



**PENGARUH TEMPERATUR *SINTERING* TERHADAP
DENSITAS, POROSITAS, DAN KEKERASAN
BERBAHAN *EVAPORATION BOATS*, KAOLIN DAN
SEMEN *CASTABLE* SEBAGAI MATERIAL *CRUCIBLE***

Skripsi

**Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

Oleh

Ekawati Miftahul Jannah

NIM.5201415074

PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020



UNNES

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Ekawati Miftahul Jannah
NIM : 5201415074
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin
Judul : Pengaruh Temperatur *Sintering* Terhadap Densitas,
Porositas, Dan Kekerasan Berbahan *Evaporation Bouts*,
Kaolin Dan Semen *Castable* Sebagai Material *Crucible*

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian
Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas
Negeri Semarang.

Semarang, 30 Desember 2019

Pembimbing



Rusiyanto, S.Pd., M.T.

NIP. 197403211999031002

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Pengaruh Temperatur *Sintering* terhadap Densitas, Porositas, dan Kekerasan Berbahan *Evaporation Boats*, Kaolin, dan Semen *Castable* sebagai Material *Crucible* telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggalbulan.....2020.

Oleh

Nama : Ekawati Miftahul Jannah
NIM : 5201415074
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Panitia:

Ketua



Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Sekretaris



Wahyudi S.Pd, M.Eng
NIP. 198003192005011001

Penguji 1



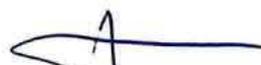
Dr. Rahmat Doni Widodo, ST., M.T.
NIP. 197509272006041002

Penguji2



Samsudin Anis, ST., M.T., P.hD.
NIP.197601012003121002

Pembimbing



Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211999031002

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan pembimbing dan masukan tim penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 5 Januari 2020

Yang membuat pernyataan,



Ekawati Miftahul Jannah

NIM.5201415074

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

“ Saat kau menjadi satu-satunya orang waras, kau akan terlihat seperti orang gila”

(Crish Jami).

“ Bermimpilah seakan kau akan hidup selamanya. Hiduplah seakan kau akan mati hari ini.” (James Dean).

Persembahan

Untuk Bapak Sunaryo, Ibu Tusinah, dan Adik tercinta.

Untuk diriku yang telah berjuang.

Untuk keluarga besar tersayang.

Untuk rekan PTM 2015 yang telah memberikan dukungan.

Untuk orang-orang yang telah mendoakan.

RINGKASAN

Ekawati Miftahul Jannah. 2019. Pengaruh Temperatur *Sintering* Terhadap Densitas, Porositas, Dan Kekerasan Berbahan *Evaporation Boats*, Kaolin Dan Semen *Castable* Sebagai Material *Crucible*. Pembimbing: Rusiyanto, S.Pd. M.T. Skripsi. Program Studi Pendidikan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang.

Evaporation boats merupakan limbah yang mengandung *Boron Nitride* (BN) dan *Titanium Diboride* (TiB_2). Bahan refraktori yang biasa digunakan untuk *crucible* belum menghasilkan refraktori yang bagus dan harganya mahal sehingga perlu penelitian terhadap *evaporation boats*. Pengujian dilakukan dengan memberikan perlakuan temperatur *sintering*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur *sintering* terhadap nilai densitas, porositas, dan kekerasan *crucible* berbahan *evaporation boats*, kaolin dan semen *castable*.

Penelitian menggunakan metode eksperimen, yaitu melakukan pengujian menggunakan timbangan digital *high precision* dan *Microhardness Tester M800*. Material yang digunakan berupa *evaporation boats*, kaolin, semen *castable*, dan dicampur 15% air dari massa keseluruhan serbuk bahan sebelum dicetak. Variabel bebas penelitian ini adalah temperatur *sintering* dan komposisi material. Variasi temperatur *sintering* yang digunakan adalah 900 °C, 1000 °C, dan 1100 °C. Sementara untuk variasi komposisi yang digunakan adalah komposisi 1 yaitu 70% *evaporation boats*, 15% semen *castable* dan 15% kaolin, variasi komposisi 2 yaitu 50% *evaporation boats*, 25% semen *castable*, dan 25% kaolin, dan variasi komposisi 3 yaitu 40% *evaporation boats*, 30% semen *castable* dan 30% kaolin. Variabel terikat yang digunakan berupa densitas, porositas, dan kekerasan. Variabel kontrolnya adalah proses pembuatan, pembebanan, laju pemanasan, proses pendinginan, waktu tahan, dan dimensi spesimen. Analisis terhadap hasil yang disajikan dalam bentuk tabel dan grafik (membandingkan dengan penelitian terdahulu dan indeks nilai *crucible* di pasaran).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai densitas, porositas, dan kekerasan dipengaruhi oleh temperatur *sintering*. Nilai densitas tertinggi diperoleh pada komposisi 2 dengan perlakuan temperatur *sintering* 1100 °C sebesar 2,120 g/cm³. Nilai ini telah memenuhi kriteria indeks *crucible* di pasaran. Nilai porositas terendah diperoleh pada komposisi 2 dengan perlakuan temperatur *sintering* 1100 °C yang menghasilkan nilai porositas sebesar 2,2 %. Nilai ini juga telah memenuhi kriteria indeks *crucible* di pasaran. Nilai kekerasan tertinggi juga diperoleh pada komposisi 2 yang dengan perlakuan temperatur *sintering* 1100 °C yang memiliki nilai HVN sebesar 0,07 gf/ μm^2 .

Kata kunci: *Densitas, Porositas, Kekerasan, Temperatur Sintering, Evaporation Boats*

PRAKATA

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT berkat rahmat dan hidayah-Nya, sehingga dapat diselesaikan Skripsi dengan judul “Pengaruh Temperatur *Sintering* Terhadap Densitas, Porositas, Dan Kekerasan Berbahan *Evaporation Boats*, Kaolin Dan Semen *Castable* Sebagai Material *Crucible*”. Penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada :

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman M.Hum, selaku Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
3. Rusiyanto, S.Pd., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang, Ketua Prog Studi Pendidikan Teknik Mesin, serta selaku dosen pembimbing yang telah memberi saran dan masukan dalam memperbaiki skripsi ini.
4. Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T. dan Samsudin Anis, S.T., M.T., P.hD. selaku dosen penguji skripsi yang telah memberikan saran dan masukan dalam memperbaiki skripsi ini.
5. Semua dosen di Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan materi dan pembelajaran sebagai bekal pengetahuan penulis.
6. Ayah dan Ibu tercinta yang selalu memberikan motivasi dan doa.
7. Teman-teman Prog Studi Pendidikan Teknik Mesin S1 yang memberikan masukan dalam penyelesaian skripsi

Penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat untuk perkembangan pengetahuan dimasa yang akan datang.

Semarang, 5 Januari 2020

Ekawati Miftahul Jannah
NIM.5201415074

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTO DAN PERSEMBAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	5
1.3 Pembatasan Masalah	5
1.4 Rumusan Masalah	6
1.5 Tujuan Penelitian	7
1.6 Manfaat Penelitian	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	9
2.1 Kajian Pustaka	9
2.2 Landasan Teori	14
2.2.1 Pengecoran Logam	14
2.2.2 Kowi	17
2.2.3 Refraktori	19
2.2.4 <i>Evaporation Boats</i>	21
2.2.5 Semen <i>Castable C-16</i>	25
2.2.6 Kaolin	27
2.2.7 Tungku Tahanan Listrik	29

2.2.8 <i>Sintering</i>	30
2.2.9 Pengujian Densitas	32
2.2.10 Pengujian Porositas	33
2.2.11 Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	34
BAB III METODE PENELITIAN	38
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	38
3.2. Desain Penelitian	38
3.3. Alat dan Bahan Penelitian	45
3.4. Parameter Penelitian.....	52
3.5. Teknik Pengumpulan Data	54
3.6. Kalibrasi Instrumen	56
3.7. Teknik Analisis Data	59
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	60
4.1. Deskripsi Data	60
4.2. Analisis Data	64
4.2.1 Pengujian Densitas	64
4.2.2 Pengujian Porositas	70
4.2.3 Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	75
4.3 Pembahasan Penelitian	84
4.3.1 Nilai Densitas Material <i>Crucible</i> Berbahan <i>Evaporation Boats</i> , Kaolin dan Semen <i>Castable</i>	84
4.3.2 Nilai Densitas Material <i>Crucible</i> Berbahan <i>Evaporation Boats</i> , Kaolin dan Semen <i>Castable</i>	87
4.3.3 Nilai Densitas Material <i>Crucible</i> Berbahan <i>Evaporation Boats</i> , Kaolin dan Semen <i>Castable</i>	89
BAB V PENUTUP	93
5.1. Kesimpulan	93
5.2. Saran.....	95
DAFTAR PUSTAKA	97
LAMPIRAN	101

