

**Novila Rojabni Fajri**

Mahasiswa S1  
Universitas Negeri Semarang  
Jurusan Teknik Mesin  
novilafajri10@gmail.com

**Rusiyanto**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Negeri Semarang  
Jurusan Teknik Mesin  
me\_rusiyanto@mail.unnes.ac.id

**Rahmat Doni Widodo**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Negeri Semarang  
Jurusan Teknik Mesin  
rahmat.doni@mail.unnes.ac.id

**Wirawan Sumbodo**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Negeri Semarang  
Jurusan Teknik Mesin  
wirawansumbodo@mail.unnes.ac.id

**Deni Fajar Fitriyana**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Negeri Semarang  
Jurusan Teknik Mesin  
deniifa89@mail.unnes.ac.id

## PENGARUH *THERMAL SHOCK* DAN KOMPOSISI *EVAPORATION BOATS*, SEMEN TAHAN API, DAN PASIR SILIKA TERHADAP KEKUATAN *IMPACT* DAN FOTO MAKRO *LINING REFRACTORY*

*The thermal shock behavior of ceramic refractory materials is of particular interest. Refractory materials are submitted to local temperature gradients in service that originate thermal stresses and thermal shock damage to the material. However, thermal shock treatment on the refractory made from evaporation boat waste is not well documented. The purpose of this study is to determine the effect of thermal shock on the strength of refractory with various compositions. In this study, the refractory was made using 100% refractory cement (sample 1). For Sample 2, the refractory was made from a mixture of refractory cement and evaporation boats waste, each of 50%: 50%. Meanwhile, specimen 3 of the refractory is made from a mixture of refractory cement, evaporation boat waste, and silica sand of 40%: 50%: 10%, respectively. The Thermal shock treatment is carried out at a temperature range of 100 – 700°C for each specimen. The effect of thermal shock treatment on the mechanical properties of each refractory specimen was investigated using the impact and macrography test. Temperature variations in thermal shock have different effects on the level of impact strength on impact test specimens. The lowest strength was 0,012297735 J/mm<sup>2</sup> at thermal shock 700°C in sample 3, and the highest impact strength was 0,03928934 J/mm<sup>2</sup> at 400°C thermal shock temperature in sample 2. The macrographic examination shows the higher the thermal shock temperature, the greater the fracture produced when the impact test is carried out. This is because the hardness of the refractory material increases.*

**Keywords:** *Thermal Shock, Impact, Lining Refractory, Evaporation Boats, Refractory Cement, Silica Sand.*

### 1. PENDAHULUAN

Pengecoran adalah salah satu proses manufaktur yang paling banyak digunakan untuk memproduksi komponen yang tidak dapat diperoleh melalui proses lain karena bentuknya yang beragam dan rumit [1]. Proses paling penting dalam pengecoran logam yaitu peleburan logam menggunakan dapur lebur. Kondisi temperatur saat pengoperasian di dalam tungku atau dapur peleburan sangat tinggi, maka dari itu dibutuhkan isolator sebagai pelapis untuk material tungku. Bahan isolator yang digunakan untuk melapisi tungku atau *furnace* adalah *refractory*. Bahan *refractory* yang biasanya digunakan yaitu batu tahan api atau semen tahan api yang digunakan untuk membuat *lining refractory* pada tungku peleburan. *Refractory* merupakan bahan padat anorganik bukan logam dengan titik lebur yang tinggi [2]. Selain itu, material *refractory* harus memiliki ketahanan terhadap korosi yang diakibatkan oleh *slag* cair, logam cair, dan gas-gas agresif [3]. Namun, perubahan temperatur yang cepat pada material *refractory* akan menyebabkan terjadinya tegangan yang cukup besar. Ketahanan terhadap kerusakan (retak atau patah) dibawah kondisi seperti ini disebut sebagai ketahanan terhadap beban kejutan termal (*thermal shock resistance*). Dalam pengertian yang lain,

