis dan mekanis kowi (*crucible*).

5. PERNYATAAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang atas segala fasilitas yang Penulis gunakan untuk melakukan penelitian.

6. NOMENKLATUR

W_2	: Sisa usaha setelah mematahkan benda uji (Joule)
G	: Berat pendulum (Kg m/s ²)
h_2	: Jarak akhir antara pendulum dan benda uji (m)
λ	: Jarak lengan pengayun (m)
$\cos \beta$: Sudut posisi akhir pendulum
K	: Ketahanan <i>impact</i> (Joule/mm ²)
W	: Usaha yang diperlukan untuk mematahkan benda uji (Joule)
A	: Luas penampang di bawah takikan (mm ²)

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] AMSTEAD, B. H., OSTWALD P. F dan BEGEMAN M. L., *Teknologi Mekanik 2*, Erlangga, 1986.
- [2] BARSOUM, M., M.W. BARSOUM, *Fundamental of Ceramics*, CRC Press, 2002.
- [3] HAMZAH, M SADAT, “Karakterisasi Kaolin Kab Barru Sebagai Bahan Dasar Keramik”, *Jurnal Mektrik*, v. 6, n. 19, pp. 120-125, 2005.
- [4] LU T. J., AND N. A., FLECKTHE, “Thermal Shock Resistance of Solids”, v.46, n.13, pp. 4755-4768, 1998.
- [5] LUKMAN, A.D., RUSIYANTO dan RAHMAT D.W., “Pengaruh *Thermal Shock* dan Komposisi Arang Sekam Padi, *Grafit* terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Kowi Berbahan Dasar *Clay* (Lempung)”, *Jurnal Teknik Mesin*, 2017.
- [6] MUDZAKIR, H., SUNYOTO, RAHMAT D.W., *et al.*, “Pengaruh Variasi Fraksi Alumina (Al_2O_3), Magnesium Oxide (MgO) dan *Clay* dari Genteng Mentah terhadap Kekuatan *Impact* dan Struktur Mikro *Refractory* Pada Tungku Listrik”, *Jurnal Teknik Mesin*, 2018.
- [7] MUHHIBUDIN, *Pengujian Dan Validasi Alat Uji Impact Type Charpy (Impact Testing Machine)*, Universitas Teuku Umar Alue Peunyareng, Meulaboh, 2005.
- [8] RAMASAMY, RAMAMMOORTHY, DAVID M RUSINKO, GREGORY A. STROKESATER dan JAMES A. RICHKER, *Gains in Metalizing Economic through Improved Evaporator Boat Design*, GE Advanced - Material Ceramics, 2006.
- [9] SINURAYA, ANDIKA SURANTA, *Pelapisan Cr-Al dan Boron Nitrida sebagai Dopping Baja Karbon Rendah dengan Metode Ball Milling*, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2018.
- [10] SUPARJO dan PURNOMO, “Variasi Temperatur Pemanasan Pada Proses Perlakuan Panas terhadap Kekerasan dengan Material SS-304L”, v.16, n.2, pp. 170-178, 2012.
- [11] SURDIA, T., SAITO, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta, Pradnya Paramitha, 1986.
- [12] WARDHANA, GALANG WISNU dan ARDHYANANTA HOSTA, “Pengaruh Penambahan *Grafit* Terhadap Sifat Tarik, Stabilitas *Thermal* dan Konduktivitas Listrik Komposit Vinil Ester/*Grafit* Sebagai Pelat Bipolar Membran Penukar Proton Sel Bahan Bakar (PEMFC)” v.3, n. 1, pp. F-7 - F-12, 2014.
- [13] WIDAYANA, GEDE., NYOMAN PASEK NUGRAHA dan NYOMAN ARYA WIGRAHA, “Pengaruh Variasi Temperatur Sintering Terhadap Umur Tanur Pada Industri Kerajinan Gong di Gianyar”, v.03, n.02, pp. 439-449, 2014.
- [14] WIDODO, RAHMAT DONI dan RUSIYANTO, “Pengaruh Komposisi Kaolin terhadap Densitas dan Kekuatan *Bending* pada Komposit *Fly-Ash* Kaolin”, v. 9, n. 1, pp. 45-50, 2011.
- [15] *United Nations Environment Programme*, www.energyefficiencyasia.org, Diakses: Mei 2019.