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tambahan Penyusutan yang Disarankan	16
Tabel 2.2	Sifat <i>Crucible Graphite American Elements</i>	18
Tabel 2.3	Spesifikasi <i>Crucible</i>	19
Tabel 2.4	Spesifikasi <i>Evaporation Boats</i> PT 3M Jakarta	22
Tabel 3.1	Kebutuhan Spesimen Pengujian	53
Tabel 3.2	Variasi Temperatur <i>Sintering</i> dan Berat Spesimen	53
Tabel 3.3	Pengujian Densitas Komposisi 1.....	54
Tabel 3.4	Pengujian Densitas Komposisi 2.....	55
Tabel 3.5	Pengujian Densitas Komposisi 3.....	55
Tabel 3.6	Pengujian Porositas Komposisi 1.....	55
Tabel 3.7	Pengujian Porositas Komposisi 2.....	56
Tabel 3.8	Pengujian Porositas Komposisi 3.....	56
Tabel 3.9	Pengujian Kekerasan Komposisi 1	56
Tabel 3.10	Pengujian Kekerasan Komposisi 2	57
Tabel 3.11	Pengujian Kekerasan Komposisi 3	57
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Densitas dan Porositas Komposisi 1	60
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Densitas dan Porositas Komposisi 2	61
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Densitas dan Porositas Komposisi 3	61
Tabel 4.4	Data Hasil Pengujian Kekerasan pada komposisi 1 dengan Perlakuan <i>Sintering</i> 900 °C	61
Tabel 4.5	Data Hasil Pengujian Kekerasan pada komposisi 2 dengan Perlakuan <i>Sintering</i> 1000 °C	62
Tabel 4.6	Data Hasil Pengujian Kekerasan pada komposisi 1 dengan Perlakuan <i>Sintering</i> 1100 °C	62
Tabel 4.7	Data Hasil Pengujian Kekerasan pada komposisi 2 dengan Perlakuan <i>Sintering</i> 900 °C.....	62
Tabel 4.8	Data Hasil Pengujian Kekerasan pada komposisi 2 dengan Perlakuan <i>Sintering</i> 1000 °C.....	63
Tabel 4.9	Data Hasil Pengujian Kekerasan pada komposisi 2 dengan Perlakuan <i>Sintering</i> 1100 °C	63

Tabel 4.10 Data Hasil Pengujian Kekerasan pada komposisi 3 dengan Perlakuan <i>Sintering</i> 900 °C.....	63
Tabel 4.11 Data Hasil Pengujian Kekerasan pada komposisi 3 dengan Perlakuan <i>Sintering</i> 1000 °C	64
Tabel 4.12 Data Hasil Pengujian Kekerasan pada komposisi 3 dengan Perlakuan <i>Sintering</i> 1100 °C	64
Tabel 4.13 Data Hasil Pengujian Densitas pada Komposisi 1	65
Tabel 4.14 Data Hasil Pengujian Densitas pada Komposisi 2	67
Tabel 4.15 Data Hasil Pengujian Densitas pada Komposisi 3	68
Tabel 4.16 Data Hasil Pengujian Porositas pada Komposisi 1	70
Tabel 4.17 Data Hasil Pengujian Porositas pada Komposisi 2	72
Tabel 4.18 Data Hasil Pengujian Porositas pada Komposisi 3	74
Tabel 4.19 Hasil Pengujian Kekerasan pada Komposisi 1 Perlakuan <i>Sintering</i> 900 °C	76
Tabel 4.20 Hasil Pengujian Kekerasan pada Komposisi 1 Perlakuan <i>Sintering</i> 1000 °C.....	76
Tabel 4.21 Hasil Pengujian Kekerasan pada Komposisi 1 Perlakuan <i>Sintering</i> 1100 °C.....	77
Tabel 4.22 Hasil Pengujian Kekerasan pada Komposisi 2 Perlakuan <i>Sintering</i> 900 °C.....	79
Tabel 4.23 Hasil Pengujian Kekerasan pada Komposisi 2 Perlakuan <i>Sintering</i> 1000 °C.....	79
Tabel 4.24 Hasil Pengujian Kekerasan pada Komposisi 2 Perlakuan <i>Sintering</i> 1100 °C.....	79
Tabel 4.25 Hasil Pengujian Kekerasan pada Komposisi 3 Perlakuan <i>Sintering</i> 900 °C.....	81
Tabel 4.26 Hasil Pengujian Kekerasan pada Komposisi 3 Perlakuan <i>Sintering</i> 1000 °C.....	82
Tabel 4.27 Hasil Pengujian Kekerasan pada Komposisi 3 Perlakuan <i>Sintering</i> 1100 °C.....	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gambar Aliran Proses pada Pembuatan Coran	15
Gambar 2.2	Contoh Kowi	18
Gambar 2.3	<i>The hexagonal unit cell of single crystal TiB₂</i>	25
Gambar 2.4	Semen <i>Castable C-16</i>	26
Gambar 2.5	Struktur Kaolin	38
Gambar 2.6	Tungku Tahanan listrik FT Unnes	29
Gambar 2.7	Perubahan Struktur Mikro Pada Proses <i>Sintering</i>	31
Gambar 2.8	Sudut indentor <i>Vickers</i>	35
Gambar 2.9	Bentuk indentor <i>Vickers</i>	35
Gambar 3.1	Desain Penelitian	39
Gambar 3.2	Spesimen Uji	42
Gambar 3.3	Cetakan Spesimen	45
Gambar 3.4	Mesin <i>Roll</i>	46
Gambar 3.5	Alat Pengayakan	46
Gambar 3.6	Jangka Sorong	47
Gambar 3.7	Timbangan Digital.	47
Gambar 3.8	Plastik Klip	48
Gambar 3.9	<i>Furnace</i>	48
Gambar 3.10	Alat Uji Densitas dan Porositas.....	49
Gambar 3.11	Alat Kekerasan	50
Gambar 3.12	<i>Evaporation boats</i>	50
Gambar 3.13	Semen <i>Castable C-16</i>	51
Gambar 3.14	Kaolin.....	51
Gambar 4.1	Hasil Pengujian Densitas Komposisi 1	66
Gambar 4.2	Hasil Pengujian Densitas Komposisi 2	67
Gambar 4.3	Hasil Pengujian Densitas Komposisi 3	69
Gambar 4.4	Hasil Pengujian Porositas Komposisi 1	71

Gambar 4.5 Hasil Pengujian Porositas Komposisi 2	73
Gambar 4.6 Hasil Pengujian Porositas Komposisi 3	74
Gambar 4.7 Pengujian Kekerasan <i>Micro Vickers</i> Komposisi 1	77
Gambar 4.8 Hasil Pengujian Kekerasan <i>Micro Vickers</i> Komposisi 1	78
Gambar 4.9 Pengujian Kekerasan <i>Micro Vickers</i> Komposisi 2.....	80
Gambar 4.10 Hasil Pengujian Kekerasan <i>Micro Vickers</i> Komposisi 2	80
Gambar 4.11 Pengujian Kekerasan <i>Micro Vickers</i> Komposisi 3.....	83
Gambar 4.12 Hasil Pengujian Kekerasan <i>Micro Vickers</i> Komposisi 3	83
Gambar 4.13 Hasil Pengujian Densitas dengan variasi komposisi dan temperatur <i>sintering</i>	85
Gambar 4.14 Hasil Pengujian Porositas dengan variasi komposisi dan temperatur <i>sintering</i>	87
Gambar 4.15 Hasil Pengujian Kekerasan dengan variasi komposisi dan temperatur <i>sintering</i>	89

DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

Daftar Singkatan Teknis

BN	: Boron nitride
TiB ₂	: Titanium Diboride
Al	: Aluminium
HVN	: Hardness Vickers Number
XRD	: X-Ray Diffraction
SiO ₂	: Silikon dioksida
MgO	: Magnesium Oksida
Al ₂ O ₃	: Alumina
c-BN	: Cubic Boron Nitride
h-BN	: Hexagonal Boron Nitride

Daftar Lambang

ρ_m	: Densitas Aktual (g/cm ³)
m_k	: Massa Kering (g)
m_a	: Massa dalam Air (g)
m_b	: Massa Basah (g)
p	: Massa Jenis Air (g/cm ³)
\emptyset	: Porositas (%)
P	: Beban Tumbuk (gf)
d	: Panjang diagonal penginjakan indenter (μm)
D	: Diameter (mm)
t	: Tinggi (mm)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara industri dengan sektor industri menjadi kontributor terbesar bagi perekonomian nasional dengan sumbangannya mencapai lebih dari 20%. Menurut Badan Pusat Statistik, industri di Indonesia meningkat dari tahun ke tahun seperti industri logam dasar meningkat sebesar 10,6%, diikuti industri makanan dan minuman 9,49%, industri mesin dan perlengkapan 6,35%, serta industri alat transportasi 5,63%. Seiring dengan berkembangnya industri yang ada maka limbah yang dihasilkan juga ikut meningkat. Limbah adalah material sisa yang dianggap tidak memiliki nilai yang dihasilkan dari suatu proses produksi, baik industri maupun domestik (rumah tangga). Limbah dibedakan dalam berbagai kategori, diantaranya limbah air dan limbah padat (Akhyar, 2014: 1). Pada tahun 2015, proporsi limbah bahan berbahaya dan beracun yang dihasilkan oleh industri yang diolah sesuai peraturan sebesar 99,77% dan yang belum dikelola sebesar 0,23%. Pengolahan limbah yang belum dikelola sebaliknya dilakukan sedari dini saat proses produksi berlangsung karena jika ini tidak dilakukan maka ancaman terhadap pencemaran akan berakibat fatal. Padahal secara ekonomi limbah dapat dimanfaatkan sehingga memberikan nilai dan keuntungan ekonomi (Nasir, dkk, 2015: 143). Salah satu pemanfaatan limbah saat ini adalah dengan menggunakan limbah *evaporation boats*.

Evaporation boats merupakan produk yang berasal dari PT. 3M Indonesia. Pada industri logam, *evaporation boats* digunakan sebagai wadah penahan dari pemanas tahanan listrik untuk mencairkan dan menguapkan logam. *Evaporation boats* terbuat dari senyawa *boron nitride* dan *titanium diboride*. *Boron nitride* adalah senyawa biner sintesis yang ditemukan pada abad ke-19. Karakteristik *boron nitride* adalah memiliki konduktivitas *thermal* yang tinggi, stabilitas termal yang tinggi, dan ketahanan tinggi terhadap korosi sehingga dapat digunakan untuk bahan refraktori pada pengecoran logam (Bernard, 2014 :7437). PT. 3M Indonesia mendistribusikan produknya ke industri-industri dan mempunyai ide untuk mengolah limbah *evaporation boats* yang tidak lagi terpakai oleh industri-industri. Limbah tersebut didaur ulang agar dapat menghasilkan produk baru yang dapat membantu industri salah satunya industri pengecoran logam. Pada industri pengecoran telah dilakukan upaya seperti untuk meningkatkan produksi agar kebutuhan pasar dapat terpenuhi, namun beberapa masalah masih sering ditemukan pada tungku peleburan, salah satunya terdapat pada material yang digunakan untuk membuat material *crucible*.