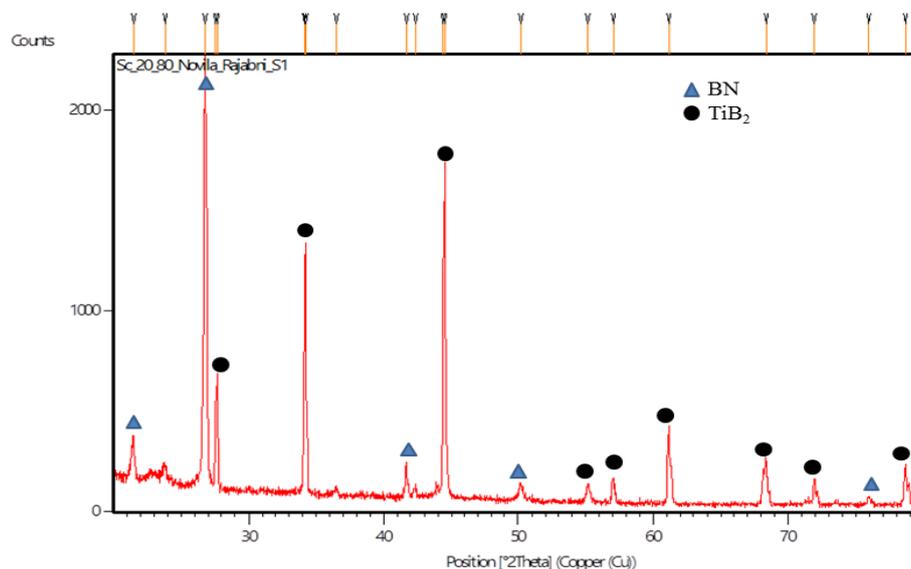
*thermal shock resistance* adalah ketahanan material *refractory* untuk mempertahankan bentuk terhadap kerusakan yang diakibatkan perubahan suhu secara tiba-tiba [4].

Pada penelitian sebelumnya, nilai *thermal shock resistance* tertinggi yang dihasilkan pada *refractory* berbahan alumina dan sekam padi sebesar 0,009560 J/mm<sup>2</sup> [4]. Kualitas *lining* perlu diperhatikan, karena kualitasnya sangat berperan terhadap fungsi, keselamatan kerja, metalurgi dan efisiensi peleburan logam. Apabila *lining* mengalami suatu masalah maka tungku tersebut tidak dapat dioperasikan sehingga berakibat tidak berjalannya proses produksi pada industri pengecoran logam [5].

Dari uraian diatas maka diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui campuran bahan baku pada pembuatan *lining* yang baik. Pada penelitian ini, *refractory* dibuat dengan menggunakan campuran limbah *evaporation boats*, pasir silika, dan semen tahan api *castable C-16*. Limbah *evaporation boats* dipilih karena material ini memiliki titik leleh 2700°C, konduktivitas *thermal* 400 W/m.K, dan ketahanan terhadap oksidasi mencapai 1000°C [6]. Sedangkan semen tahan api *castable C-16* dan pasir silika memiliki titik lebur mencapai 1.600°C dan 1700°C [7].

## 2. METODE DAN BAHAN

Limbah *evaporation boats* yang diperoleh dari PT 3M dihancurkan menggunakan mesin *roll plate* hingga *mesh* 80 kemudian dilakukan uji XRD untuk mengetahui fase kristalin yang terdapat pada limbah *evaporation boats*. Hasil uji XRD pada Gambar 1 menunjukkan *boron nitride* (BN) dan *titanium diboride* (TiB<sub>2</sub>) adalah material penyusun pada limbah *evaporation boats*.



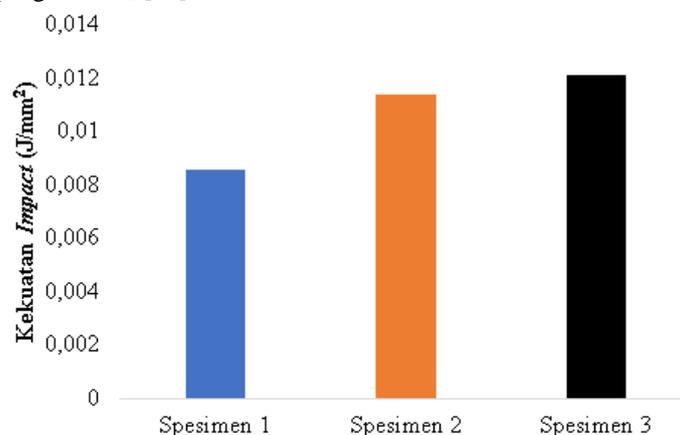
**Gambar 1:** Hasil uji XRD pada limbah *evaporation boats*