Menurut Tamara, dkk (2014: 25) kowi (*crucible*) dapat bertahan lama jika menggunakan kowi impor sedangkan jika menggunakan kowi lokal (grafit) hanya dapat bertahan maksimal 10 kali peleburan. Kendalanya adalah harga kowi impor jauh lebih mahal dibandingkan kowi lokal. Hingga sejauh ini belum ada kowi lokal yang mempunyai karakteristik yaitu kuat dan tahan temperatur tinggi dan mampu digunakan dalam jangka waktu yang lama. Kowi (*crucible*) yang

digunakan sebagai salah satu komponen tungku, merupakan tempat pencairan logam yang dibuat dari bahan refraktori.

Refraktori adalah bahan anorganik yang bukan logam yang memiliki sifat sukar leleh pada temperatur tinggi dan digunakan dalam industri temperatur tinggi seperti bahan tungku dan sebagainya (Surdia, 1992: 349). Material refraktori harus dapat tahan terhadap temperatur tinggi, tahan terhadap benturan, tahan terhadap kejutan termal, dan juga tahan terhadap korosi (Rahmat, 2015: 135). Refraktori mempunyai umur yang terbatas akibat pemakaian pada temperatur tinggi yang berlangsung terus menerus, sehingga pada beberapa industri pengecoran memerlukan biaya yang besar untuk melakukan perawatan yang intensif. Pemakaian (keawetan atau umur pakai) dari bahan refraktori ditentukan oleh beberapa faktor diantaranya tahan terhadap temperatur tinggi, tidak bereaksi secara kimia dengan leburan bahan padat dan gas yang bersinggungan dengannya, dan tidak memiliki pori-pori.

Menurut Djaja (2008: 82), pada beberapa jenis refraktori, konduktifitas *thermal* refraktori asam lebih rendah dibandingkan refraktori basa, sehingga panas hilang akibat konduksinya lebih kecil. Ketahanan refraktori netral yang mengandung FeO terhadap terak tidak sebaik refraktori basa. Kebalikan dari silika, refraktori basa yang mengandung magnesia akan menyusut pada saat pemanasan dan mengakibatkan retakan pada permukaan *crucible* yang bersentuhan langsung dengan logam. Berbagai jenis bahan refraktori tersebut memiliki kelemahan dan kelebihan masing-masing. Oleh sebab itu, dalam penelitian kali ini dilakukan percobaan untuk membuat *crucible* berbahan

refraktori lain berupa limbah *evaporation boats* yang mengandung *boron nitride* dengan campuran kaolin, semen *castable* dan air. Diharapkan refraktori berupa limbah *evaporation boats* ini memberikan keuntungan dalam peleburan logam sehingga menghasilkan logam cair dengan kualitas yang baik untuk tempat peleburan logam tungku tahanan listrik.

Tungku tahanan listrik merupakan tungku listrik di mana panas diterapkan dengan pemanasan tahanan listrik logam. Tungku tahanan listrik ini menggunakan energi listrik sebagai bahan bakarnya. Tungku listrik memiliki keunggulan daripada tungku bahan bakar fosil untuk mencairkan potongan aluminium. Keuntungan dari tungku tahanan listrik adalah proses peleburan hemat energi dan mudah dikendalikan, hasil produknya lebih bersih dibandingkan dengan dengan tungku peleburan lainnya. Di Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang, dalam mengadakan praktik mata kuliah pengecoran logam masih menggunakan tungku yang berbahan bakar solar sehingga hasil pengecoran kurang bersih. Selain itu, menyebabkan pencemaran udara dan lingkungan, yang menyebabkan hasil pengecoran kurang maksimal. Berbagai keuntungan dari tungku tahanan listrik ini, diharapkan dapat menjadi alternatif lain untuk Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang untuk melakukan praktik pengecoran logam dengan tungku tahanan listrik agar hasil pengecoran lebih maksimal.

Penelitian ini mencoba untuk mengkaji Pengaruh Temperatur *Sintering* terhadap Densitas, Porositas, dan Kekerasan Berbahan *Evaporation Boats*, Kaolin Dan Semen *Castable* sebagai Material *Crucible*. Sebagai komposisi yang baru,

perlu adanya penelitian tentang sifat fisis dan mekanik sehingga perlu dilakukan uji densitas, porositas, kekerasan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi kontribusi pada dunia industri dan pendidikan agar dapat memilih bahan refraktori yang baik untuk membuat *crucible* pada proses pengecoran sehingga hasil pengecoran lebih maksimal.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka didapatkan beberapa pokok permasalahan yang muncul dalam penelitian ini, antara lain :

1. Pemanfaatan limbah *evaporation boats*.
2. Bahan refraktori yang digunakan untuk *crucible* saat ini hanya refraktori asam, basa, dan netral bukan refraktori seperti *evaporation boats*.
3. *Boron nitride* murni merupakan bahan refraktori yang memiliki banyak keunggulan namun mahal harganya.
4. *Crucible* yang ada belum menunjukkan ketahanan yang baik dalam mempertahankan kondisinya secara fisik dan kimia, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mendapatkan material *crucible* yang lebih baik.
5. *Evaporation boats* saat ini belum digunakan untuk membuat *crucible* tetapi hanya sebagai tungku pembakaran, insulator pada tanur, lapisan internal *furnace, kiln*.
6. Sifat fisis dan mekanis material *crucible* berbahan *evaporation boats*, kaolin dan semen *castable* dipengaruhi oleh temperatur *sintering*.

1.3 Pembatasan masalah

Adanya beberapa pokok permasalahan yang muncul, maka dalam penelitian ini akan dibatasi beberapa batasan penelitian antara lain sebagai berikut :

1. Material yang digunakan untuk membuat *crucible* tungku berasal dari limbah adalah *evaporation boats* yang berasal dari PT. 3M Indonesia.
2. Komposisi pembuatan material *crucible* terdiri dari *evaporation boats*, kaolin dan *semen castable*.
3. Variasi temperatur *sintering* yang digunakan adalah 900 °C, 1000 °C dan 1100 °C.
4. Laju pemanas yang digunakan adalah 5°/menit dan waktu penahan selama 2 jam.
5. Penambahan air sebanyak 15% dari berat spesimen.
6. Pengujian material *evaporation boats*, kaolin , dan semen *castable* yang dilakukan meliputi :
 - a. Densitas bahan menggunakan metode Archimedes.
 - b. Porositas bahan menggunakan metode Archimedes.
 - c. Kekerasan bahan menggunakan metode *micro vickers*.

1.4 Rumusan Masaalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh temperatur *sintering* terhadap densitas berbahan *evaporation boats*, kaolin dan semen *castable* sebagai material *crucible*?
2. Bagaimana pengaruh temperatur *sintering* terhadap porositas berbahan *evaporation boats*, kaolin dan semen *castable* sebagai material *crucible*?
3. Bagaimana pengaruh temperatur *sintering* terhadap kekerasan berbahan *evaporation boats*, kaolin dan semen *castable* sebagai material *crucible*?

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi temperatur *sintering* terhadap densitas berbahan *evaporation boats*, kaolin dan semen *castable* sebagai material *crucible*.
2. Mengetahui pengaruh variasi temperatur *sintering* terhadap porositas berbahan *evaporation boats*, kaolin dan semen *castable* sebagai material *crucible*.
3. Mengetahui pengaruh variasi temperatur *sintering* terhadap kekerasan berbahan *evaporation boats*, kaolin dan semen *castable* sebagai material *crucible*.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari pembuatan skripsi yang berjudul Pengaruh Temperatur *Sintering* Terhadap Densitas, Porositas, Dan Kekerasan Berbahan *Evaporation Boats*, Kaolin dan Semen *Castable* Sebagai Material *Crucible* ini antara lain :

1. Bagi peneliti mengetahui nilai densitas, porositas, dan kekerasan berbahan *evaporation boats*, kaolin dan semen *castable* sebagai material *crucible*.
2. Bagi mahasiswa, memberikan pengetahuan tentang material *crucible* sehingga diperoleh data tentang kelebihan dan kekurangan material *crucible* agar disesuaikan dengan penggunaan.
3. Bagi perguruan tinggi, menambah data hasil penelitian mengenai Pengaruh Temperatur *Sintering* terhadap Densitas, Porositas, dan Kekerasan Berbahan *Evaporation Boats*, Kaolin dan Semen *Castable* sebagai Material *Crucible*. Serta pembuatan tungku tahanan listrik dapat digunakan untuk proses peleburan logam di Jurusan Teknik Mesin.
4. Bagi industri, memberikan pertimbangan dalam proses pengecoran logam agar mampu melakukan proses pengecoran dengan cepat dan efisien sehingga dapat mengurangi biaya produksi.
5. Bagi industri, memberikan pertimbangan dalam proses pengecoran logam aluminium agar menghasilkan produk yang baik dan bahan acuan atau referensi untuk peneliti yang akan melakukan penelitian sejenis dan merekomendasi penggunaan tungku tahanan listrik dalam penelitian selanjutnya.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Widodo (2011: 50) pada penelitiannya yang berjudul “Pengaruh Komposisi Kaolin Terhadap Densitas dan Kekuatan *Bending* pada Komposit *Fly Ash/Kaolin*”. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu *sinter* terhadap densitas komposit keramik *fly ash/Kaolin*, sehingga mampu mendapatkan temperatur *sinter* terbaik pada komposit keramik *fly ash/Kaolin*, dan untuk mengetahui pengaruh penambahan komposisi dengan variasi kaolin sebesar 0 %, 5 %, 10 %, 15 % dan 20 % berat terhadap kekuatan *bending* pada komposit keramik *fly ash/Kaolin*. Proses *sintering* pada temperatur 1100, 1150 dan 1200 °C yang kemudian diambil temperatur *sinter* terbaik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa densitas komposit keramik *fly ash/Kaolin* meningkat pada temperatur *sinter* 1100-1150 °C dan turun kembali pada temperatur *sinter* 1150-1200 °C karena adanya pembentukan pori-pori saat perlakuan panas lebih tinggi, sedangkan nilai densitas maksimum dicapai pada komposisi penambahan 15% kaolin dengan temperatur *sinter* 1150 °C.