Pada penelitian ini dibuat 3 spesimen *refractory* dengan variasi komposisi bahan penyusun yang digunakan. Pada spesimen 1, *refractory* terbuat dari 100% semen tahan api *castable C-16*. Campuran limbah *evaporations boats* dan semen tahan api *castable C-16* dengan komposisi masing-masing 50% digunakan untuk membuat spesimen 2. Sedangkan spesimen 3, *refractory* dibuat dengan mencampurkan limbah *evaporations boats*, semen tahan api *castable C-16* dan pasir silika masing-masing 50%; 40% dan 10%. Bahan *refractory* kemudian dilakukan *mixing* selama 60 menit. Selama proses *mixing*, dilakukan penambahan air sebanyak 25% dari total berat material. Bahan campuran dimasukkan dalam cetakan kemudian ditekan menggunakan mesin *press* dengan kekuatan 58,84 kg/cm<sup>2</sup>. Setelah dicetak maka spesimen akan didiamkan pada suhu ruang selama satu minggu sebelum di sintering. Spesimen uji kemudian di sintering pada suhu 1200°C selama 2 jam dan dihasilkan produk akhir. Perlakuan *thermal shock* ( $\Delta T$ ) pada spesimen dilakukan dengan variasi suhu 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, 600°C dan 700°C. Spesimen yang telah diberikan perlakuan *thermal shock* dilakukan pengujian *impact* sesuai dengan ASTM D256 dan pengujian struktur makro. Pengujian *impact* dilakukan untuk mengetahui ketahanan *impact* spesimen uji sebelum dan setelah diberikan perlakuan *thermal shock*. Sedangkan

pengujian struktur makro digunakan untuk mengetahui bentuk patahan yang terjadi setelah dilakukan uji *impact*.

### 3. HASIL DAN DISKUSI

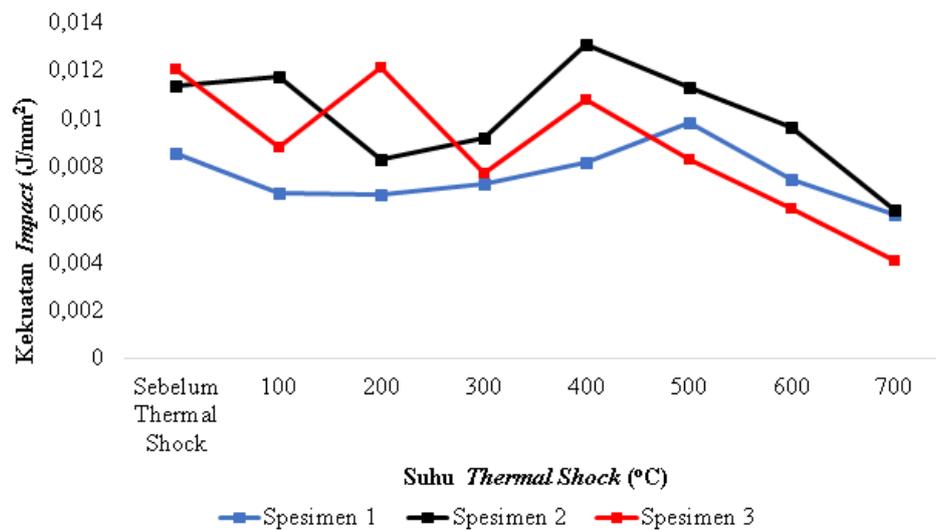
Gambar 2 menunjukkan hasil uji *impact* pada material *refractory* sebelum dilakukan *thermal shock*. Keuatan *impact* pada spesimen 1, spesimen 2 dan spesimen 3 masing-masing sebesar 0,008559 J/mm<sup>2</sup>; 0,011389 J/mm<sup>2</sup>; dan 0,012098 J/mm<sup>2</sup>. Penggunaan campuran limbah *evaporations boats*, semen tahan api *castable* C-16 dan pasir silika pada spesimen 3 terbukti mampu menghasilkan kekuatan *impact* yang lebih besar dibandingkan *refractory* yang terbuat dari limbah 100% semen tahan api *castable* C-16 pada spesimen 1 maupun campuran *evaporations boats* dan semen tahan api *castable* C-16 pada spesimen 2. Peningkatan kekuatan *impact* pada spesimen *refractory* dikarenakan adanya penambahan limbah *evaporations boats* dan pasir silika. Penambahan limbah *evaporation boats* dapat meningkatkan kekuatan *impact* dengan komposisi maksimum 50% pada material *refractory*. Kandungan BN pada limbah *evaporation boats* merupakan material yang memiliki titik lebur tinggi dan ketahanan yang baik pada suhu tinggi [8]. Hal inilah yang menyebabkan spesimen 2 dan spesimen 3 memiliki kekuatan *impact* yang lebih besar dibandingkan spesimen 1. Sedangkan kekuatan *impact* pada spesimen 3, memiliki kekuatan *impact* yang paling besar, karena adanya campuran limbah *evaporation boats* dan pasir silika. Mineral silika dioksida (SiO<sub>2</sub>) atau kuarsa merupakan salah satu komponen utama dalam pembentukan bahan keramik dan jumlahnya melimpah. Penambahan silika pada material keramik dapat meningkatkan ketahanan pada temperatur tinggi dengan keunggulan pada sifat mekanik dan elektrik [9]. Selain itu, peningkatan kekuatan *impact* pada *refractory* menunjukkan bahwa sifat *refractory* semakin tangguh. Peningkatan kekuatan *impact* pada *refractory* disebabkan oleh kecenderungan penguat untuk patah dan *spall* sebagai hasil dari *impact* yang berulang pada butiran. Adanya fraksi massa SiO<sub>2</sub> yang dapat membatasi jumlah deformasi plastis yang diserap matrik. Hal ini mengarahkan kepada fenomena terjadinya *fracture* secara cepat pada penguat, pelepasan (*delamination*) matrik partikel SiO<sub>2</sub> dan *spalling* partikel penguat. Sebagai konsekuensinya, terjadi peningkatan kekuatan *impact* seiring dengan penambahan partikel penguat SiO<sub>2</sub> [10].



**Gambar 2:** Kekuatan *impact* pada setiap spesimen *refractory* sebelum dilakukan *thermal shock*

Kekuatan *impact* pada spesimen 1 dan spesimen 3 menurun dengan adanya perlakuan *thermal shock* pada  $\Delta T$  100°C, sedangkan pada perlakuan yang sama spesimen 2 mengalami peningkatan kekuatan *impact* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Kekuatan *impact* pada spesimen 1 meningkat pada  $\Delta T$  200°C hingga mencapai kekuatan *impact* maksimum pada  $\Delta T$  500°C. Perlakuan *impact* dengan suhu yang lebih besar dari 500°C pada spesimen 1 mengakibatkan kekuatan *impact* mengalami penurunan secara signifikan. Kekuatan *impact* pada spesimen 2 mengalami penurunan pada saat perlakuan *thermal shock* dilakukan dengan  $\Delta T$  200°C. Kekuatan *impact* pada spesimen 2 meningkat dengan  $\Delta T$  yang semakin tinggi hingga didapatkan kekuatan *impact* maksimal pada  $\Delta T$  400°C. Perakuan *thermal shock* pada suhu yang lebih besar dari 400°C mengakibatkan penurunan kekuatan *impact* secara signifikan pada spesimen 2. Sedangkan kekuatan *impact* maksimum pada spesimen 3 didapatkan pada perlakuan *thermal shock* pada suhu 200°C. Perakuan *thermal*

*shock* pada suhu yang lebih besar dari 200°C mengakibatkan penurunan kekuatan *impact* secara signifikan pada spesimen 3.