Chen (2001, 798) pada penelitiannya yang berjudul “The Processing of Kaolin Powder Compact”. Proses *sintering* dilakukan dengan temperatur 900 °C-1400 °C yang kemudian diambil nilai *sinter* terbaik. Sampel A dan sampel B masing-masing di-*sintering* selama 1 jam. Penelitian ini menunjukkan bahwa nilai densitas tertinggi diperoleh pada temperatur *sintering* 1400 °C, namun turun kembali dengan meningkatnya temperatur *sintering*. Hasil penelitiannya menunjukkan

semakin tinggi temperatur *sintering* yang diberikan pada sampel maka akan meningkatkan kepadatan sampel, yang menyebabkan nilai densitas meningkat. Selain itu meningkatkannya temperatur *sintering* menyebabkan meningkatnya kekuatan lentur.

Amin (2009: 3) pada penelitiannya yang berjudul Analisis “Harga *Fracture Toughness* dengan Metode Indentasi Kekerasan *Vickers* pada Keramik Kaolin”. Pada penelitiannya menyimpulkan bahwa peningkatan tekanan kompaksi akan mengakibatkan peningkatan kekerasan kaolin. Peningkatan tekanan kompaksi mengakibatkan porositas dari *green body* akan menurun, demikian juga setelah *disinter*. Meningkatnya temperatur *sintering* akan mengakibatkan kekerasan semakin tinggi, karena akan terjadi ikatan yang kuat antar partikel-partikel tersebut. Pengujian *fracture toughness* pada spesimen dengan tekanan kompaksi 25 MPa dan suhu sinter 1500 °C dengan menggunakan Metode Indentasi Kekerasan *Vickers* diperoleh harga *fracture toughness* sebesar 3,12 MPa.

Dahlia, dkk (2013: 49) pada penelitiannya yang berjudul ”Pengaruh Suhu *Sintering* terhadap Karakteristik Fisis Komposit MgO-SiO₂”. Penelitiannya menyimpulkan bahwa pembuatan komposit dilakukan dengan suhu *sintering* berbeda dari 1000 °C, 1100 °C, 1200 °C dan 1300 °C. Karakteristik sampel dilakukan untuk menentukan densitas, porositas dan kekerasan. Pengukuran densitas menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu *sintering*, densitas semakin meningkat, sedangkan untuk porositas menurun. Kekerasan meningkat, seiring dengan meningkatnya suhu *sintering* sesuai dengan meningkatnya densitas.

Ramlan (2011: 22) pada penelitiannya yang berjudul “Pengaruh Suhu dan Waktu *Sintering* terhadap Sifat Bahan Porselen untuk Bahan Elektrolit Padat (Komponen Elektronik)”. Proses *sintering* dilakukan untuk memperkecil atau menghilangkan pori dalam bahan padat sehingga bahan lebih mampat. Bahan porselen dibuat dari bahan dasar kaolin, feldspar, dan quartz melalui proses reaksi padatan dengan variasi suhu *sintering*, kemudian sifat fisis dan sifat listriknya dikarakterisasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu *sintering* sangat mempengaruhi sifat bahan. Kenaikan suhu *sintering* menunjukkan nilai densitas meningkat antara 2,3 - 2,5 g/cm³, dan porositasnya menurun 7,6 - 0,35%.

Budihartono (2012: 1) pada penelitiannya yang berjudul “Pengaruh *Pressureless Sintering* Komposit Al-Kaolin Terhadap Densitas, Kekerasan dan Struktur Mikro”. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh tekanan kompaksi dan variasi suhu *sinter* komposit Al-Kaolin terhadap kekerasan, densitas, dan struktur mikro. Dalam penelitian ini komposit Al-kaolin dengan variasi penambahan unsur penguat sebesar 0, 5, 10 dan 15 % kaolin. Pembentukan *green body* dengan tekanan kompaksi 550 MPa, dan proses *sinter* pada suhu 500°C, 525°C, 550°C selama 2 jam. Hasil penelitian menunjukkan dengan bertambahnya bertambahnya prosentase kandungan kaolin dan temperatur *sintering* akan meningkatkan densitas dan kekerasan sehingga menurunkan porositas. Kenaikan densitas optimum dicapai sebesar 2,7362 gr/cm³ dan kekerasan tertinggi pada komposisi 15% kaolin rata-rata 54 kg/mm² pada suhu *sinter* 550 °C. Tingkat porositas paling rendah berdasarkan foto struktur mikro didapat pada Al murni (0% kaolin).

Nugroho, dkk (2011: 124) pada penelitiannya tentang proses pembuatan spesimen melalui proses *sintering* dengan variasi temperatur 1200 °C, 1250 °C, 1300 °C, 1350 °C, 1400 °C, dan 1450 °C, dan waktu penahanan 2 jam. Sedangkan laju kenaikan temperatur/heating rate yaitu 100 °C/menit dan laju pendinginan/cooling rate sebesar 200 °C/menit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bentuk dan ukuran butir dengan cara pengayakan/*meshing*, komposisi kimia dari senyawa penyusun refraktori dengan XRD (*X-Ray Diffraction*), densitas dan porositas yang merupakan sifat fisis dari refraktori. Hasil yang diperoleh nilai densitas yaitu 3,04 g/cm³, 3,05g/cm³, 3,07 g/cm³, 3,08 g/cm³, 3,11 g/cm³, 3,12 g/cm³. Hasil untuk porositasnya yaitu sebesar 15,7%, 12,9%, 12,4%, 11,6%, 9,2%, 6,8%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan meningkatnya temperatur *sintering* akan berpengaruh terhadap kenaikan densitas dan menurunkan porositas dari refraktori.

Akbar (2013: 1) pada penelitiannya yang berjudul “Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan *Sintering* Terhadap Kekerasan dan Modulus Elastisitas Mmcs Pb-Sn Menggunakan Proses Metalurgi Serbuk Untuk Aplikasi *Core* Proyektil Peluru”. Proses metalurgi serbuk ini dilakukan dengan variasi temperatur *sintering* 150 °C, 200 °C, dan 250 °C, dan waktu tahan selama 1, 2, dan 3 jam. Komposit Pb-Sn yang *disinter* dengan temperatur 200°C selama 3 jam memiliki densitas *sinter* terbesar yaitu 10,695 g/cm³ dan porositas terkecil yaitu 2,2% dan kekerasan tertinggi yaitu 10,1 HV. Seiring dengan peningkatan temperatur dan waktu tahan *sintering* maka densitas *sinter* akan semakin meningkat. Porositas semakin menurun seiring dengan peningkatan temperatur *sintering*. Sementara

untuk kekerasan semakin tinggi temperatur dan waktu tahan *sintering* maka nilai kekerasannya akan relatif semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi densitas *sinter* maka kepadatan akan semakin tinggi.

Zulfia (2006: 23) pada penelitiannya yang berjudul "Pengaruh Suhu Pemanasan Dan Waktu Tahan terhadap Karakterisasi Material Komposit Logam Al/Sic Hasil Infiltrasi Tanpa Tekanan". Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh waktu tahan dan suhu pemanasan terhadap sifat mekanik komposit. Pada penelitiannya menyimpulkan bahwa lamanya waktu tahan dan meningkatnya suhu pemanasan sehingga menghasilkan sifat mekanis yang lebih baik yaitu nilai densitas dan kekerasan komposit, porositas akan semakin menurun seiring dengan lamanya waktu tahan dan temperatur proses.

Effendi (2004: 5), pada penelitiannya yang berjudul "Analisa Kimia dan Identifikasi Mutu Kaolin Bangka Berdasarkan Syarat Mutu Kaolin Sebagai Bahan Baku Keramik Halus" menyimpulkan bahwa Kaolin merupakan bahan yang berfungsi sebagai bahan pengikat dan memberi kemudahan dalam pembentukan badan keramik pada kondisi mentah. Kaolin merupakan salah satu jenis lempung yang terutama mengandung mineral-mineral golongan kaolinit dalam keadaan kering berwarna putih, atau hampir putih. sebagai bahan baku utama pembuatan barang keramik halus. Dari fungsi tersebut, kegunaan mineral ini cukup penting untuk pembuatan keramik halus.

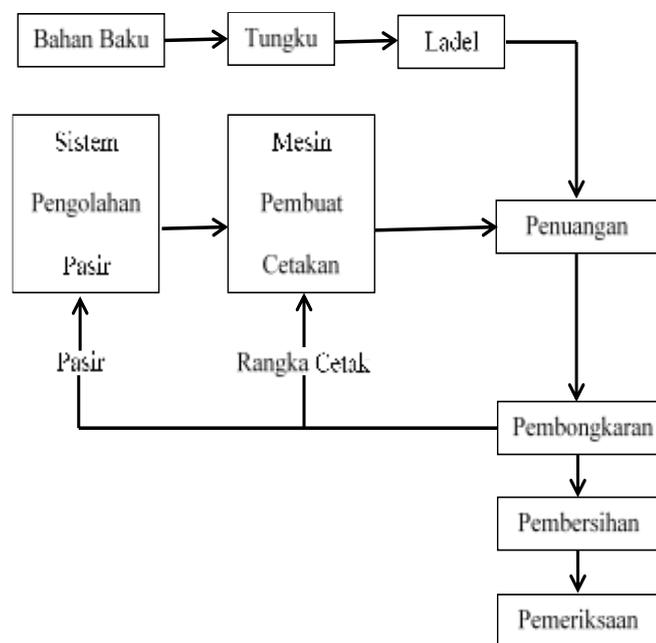
2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengecoran Logam

Proses pengecoran merupakan suatu proses pembentukan suatu material dengan proses peleburan logam yang diletakan pada wadah di dalam tungku peleburan dan dileburkan pada temperatur tertentu yang kemudian hasil peleburan dimasukkan kedalam rongga cetakan yang telah disiapkan (Palagan, 2015: 1). Keunggulan dari proses pengecoran adalah dapat menghasilkan produk dengan bentuk yang sederhana sampai yang rumit dengan berat bervariasi, mulai dari satuan g hingga mencapai ton serta proses *finishing*-nya yang minimum sehingga dapat mengurangi biaya dan waktu proses. Pengecoran banyak digunakan di dunia industri terutama industri otomotif. Pada semua jenis coran, pengecoran pasir adalah metode yang paling banyak digunakan yaitu lebih dari 70% di bidang manufaktur industri dikarenakan harga pasir yang tidak mahal (Shahria, dkk, 2017: 155).

Produk otomotif yang dapat diproduksi dengan metode pengecoran yaitu blok mesin. Proses pengecoran untuk pembentukan blok mesin dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan menggunakan cetakan yang telah disesuaikan dengan ukuran yang diinginkan. Coran dibuat dari logam yang dicairkan yang dipanaskan pada temperatur tertentu, kemudian logam tersebut dituang ke dalam cetakan, dan dibiarkan mendingin dan membeku. Sejarah pengecoran dimulai ketika orang mulai mengetahui bagaimana cara mencairkan logam dan membuat cetakan (Surdia dan Kenji, 1976 :1).

Pada proses pengecoran logam perlu dilakukan proses-proses seperti : pencairan logam, membuat cetakan, menuang, membongkar, dan membersihkan coran. Jenis tungku yang digunakan untuk pengecoran logam bermacam-macam seperti : tungku krusibel, tungku busur listrik, tungku induksi dan lain-lain. Sejarah pengecoran dimulai ketika orang mengetahui bagaimana mencairkan logam dan bagaimana membuat cetakan.



Gambar 2.1 Aliran Proses pada Pembuatan Coran

(Sumber : Surdia dan Kenji, 1976: 3)

Cetakan biasanya dibuat dengan jalan memadatkan pasir. Pasir yang dipakai kadang-kadang pasir alam atau pasir buatan yang mengandung lempung. Cetakan pasir mudah dibuat dan tidak mahal asal dipakai pasir yang cocok. Selain dari cetakan pasir, kadang-kadang dipergunakan cetakan logam. Pada proses penuangan, logam cair dituangkan dengan pengaruh gaya berat. Setelah proses penuangan coran dikeluarkan dari cetakan untuk dibersihkan, bagian-bagian dari

coran yang tidak perlu itu dibuang, dan dibersihkan dengan disemprot atau semacamnya agar memberikan rupa yang baik. Kemudian dilakukan pemeriksaan dengan penglihatan terhadap rupa dan kerusakan, dan dilakukan pemeriksaan dimensi. Disamping itu, berbagai macam pemeriksaan metalurgi dilakukan untuk mencari kerusakan dalam.

Pada saat proses pengecoran dilakukan, logam yang dileburkan akan mengalami penyusutan. Penyusutan ini terjadi pada waktu pendinginan dan pembekuan. Besarnya penyusutan yang terjadi bervariasi bergantung pada jenis logam yang dileburkan. Besar penyusutan sering tidak sesuai, dan tergantung pada beberapa faktor yang lain yaitu bentuk coran, bahan coran, tebalnya coran, ukuran dan kekuatan inti. Menurut Surdia dan Kenji (1976: 52) tambahan penyusutan yang disarankan dapat dilihat berdasarkan tabel berikut :

Tabel 2.1 Tambahan Penyusutan yang Disarankan
(Sumber : Surdia dan Kenji, 1976: 52)

Tambahan Penyusutan	Bahan
8/1.000	Besi cor, baja cor tipis
9/1.000	Besi cor, baja cor tipis yang banyak menyusut
10/1.000	Besi cor, baja cor tipis dan Aluminium
Tambahan Penyusutan	Bahan
12/1.000	Paduan aluminium, <i>brons</i> , baja cor (tebal 5-7 mm)
14/1.000	Kuningan kekuatan tinggi, baja cor
16/1.000	Baja cor (tebal lebih dari 10 mm)
20/1.000	Coran baja yang besar
25/1.000	Coran baja yang besar dan tebal

2.2.2 Kowi (*Crucible*)

Dapur peleburan adalah sebuah peralatan yang digunakan untuk mencairkan logam pada proses pengecoran (*casting*) atau untuk memanaskan bahan dalam proses perlakuan panas (*heat treatment*). Jenis dan klasifikasi dapur peleburan yang saat ini berkembang diantaranya adalah dapur krusibel, dapur kupola, dapur busur listrik, dapur induksi, dapur konverter, dan dapur bessemer (Mubarak, 2013: 128). Paduan *non ferrous* seperti paduan aluminium, paduan tembaga, paduan timah hitam, dan paduan ringan lainnya biasanya dilebur dengan menggunakan dapur peleburan jenis krusibel, sedangkan untuk besi cor menggunakan dapur induksi frekuensi rendah atau kupola. Dapur induksi frekuensi tinggi biasanya digunakan untuk melebur baja dan material tahan temperatur tinggi.

Dapur peleburan yang memiliki bentuk silinder menyerupai gelas atau mangkuk dengan bagian dasar cembung yang digunakan untuk melebur material logam atau non logam disebut dengan kowi. Kowi adalah wadah/tempat yang terbuat dari keramik atau logam yang berbentuk silinder dimana logam atau bahan lainnya dileburkan pada temperatur yang sangat tinggi (Tamara, dkk, 2014: 27). *Crucible* bisa dibedakan menjadi 3 tipe yakni yang dapat diangkat, ditukik, dan tetap. *Crucible* jenis tetap (*stationary pot*) tidak dapat diangkat/dipindahkan sehingga untuk memindahkan logam cairnya harus menggunakan ladel.

Menurut Sari, dkk (2017: 53), *crucible*/kowi yang digunakan untuk peleburan logam *non ferro* seperti aluminium, tembaga, dan timah hitam tidak memerlukan panas yang begitu tinggi, bahan untuk membuat *crucible* berupa grafit, tanah liat, dan juga bahan tahan api (refraktori).



Gambar 2.2 Contoh Kowi

Crucible memiliki beberapa karakteristik yang disajikan seperti kemurnian tinggi, butir halus, kinerja yang baik dari konduktivitas termal, kepadatan tinggi, ketahanan korosi yang baik, ketahanan *thermal shock*, stabilitas *thermal*, kekuatan mekanik yang tinggi, permeabilitas rendah, dan ketahanan oksidasi yang baik. Berdasarkan *American Elements*, secara teori sifat-sifat yang harus dimiliki oleh *crucible* berbahan grafit adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2 Sifat *Crucible Graphite American Elements*

<i>Graphite Crucible Properties (Theoretical)</i>	
<i>Molecular weight</i>	12,01
<i>Appearance</i>	<i>Black solid</i>
<i>Melting point</i>	3652-3697 °C (<i>sublimes</i>)
<i>Boiling point</i>	4200 °C
<i>Density</i>	1,8 g/cm ³
<i>Electronegativity</i>	2,55 <i>Paulings</i>
<i>Heat of Vaporization</i>	128 K-Cal/gm atom pada 4612 °C
<i>Tensile strength</i>	18 MPa (<i>ultimate</i>)
<i>Thermal expansion</i>	4,9 μm/m-K
<i>Young's modulus</i>	21 GPa

(Sumber: *American Elements*)

Pembuatan *crucible* sama dengan pembuatan keramik, yaitu dengan membentuk adonan sesuai desain, *pressing*, dan dilakukan pengeringan dan *finishing*. Berikut adalah spesifikasi *crucible* terbuat dari *graphite* yang diperjualbelikan dalam beberapa kategori :

Tabel 2.3 Spesifikasi *Crucible*

Nama produk	Detail
<i>Graphite crucible for melting aluminium</i>	<i>Compress strength : 30-40 MPa Density : 1,75-1,85 g/cm³ Bending strength : 12,5 MPa</i>
<i>Graphite crucible for melting aluminum for brass</i>	<i>Compress strength : 30-40 MPa Density : 1,75-1,85 g/cm³ Bending strength : 12,5 MPa</i>
<i>Customized refractory graphite crucible for melting metal</i>	<i>Flexural strength : 28-36 MPa Compression strength : 45-62 MPa</i>
<i>Graphite crucibles for non ferrous metal melting applications</i>	<i>Density : 1,75-1,85 g/cm³ Compression strength : 45-62 MPa</i>
<i>Graphite crucible for melting Al high quality</i>	<i>Density : 1,75-1,85 g/cm³ Bending strength : 24-36 MPa Elastic modulus : 45-60 GPa</i>

(Sumber: ozgraphite.en.alibaba.com)

2.2.3 Refraktori

Refraktori merupakan jenis material yang mampu mempertahankan kondisinya baik secara fisik maupun kimia tahan karena temperatur tinggi dan kontak dengan bahan-bahan korosif (Septriana, 2018: 97). Material refraktori digunakan di alam industri temperatur tinggi seperti digunakan untuk *lining* tungku, sebagai bahan pembuatan *crucible* dan sebagainya. Peranan refraktori dalam industri pengecoran logam sangatlah penting. Penggunaan refraktori mempunyai umur yang terbatas akibat pemakaian pada temperatur tinggi yang berlangsung terus menerus. Refraktori biasanya stabil pada lingkungan yang berat. Stabil yang dimaksud adalah refraktori tersebut tidak meleleh, tidak terdeformasi, mempunyai perubahan volume yang sangat kecil (baik perubahan volume terhadap penyusutan ataupun pemuaiian), tahan terhadap perubahan temperatur yang mendadak, dan tahan terhadap korosi.