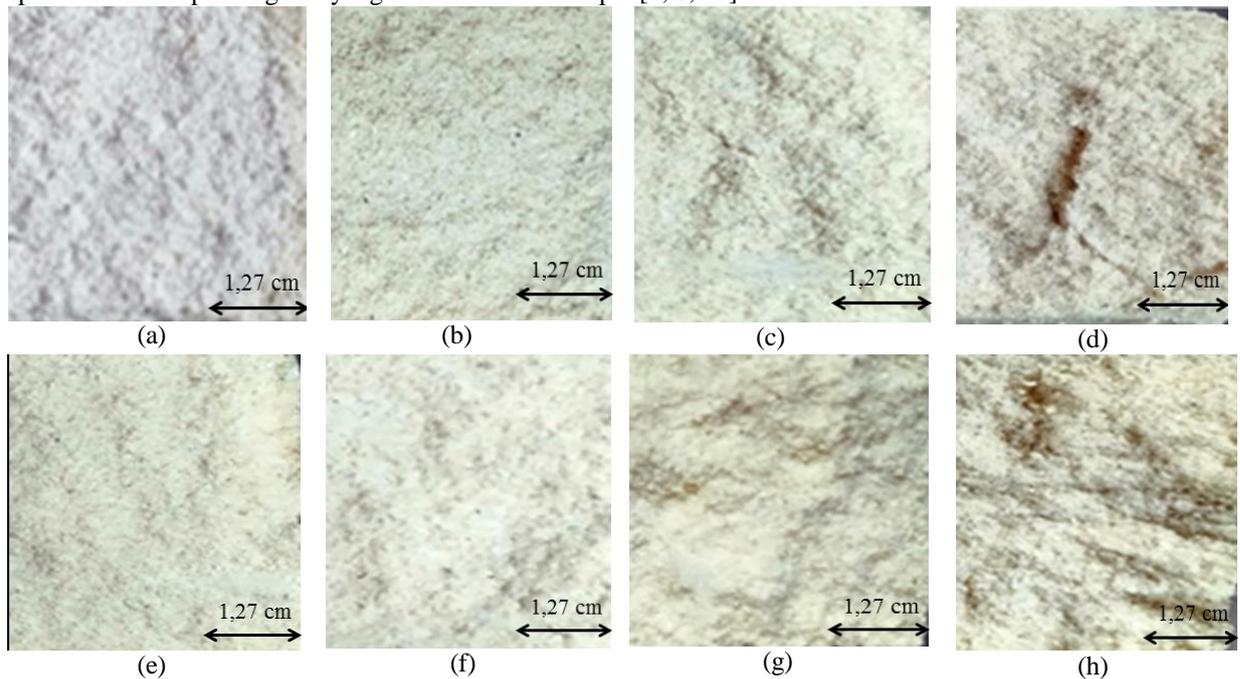


**Gambar 3:** Pengaruh perlakuan *thermal shock* terhadap kekuatan *impact* pada material *refractory*

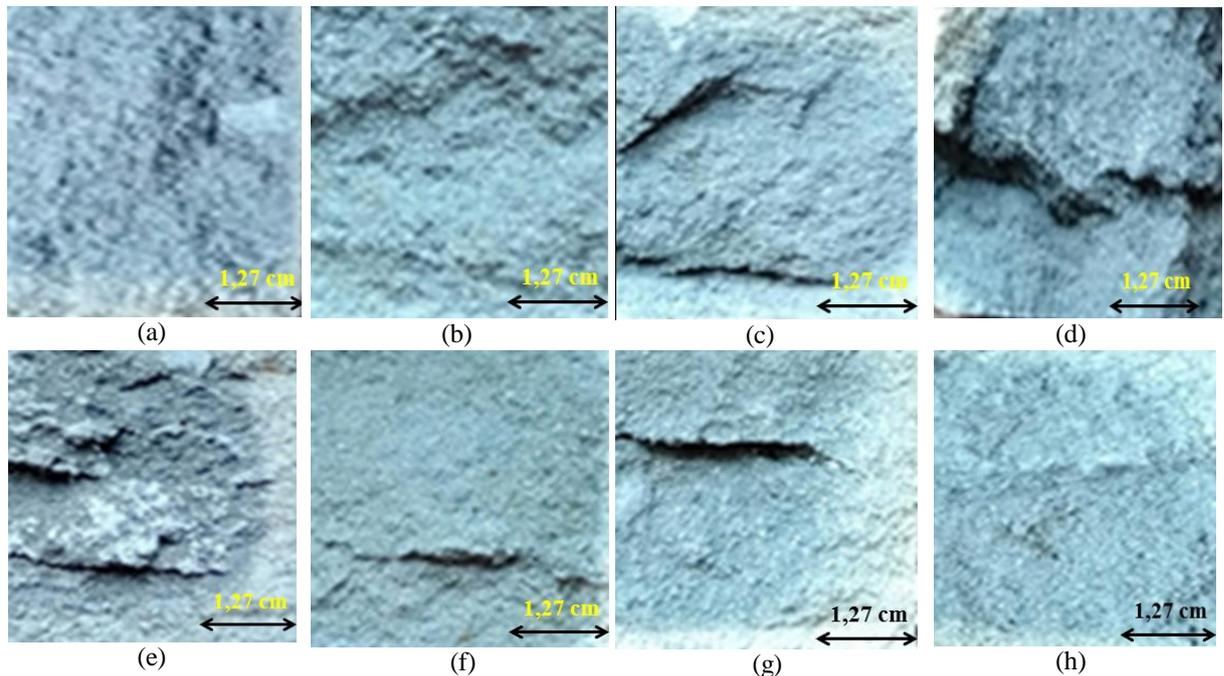
Pada setiap spesimen dan perlakuan *thermal shock* dengan variasi suhu menghasilkan kekuatan *impact* yang berbeda. Hal ini menunjukkan perbedaan komposisi pada spesimen sangat berpengaruh terhadap hasil akhir sifat mekanis spesimen. Pada penelitian ini, kekuatan *impact* tertinggi sebesar 0,013096 J/mm<sup>2</sup> yang ditemukan pada spesimen 2 dengan *thermal shock* yang dilakukan pada suhu 400°C. Sedangkan kekuatan *impact* terendah sebesar 0,004099 J/mm<sup>2</sup> yang ditemukan pada spesimen 3 dengan *thermal shock* yang dilakukan pada suhu 700°C. Semakin tinggi suhu pada perlakuan *thermal shock*, maka semakin rendah pula harga ketahanan *impact* yang dihasilkan. Penurunan nilai ketahanan *impact* secara signifikan pada spesimen 1, spesimen 2 dan spesimen 3 terjadi pada perlakuan *thermal shock* masing-masing pada suhu 400°C, 400°C dan 500°C. Kekuatan *impact* spesimen *refractory* mengalami penurunan drastis sering bertambahnya suhu pada siklus *thermal shock*. Semakin tinggi suhu pada perlakuan *thermal shock* menyebabkan tingkat kekerasan meningkat dan spesimen uji semakin getas sehingga ketahanan bahan/ ketangguhannya menurun [4, 8, 11]. Penurunan tersebut terjadi karena tingginya koefisien termal dan modulus elastisitas pada keramik mengakibatkan terbentuknya tegangan termal. Hal inilah yang menyebabkan retakan merambat dengan cepat karena perbedaan suhu yang tinggi [2]. Dapat dilihat pula bahwa pada spesimen 2 mempunyai harga kekuatan *impact* (K) tertinggi