Refraktori merupakan material kategori metalurgi keramik yang tersusun dari kandungan senyawa logam dan non logam. Selain itu material refraktori juga merupakan material multi-komponen dimana terdapat mineral penting yakni mineral oksida yang sangat tahan terhadap temperature yang tinggi dan bahan pengikat (*binder*). Refraktori yang baik tidak memiliki pori-pori sehingga komposisi fasa dan porositas merupakan faktor yang sangat penting dalam pembuatan produk refraktori. Semakin berkurangnya porositas maka akan meningkatkan kekuatan dan ketahanan refraktori dari korosi serta akan memiliki sifat mekanis dan fisis yang baik. Secara umum refraktori dibagi menjadi dua kategori yaitu refraktori yang berbentuk dan refraktori (monolitik) yang tidak berbentuk (Schacht, 2004: 4). Refraktori monolitik adalah campuran butiran serbuk mineral material refraktori yang kering yang dicampur dengan bahan pengikat baik berupa bahan cair maupun bahan kimia cair lainnya yang digunakan sebagai bahan pengikat, sehingga dari campuran bahan tadi diperoleh campuran yang homogen dan bersifat plastis apabila bercampur dengan air dan digunakan segera setelah proses pencampuran dilakukan. Ada berbagai jenis refraktori monolitik, yaitu plastik, mortar, pelapis, dan *castable*. Berdasarkan jenis komposisi kimianya refraktori dibagi menjadi tiga macam yakni:

- a) *Refractory* asam, contohnya : Silikon dioksida (SiO_2)
- b) *Refractory* basa, contohnya : Magnesium Oksida (MgO)
- c) *Refractory* netral, contohnya : Alumina (Al_2O_3)

Komposisi mineral penyusun yang digunakan dalam refraktori biasanya menggunakan silika, tanah liat (*clay*), *magnesite* dan lainnya. Sifat dan penggunaan

refraktori mempunyai variasi yang luas dan terlalu banyak jenisnya. Pada penggunaannya, diharapkan material refraktori mampu mempertahankan sifatnya seperti tahan terhadap temperatur tinggi, bersifat isolator, tahan terhadap kejutan termal, dan tahan terhadap korosi (Rahmat, 2015: 135).

2.2.4 *Evaporation boats*

Evaporation boats merupakan limbah yang berasal dari PT. 3M Indonesia. Kegunaan dari *Evaporation boats* digunakan sebagai wadah penahan dari pemanas tahanan listrik untuk mencairkan dan menguapkan logam, dan sebagai seaporator dalam pembuatan aluminium foil yang banyak digunakan sebagai kemasan makanan. *Evaporation boats* terbuat dari keramik material komposit yang memiliki konduktifitas elektrik yang baik, kemampuan menguapkan aluminium yang baik dengan masa pemakaian yang lama, nilai kekerasan yang tinggi, tahan terhadap guncangan termal. Menurut 3M, jenis *evaporation boats* yang tersedia menurut fungsinya adalah 3MTM *evaporation boats trimet*, 3MTM *evaporation boats 2C*, 3MTM *evaporation boats lasermet*, 3MTM *evaporation boats 2L*, dan 3MTM *evaporation boats dimet*. Spesifikasi karakteristik *evaporation boats* adalah sebagai berikut :

Tabel 2.4 Tabel Spesifikasi *Evaporation Boats* PT. 3M Jakarta.

Property	2-component
Density, ρ (g/cm ³)	>2,75
Porosity, P (%)	<3
Maximum water uptake (%) at 38 ⁰ C, 90% RH	<1,5
Phase composition	TiB ₂ , BN
Color	Gray
Electrical Properties	
Resistivity at 1600 ⁰ C, R _{si} (10 ⁻⁵ Ω cm)	1300-4800

Mechanical Properties at Room Temperature	
Brinell hardness (HB 2,5/40)	45
Flexural strength, 4-point banding, σ (MPa)	70
Weibull modulus, m (1)	>20
Young's modulus, E (GPa)	55
Fracture toughness, K (MPa \sqrt{m})	1,8
Thermal Properties	
Maximum thermal extension at 20-1600 ⁰ C (%)	<1,2
Coefficient of thermal expansion at 20-1600 ⁰ C, $\alpha 10^{-5}/K$	5,5
Specific heat at 20 ⁰ C, c_p (J/G ⁰ K)	0,68
Thermal conductivity at 20 ⁰ C, λ (W/m ⁰ K)	80

(Sumber : *3MTM Evaporation Boats* dan *3MTM Evaporation Boats 2 Series*)

Evaporation boats merupakan keramik yang terdiri dari senyawa *boron nitride* dan *titanium diboride*. *Boron Nitride* adalah senyawa yang terdiri dari boron dan nitrogen yang memiliki rumus kimia BN. *Boron Nitride* adalah senyawa biner sintesis yang ditemukan pada awal abad ke-19 dan dikembangkan sebagai bahan komersial pada paruh kedua abad ke-20. *Boron nitride* pertama kali ditemukan oleh W. H. Balmain pada tahun 1840-an ahli kimia asal Inggris dengan menggunakan campuran asam borat cair dan kalium sianida. Diperlukan banyak upaya untuk menstabilkan senyawa ini (Ertug, 2013: 33). Bentuk *boron nitride* beragam salah satunya adalah *heksagonal boron nitride* dan *cubic boron nitride* (cBN).

Menurut Pierson (1996: 209), *boron nitride* merupakan kovalen *nitride* bersama dengan aluminium *nitride* dan silikon *nitride*. Sifat boron pada *boron nitride* sebagai kovalen *nitride* adalah bersifat non logam meskipun berada pada golongan III A dalam tabel periodik memiliki massa atom sebesar 10,811, memiliki nomor atom 5, memiliki massa jenisnya 2,34 g/m³, berupa padatan, dan memiliki titik lebur 2300 °C. Sedangkan sifat nitrogen pada *boron nitride* adalah

karakteristik berupa berada pada golongan VA sehingga termasuk logam, memiliki nomor atom 7, memiliki massa atom sebesar 14,0067 g/mol.

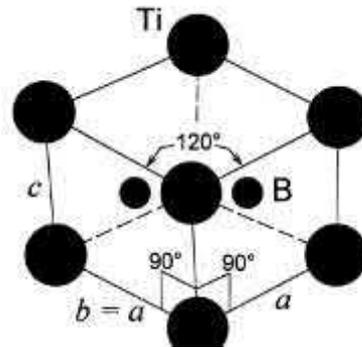
Boron nitride memiliki dua alotrop utama yaitu heksagonal yang mirip dengan grafit dan yang lain struktur kubik yang mirip dengan berlian (Pierson, 1996: 212). *Boron nitride* memiliki dua atom penyusun berupa BN heksagonal (h-BN) dan BN kubik (c-BN). Perbedaan karakteristik (h-BN) dan (c-BN) adalah sebagai berikut :

1. (h-BN), memiliki karakteristik :
 - a. Mirip grafit.
 - b. Memiliki nilai densitas 19.2-29.1 g/cm³.
 - c. Memiliki berat molekul 24.8 16 g/mol.
 - d. Konduktifitas termal 28-33 W/m.K.
 - e. *Spesific heat* 21,96 J/mole. K (atau 0,885 J/g.K).
 - f. Elastisitas modulus young 46,9-73,5 GPa.
 - g. Tahan korosi, tahan terhadap bensin, alkohol, aseton, hidrokarbon, dan pelarut organik lainnya.
 - h. Tidak basah oleh aluminium cair, tembaga, besi, antimon, bismuth, silikon, germanium atau oleh banyak garam dan kaca.
 - i. Memiliki ketahanan yang baik terhadap oksidasi dan, dalam hal ini, jauh lebih unggul dari grafit.
2. (c-BN), memiliki karakteristik seperti :
 - a. Mirip intan.
 - b. Densitas sebesar 3,48 g/cm³.

- c. Konduktivitas termal tinggi sebesar 1300 W/m.K.
- d. *Vickers hardness* 29,89-43,12 GPa.
- e. Elastisitas modulus young 650 GPa.
- f. Tidak bereaksi dengan pembentuk karbida seperti Fe, Co, Ni, Al, Ta, dan B pada sekitar 1000 °C.
- g. Bereaksi dengan aluminium pada 1050 °C dan dengan paduan Fe dan Ni yang mengandung Al di atas 1250 °C.

Menurut Prindl (2015: 8) karakteristik dari senyawa *hexagonal boron nitride* adalah, titik lebur mencapai 2600 °C, memiliki ketahanan korosi terhadap asam dan logam cair, dan memiliki ketahanan kejut termal yang baik. Salah satu aplikasi penggunaan *boron nitride* adalah digunakan untuk perlengkapan tungku temperatur peleburan. Aplikasi *boron nitride* membentuk perkiraan pasar yang berkembang lebih dari \$ 20 juta pada tahun 1994, sebagian besar sebagai bubuk untuk pelumas. Menurut Pierson (1996: 244), menyebutkan beberapa aplikasi BN yaitu:

1. Pelumas, anakan dan pelepasan cetakan padat (bentuk bubuk).
2. Pecah cincin dalam pengecoran baja.
3. Insulator untuk peralatan listrik frekuensi tinggi.
4. Masker untuk litografi *x-ray*.
5. Perangkat keras tungku temperatur tinggi dan pada kapal untuk meleleh pengolahan logam, gelas dan keramik.
6. Bahan pembuatan radar jendela dan antena.
7. *Crucible* untuk penguapan aluminium.