dibandingkan spesimen 1 dan spesimen 3. Hal ini mengindikasikan pemilihan dan komposisi bahan baku sangat berpengaruh terhadap ketahanan *impact* pada material *refractory* [8]. Penambahan SiO<sub>2</sub> pada keramik mengakibatkan penurunan nilai kekuatan setelah perlakuan *thermal shock*. Nilai kekuatan *bending* silika yang lebih rendah daripada keramik tanpa penambahan SiO<sub>2</sub> menyebabkan penurunan kekuatan, selain itu nilai konduktivitas termal SiO<sub>2</sub> yang rendah juga mengakibatkan penurunan kekuatan. SiO<sub>2</sub> juga memiliki nilai ekspansi termal  $5.6 \times 10^{-7}/K$  pada suhu 300°C. Hal ini disebabkan karena SiO<sub>2</sub> meningkatkan porositas pada keramik yang menyebabkan penurunan kekuatan material *refractory* [9].

Gambar 4-6 menunjukkan foto makro pada spesimen 1, spesimen 2 dan spesimen 3 setelah dilakukan uji *impact*. Pada struktur makro spesimen 2 dan 3 didominasi warna hitam yang menunjukkan *limbah evaporation boats* pada spesimen *refractory*. Pengamatan struktur makro dilakukan untuk mengetahui bentuk patahan yang terjadi pada spesimen setelah dilakukan uji *impact*. Penelitian ini menunjukkan patahan spesimen setelah uji *impact* berbentuk patahan granular atau patahan getas yang ditandai dengan patahan datar yang memantulkan cahaya dan terlihat mengkilap yang disebabkan oleh mekanisme pembelahan pada butir-butir keramik yang getas. *Thermal shock* yang dilakukan pada spesimen dengan variasi suhu akan mengakibatkan spesimen menerima perubahan suhu secara drastis. Proses ini terjadi perambatan suhu mengakibatkan spesimen mengalami pemuaihan yang tidak seragam yang diasumsikan diasumsikan sebagai

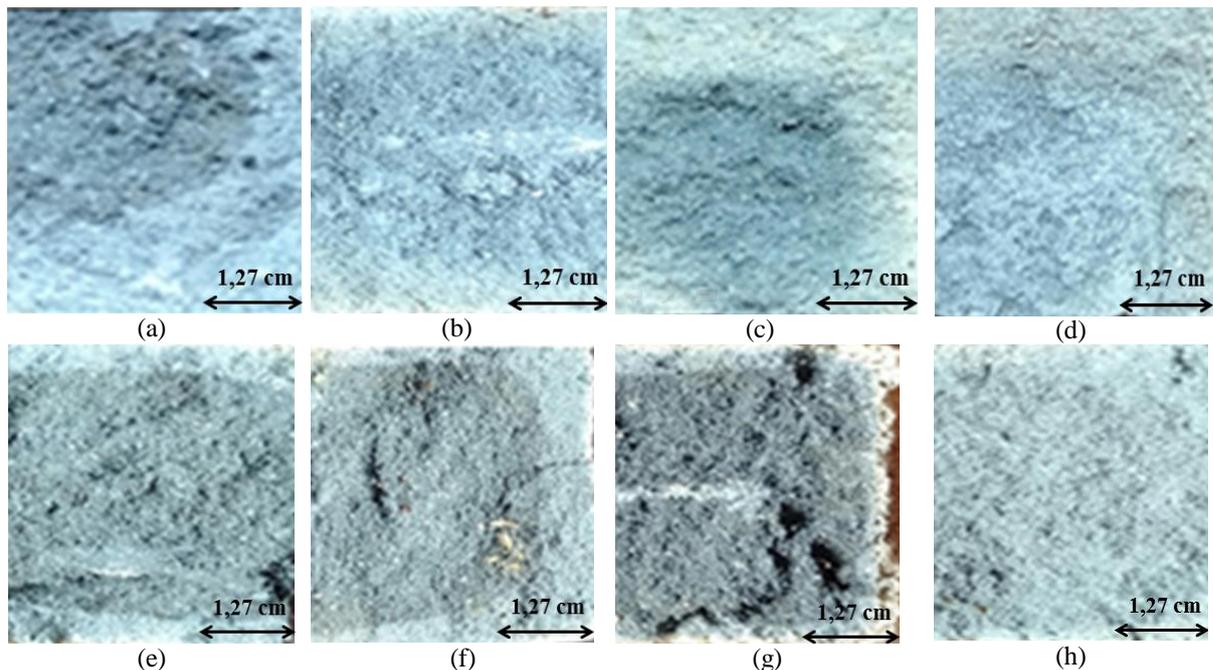
tegangan, sehingga perlakuan *thermal shock* ini akan menyebabkan penurunan kekuatan *impact* pada spesimen karena pendinginan yang dilakukan secara cepat [4, 8, 11].



**Gambar 4:** hasil dari foto makro patahan uji *impact* pada spesimen 1, (a) sebelum *thermal shock*; (b) *thermal shock* pada suhu 100°C; (c) *thermal shock* pada suhu 200°C; (d) *thermal shock* pada suhu 300°C; (e) *thermal shock* pada suhu 400°C; (f) *thermal shock* pada suhu 500°C; (g) *thermal shock* pada suhu 600°C; (h) *thermal shock* pada suhu 700°C;



**Gambar 5:** hasil dari foto makro patahan uji *impact* pada spesimen 2, (a) sebelum *thermal shock*; (b) *thermal shock* pada suhu 100°C; (c) *thermal shock* pada suhu 200°C; (d) *thermal shock* pada suhu 300°C; (e) *thermal shock* pada suhu 400°C; (f) *thermal shock* pada suhu 500°C; (g) *thermal shock* pada suhu 600°C; (h) *thermal shock* pada suhu 700°C;



**Gambar 6:** hasil dari foto makro patahan uji *impact* pada spesimen 2, (a) sebelum *thermal shock*; (b) *thermal shock* pada suhu 100°C; (c) *thermal shock* pada suhu 200°C; (d) *thermal shock* pada suhu 300°C; (e) *thermal shock* pada suhu 400°C; (f) *thermal shock* pada suhu 500°C; (g) *thermal shock* pada suhu 600°C; (h) *thermal shock* pada suhu 700°C;