Gambar 2.3 *The hexagonal unit cell of single crystal TiB₂*
(Munro, 2000: 709)

Senyawa *titanium diboride* (TiB₂) yang terkandung pada limbah *evaporation boats* dikenal sebagai bahan keramik dengan kekuatan dan daya tahan yang relatif tinggi ditandai dengan nilai leleh yang relatif tinggi, ditandai dengan nilai yang relatif tinggi, kepadatan, dan resistensi keausan (Munro, 2000: 709). Penggunaan bahan ini tampaknya terbatas pada aplikasi khusus area sebagai pelindung tahan benturan, alat potong, cawan lebur, dan memakai lapisan tahan.

2.2.5 Semen *Castable C-16*

Semen adalah material anorganik yang memiliki sifat hidrolis yaitu material yang dapat mengeras pada pencampuran air atau larutan garam (Surdia, 1992: 331). Semen ini adalah jenis material refraktori dengan kategori monolitik, yaitu material refraktori yang belum terbentuk dan dalam pemakaiannya perlu dilakukan proses pembentukan atau pencampuran bahan lain seperti air bersih terlebih dahulu. Semen *castable* adalah jenis semen cor tahan api yang digunakan sebagai spesialis pemasangan pada *boiler furnace*, *industrial furnace*, *kiln*, *incinerators*, maupun keperluan cor tahan api umum lainnya.



Gambar 2.4 Semen *Castable* C-16
(Sumber : Lee Xon Xeng)

Semen Cor Tahan Api C16/*Castable* TNC-16 atau biasa disebut *Castable* C16. Spesifikasi produk (*product spesification*) *Castable* C-16 :

1. Jenis Produk (*Type Product*) : *Castable* C16.
2. Daya Tahan Temperatur (*Max Service Temperature*) : 1600°C.
3. Berat Jenis (*Bulk Density*) : 2100 – 2200 kg/m³.
4. Campuran Air (*Application Mix Water*) : 12% – 16%.
5. Daya Konduksi Temperatur (*Thermal Conductivity*) : pada 350°C adalah 0,95 W/m.°C.
6. Komposisi Kimia (*Chemical Composition*) : Al₂O₃: > 50%, SiO₂ : < 36%.

2.2.6 Kaolin

Lempung adalah material yang memiliki ukuran diameter partikel lebih kecil dari 2 µm dan dapat ditemukan dekat permukaan bumi. Pada umumnya ada 2 jenis lempung, yaitu:

- a) *Ball clay*, ini digunakan pada keramik putih karena memiliki plastisitas tinggi dengan tegangan patah tinggi serta tidak pernah digunakan sendiri.

Tanah jenis ini disebut tanah liat sedimen, memiliki butir halus dan berwarna abu abu. Titik lelehnya lebih kurang 1800°C. Kaolin digunakan untuk membuat gerabah, porselin dan tegel.

- b) *Fire clay*, jenis tanah ini biasanya berwarna terang ke abu-abu gelap menuju hitam. *Fire clay* diperoleh di alam dalam bentuk bongkahan yang menggumpal dan padat. Tanah jenis ini tahan dibakar pada suhu tinggi tanpa mengubah bentuknya.

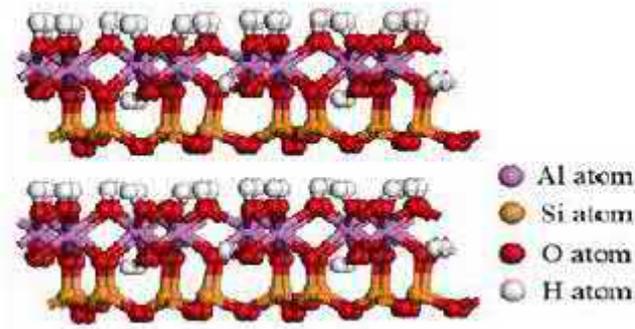
Kaolin merupakan masa batuan yang tersusun dari material lempung. Menurut Widodo (2011, 46), kaolin ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) banyak digunakan untuk *porcelain*, *chinaware*, *furnace lining*, bata tahan api, dan bahan *abrasive*. Komposisi kimia dari kaolin adalah Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 yang mempunyai sifat warna putih sampai agak keputih-putihan (Budihartono, 2012: 5).

Menurut Daud (2015: 41) kaolin memiliki sifat fisik yaitu :

1. Memiliki kekerasan antara 2-2,5 (skala Mohs).
2. Memiliki berat jenis 2,60-2,63 g/cm^3 .
3. Memiliki daya hantar panas dan listrik rendah.
4. Memiliki kadar asam (pH) yang bervariasi.

Kaolin umumnya didominasi oleh SiO_2 dan Al_2O_3 dimana berupa padatan amorf dan berpori serta mempunyai sifat inert, netral, luas permukaannya besar sehingga memiliki sifat daya adsorpsi yang besar (Sari, dkk, 2016: 23). Struktur kristal kaolin terdiri dari pasangan lapisan lembaran silika tetrahedral dan lembaran alumina oktahedral. Masing-masing pasangan dari lembaran tersebut

bergabung melalui atom oksigen secara selang seling menjadi satu kesatuan melalui ikatan hidrogen antara oksigen dari silika dan oksigen hidroksil dari alumina dengan ketebalan tiap lapisan sekitar $0,72 \mu\text{m}$ (Sunardi, dkk, 2011: 59).



Gambar 2.5 Struktur Kaolin
(Sunardi, dkk, 2011: 60)

Menurut Garinas (2009: 121) kaolin merupakan salah satu bahan refraktori yang telah banyak dipakai pada industri karena berdasarkan karakteristiknya kaolin dapat digunakan sebagai bahan baku utama atau penolong di berbagai Industri. Kaolin digunakan sebagai bahan tambahan yang berfungsi sebagai bahan pengisi untuk menambah volume dan meningkatkan kekerasan (kekuatan). Dalam aplikasinya, kaolin sering dijadikan sebagai bahan campuran dalam pembuatan kowi (*crucible*) ataupun bata tahan api.

2.2.7 Tungku Tahanan Listrik

Tanur Listrik adalah perangkat yang digunakan untuk proses perlakuan panas dengan bahan bakar listrik. Penggunaan tanur listrik dalam dunia industri banyak digunakan sebagai peleburan dalam pembuatan keramik, ekstraksi logam dari bijih (*smelting*), kilang minyak, ekstraksi kimia dan proses-proses lain yang memerlukan pemanasan (Khoirudin, 2018: 1). Pemilihan tungku peleburan yang

akan digunakan untuk mencairkan logam harus sesuai dengan bahan baku yang akan dilebur. Tungku tahanan listrik merupakan salah satu alat peleburan logam dimana prosesnya tidak menggunakan sumber panas bahan bakar seperti solar dan semacamnya tetapi menggunakan elemen pemanas. Elemen pemanas mempengaruhi kecepatan tungku dalam mencapai temperatur yang dikehendaki. Elemen pemanas berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi panas. Prinsip kerja elemen pemanas adalah arus listrik yang mengalir pada elemen menjumpai resistensinya, sehingga menghasilkan panas pada elemen. Pada saat tanur listrik dinyalakan dan arus listrik akan mengalir melalui bahan yang memiliki sifat konduktor yang baik, dan energi listrik tersebut sebagian dihamburkan dalam bentuk panas (Meriga, 2018: 42).



Gambar 2.6 Tungku Tahanan listrik FT Unnes

Nikelin Wire atau dalam bahasa Indonesia disebut kawat nikelin, adalah kawat untuk elemen pemanas dengan arus listrik. Berbeda dengan kawat kasa. Kawat ini biasa digunakan untuk elemen pemanas pada alat pemotong karet, stempel warna, alat pemotong plastik, dan *styrofoam*. Kawat nikelin (*Nichrome*)

melebur pada temperatur 1400 °C. Sedangkan temperatur penggunaan maksimal 1200 °C. Ukuran kawat yang digunakan untuk pemanas tungku adalah 1,2 mm.

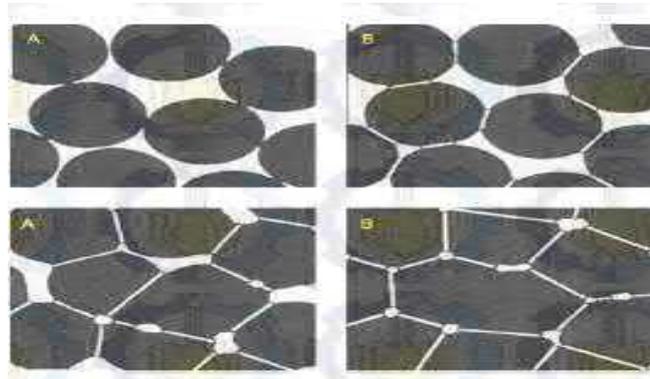
Berbagai keunggulan dari tungku tahanan listrik dari pada tungku bahan bakar fosil yang digunakan untuk mencairkan potongan aluminium adalah hasil peleburan logam yang dihasilkan lebih bersih karena dari tungku bahan bakar fosil karena tidak ada produk pembakaran di lingkungan tungku listrik, sehingga kotoran dari logam yang ikut dilebur jauh lebih sedikit. Selain itu, tungku tahanan listrik dapat mengurangi pencemaran lingkungan yang di hasilkan oleh tungku bahan bakar fosil.

2.2.8 Sintering

Sintering adalah ikatan bersama antar partikel-partikel pada temperatur tinggi yang terjadi di bawah titik leleh yang dilakukan pada temperatur 0,7 – 0,9 dari *melting point* sehingga terjadi peristiwa transportasi atom, yang melibatkan pembentukan fase cair (German, 1994: 242). Selain itu, proses perlakuan panas di mana serbuk atau bahan berpori, dibentuk menjadi bentuk tertentu, dan diubah menjadi padatan disebut sebagai *sintering* (Rahaman, 2007: 1).