#### 4. KESIMPULAN

Perbedaan komposisi pada spesimen sangat berpengaruh terhadap sifat mekanis yang dihasilkan. Pada penelitian ini, kekuatan *impact* tertinggi sebesar 0,013096 J/mm<sup>2</sup> yang ditemukan pada spesimen 2 dengan *thermal shock* yang dilakukan pada suhu 400°C. Sedangkan kekuatan *impact* terendah sebesar 0,004099 J/mm<sup>2</sup> yang ditemukan pada spesimen 3 dengan *thermal shock* yang dilakukan pada suhu 700°C. Semakin tinggi suhu *thermal shock*, maka semakin rendah kekuatan *impact* pada spesimen *refractory*. Patahan spesimen setelah uji *impact* berbentuk patahan granular atau patahan getas yang ditandai dengan patahan datar yang memantulkan cahaya dan terlihat mengkilap yang disebabkan oleh mekanisme pembelahan pada butir-butir keramik yang getas. Semakin tinggi suhu pada perlakuan *thermal shock* akan mengakibatkan kekerasan meningkat yang ditandai dengan munculnya patahan getas sehingga kekuatan *impact* pada material *refractory* menurun.

#### 5. PERNYATAAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang atas fasilitas yang telah di sediakan sehingga penulis dapat melakukan penelitian ini.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] SYRCOS, P.G., “Die casting process optimization using Taguchi methods”, *Journal of Materials Processing Technology*, pp.68-174, Okt. 2002.
- [2] BAYUSENO, A.P., “Pengembangan dan Karakterisasi Material Keramik Untuk Dinding Bata Tahan Api Tungku Hoffman K1”, *Rotasi*, v.11, n.4, pp. 5-10, Okt. 2009.
- [3] RAHMAT, M.R., “Perancangan Dan Pembuatan Tungku Heat Treatment”, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, v.3, n.2, pp.133-148, Agust. 2015.
- [4] APRIL LIANITA SARI, “Rusiyanto, Pengaruh *thermal shock* resistance dan komposisi bahan refraktori terhadap kekuatan *impact* dan struktur makro”, *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 4 (2), 105-110, 2019.
- [5] ALANDRA, J., *Pengujian Sifat Temperatur Pelunakan Material Refraktori Silika (SiO<sub>2</sub>) Pada Lining*

*Tungku Induksi Peleburan Besi Cor*, in: Universitas Diponegoro., 2012.

- [6] Editorial, 3M Advanced Materials Division,  
<http://technicalceramics.3mdeutschland.de/en/materials/3m-boron-nitride.html>. Diakses: Januari 2019.
- [7] HARDIN, S. D, *Pengaruh Penggunaan Pasir Silika Sebelum dan Sesudah Diaktivasi Fisik Terhadap Prestasi Mesin dan Emisi Gas Buang Sepeda Motor Bensin 4-Langkah*, Universitas Lampung, 2018.
- [8] SINTA INDIARTI NURROHMAH, RUSIYANTO, RAHMAT DONI WIDODO, WIRAWAN SUMBODO, “Pengaruh Thermal Shock Dan Komposisi Grafit, Kaolin (Clay) Terhadap Struktur Makro Dan Ketahanan Impact Kowi Berbahan Dasar Limbah Evaporation Boats” *Jurnal Rekayasa Mesin*, 11 (2), pp. 287 – 295, 2020.
- [9] RIDHAL FAUZAN, *Pengaruh Penambahan Silika Terhadap Kekuatan, Konduktivitas Termal, dan Thermal Shock Resistance Keramik Thermal Jacket*, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya, Malang, 2019.
- [10] GRAHARDIAN ADI KUSUMO, PURWADI JOKO WIDODO, WAHYU PURWO RAHARJO, “Analisa pengaruh fraksi massa penguat SiO<sub>2</sub> terhadap kekuatan impact dan struktur mikro pada komposit matrik aluminium menggunakan metode stir casting”, *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, Vol. 11 No. 2 , 56-60, 2016.
- [11] SARI, D.R., RUSIYANTO, RAHMAT, D.W., “Pengaruh thermal shock resistance terhadap makro struktur dan ketahanan impact kowi pelebur (crusible) berbahan komposit abu sekam padi/grafit/kaolin”, *Jurnal Kompetensi Teknik*, v.9, n.1, pp.53-58, Nov. 2017.