Sintering dapat dianggap sebagai proses perubahan partikel, dipadatkan di bawah tekanan dan di pengaruh suhu yang tinggi. Pada dasarnya *sintering* merupakan peristiwa penghilangan pori-pori antara partikel bahan, pada saat yang sama terjadi penyusutan komponen, dan diikuti oleh pertumbuhan *grain* serta peningkatan ikatan antar partikel yang berdekatan, sehingga menghasilkan bahan yang lebih mampat/kompak. Proses *sintering* disebut juga proses densifikasi

sehingga untuk mencapai kepadatan maksimum diperlukan temperatur pemanasan yang mendekati titik cair material.



Gambar 2.7 Perubahan Struktur Mikro Pada Proses *Sintering*

Pada proses *sintering* ada beberapa tahap yaitu :

1. *Point contact*, pada tahap ini partikel-partikel keramik akan saling kontak. Partikel dalam keadaan bebas.
2. *Initial stage*, tahap pembentukan ikatan, dimana partikel semakin lebar.
3. *Intermediate stage*, merupakan tahap pembentukan batas butir.
4. *Final stage*, terjadi pembesaran ukuran butiran sampai menutup pori-pori material dan terjadi penyusutan material sehingga terbentuklah fasa baru.

Proses difusi yang terjadi selama proses *sintering* mengakibatkan terjadinya penyusutan/*shrinkage* partikel yang diiringi pengurangan porositas akibat pergerakan batas butir. Sebagai akibat dari penyusutan tersebut, volume pori yang terjadi selama proses *sintering* berlangsung meningkat, ikatan antara butiran akan menjadi semakin padat dan kuat, sehingga densitas meningkat dengan peningkatan temperatur *sintering* (Nugroho, dkk, 2011: 5-6). Jadi, semakin tinggi temperatur *sintering* mengakibatkan berkurangnya porositas dan semakin besar luasan ikatan permukaan antar partikel.

2.2.9 Pengujian Densitas

Densitas merupakan suatu besaran kerapatan dari suatu material yang didefinisikan sebagai perbandingan massa terhadap volume. Satuan densitas adalah satuan massa per satuan volume, misalnya kg per meter kubik atau g per centimeter kubik (Indiani, 2009 : 84). Terdapat dua jenis densitas yaitu *bulk density* dan *true density* (teoritis). *Bulk density* merupakan densitas dari sampel berdasarkan volume sampel termasuk pori atau rongga. Pengukuran densitas pada sampel menggunakan metode Archimedes.

Pengujian densitas dapat dilakukan dengan menggunakan rumus Archimedes (Sumpena, 2017: 22). Menurut Wilastri, dkk, (2011: 32), persamaan densitas yang digunakan berdasarkan rumus archimedes adalah sebagai berikut:

$$\rho_m = \frac{M_k}{M_k - M_a} \times \rho_{H_2O} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

ρ_m : densitas aktual (g/cm^3)

m_k : massa sampel kering (g)

m_a : massa sampel dalam air (g)

ρ_{H_2O} : massa jenis air = 1 g/cm^3

2.2.10 Pengujian Porositas

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume ruang kosong (rongga pori) yang dimiliki oleh zat padat terhadap jumlah dari volume zat padat itu sendiri (Sumpena, 2017: 22). Pengujian porositas digunakan untuk menentukan ukuran dari ruang kosong diantara material keramik. Pengujian porositas dilakukan dengan menggunakan hukum archimedes “*setiap benda yang*

tercelup sebagian atau seluruhnya ke dalam fluida, akan mengalami gaya ke atas yang besarnya sama dengan berat fluida yang dipindahkannya”.

Porositas suatu bahan pada umumnya dinyatakan sebagai dengan persamaan :

$$\emptyset = \frac{M_b - M_k}{M_b - M_a} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

\emptyset = porosity

M_b = massa basah spesimen

M_k = massa kering spesimen

M_a = massa spesimen dalam air

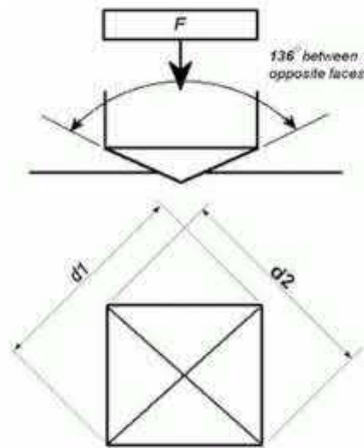
Porositas sebagai nilai kemampatan suatu material, semakin mampat suatu material maka pori-pori benda akan semakin sedikit yang menyebabkan nilai porositasnya kecil. Menurut Nugroho, dkk, (2011: 128), porositas mulai terbentuk saat proses pembentukan bahan dan berasal dari adanya ruang kosong yang terjadi di antara partikel saat kompaksi butir/serbuk pada proses pembuatan material refraktori. Porositas dapat terbentuk selama proses *sintering* akibat difusi atom yang tidak setimbang, gas yang terperangkap pada atmosfer *sintering*, atau penyebaran fasa cair yang meleleh saat *sintering*. Semakin berkurangnya porositas yang terbentuk pada material refraktori, maka densitas material refraktori akan semakin tinggi dan material refraktori semakin padat. Nilai porositas yang besar memudahkan terak/*slag* ke dalam material refraktori, sehingga dapat menyebabkan terlepasnya bagian permukaan dari bahan refraktori yang sehingga material mudah mengalami kerusakan.

2.2.11 Pengujian Kekerasan

Kekerasan adalah kemampuan suatu bahan untuk tahan terhadap indentasi/ penetrasi atau abrasi. Kekerasan merupakan sifat mekanik suatu bahan merupakan sifat mekanik yang penting karena pengujian sifat ini dapat digunakan untuk menguji homogenitas suatu material, selain itu dapat digunakan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik yang lainnya (Sidi, 2012: 399). Ada beberapa metode pengujian kekerasan logam antara lain:

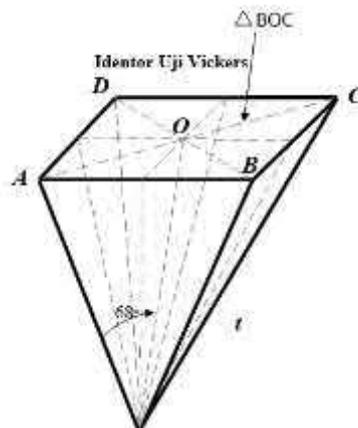
1. Metode pengujian *Brinel*.
2. Metode pengujian *Rockwell*.
3. Metode pengujian *Vickers*.

Pada penelitian ini yang digunakan adalah pengujian kekerasan *micro vickers*. Pengujian *vickers* dilakukan dengan menggunakan alat uji berupa *Microhardness M800*. Pengujian *vickers* menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan yang berhadapan adalah 136° (Setyahandana, 2016: 32). Alat uji ini memiliki variasi beban indenter 5-1000 gf penekanan dengan lama waktu penekanan 10 detik. Panjang diagonal horizontal ditandai dengan d_1 sedangkan diagonal vertikal ditandai dengan d_2 . Kelemahan dari pengujian *vickers* adalah memerlukan waktu yang lama untuk mengetahui nilai kekerasan yang dimiliki material uji, spesimen harus rata dan sejajar, bersih, mengkilap, dan memiliki ketinggian yang sama.



Gambar 2.8 Sudut indenter *Vickers*
(Setyahandana, 2016: 32)

Ketika Indenter menekan permukaan spesimen, Luas dari hasil penekanan setara dengan 4 kali alas segitiga BZC. Maka kita harus mencari alas segitiga BZC yaitu BC dan tinggi segitiga BZC yaitu ZX.

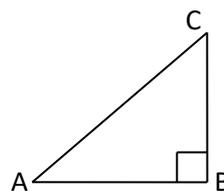


Gambar 2.9 Bentuk Indenter Pengujian *Vickers*

$$\cos 45^\circ = \frac{BC}{AC}$$

$$AB = AC \cos 45^\circ$$

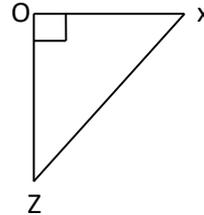
$$= AC \cdot \frac{1}{2} \sqrt{2}$$



$$= \frac{1}{2} d\sqrt{2}$$

Sebelum mencari ZX, kita harus mengetahui nilai Ox :

$$\begin{aligned} Ox &= \frac{1}{2} AB \\ &= \frac{1}{2} \frac{1}{2} d\sqrt{2} \\ &= \frac{1}{4} d\sqrt{2} \end{aligned}$$



Melalui rumus trigonometri, mencari nilai ZX :

$$\begin{aligned} \sin 68^\circ &= \frac{Ox}{Zx} \\ Zx &= \frac{Ox}{\sin 68^\circ} \end{aligned}$$

Maka luas bidang BZC adalah :

$$\begin{aligned} BZC &= \frac{1}{2} Ox BC \\ BZC &= \frac{\frac{1}{2} \frac{1}{4} d\sqrt{2} \frac{1}{2} d\sqrt{2}}{\sin 68^\circ} \\ BZC &= \frac{\frac{1}{8} d^2}{\sin 68^\circ} \end{aligned}$$

Ketika menekan spesimen, luas penampang indenter setara dengan 4x luas bidang BZC, maka :

$$\begin{aligned} A &= 4 BZC \\ A &= 4 \frac{\frac{1}{8} d^2}{\sin 68^\circ} \\ A &= 4 \frac{1}{8} \frac{d^2}{\sin 68^\circ} \\ A &= \frac{1}{2} \frac{d^2}{0,927} \\ A &= \frac{d^2}{1,854} \end{aligned}$$

$$HV = \frac{P}{A}$$

$$HV = \frac{\frac{P}{d^2}}{1,854}$$

$$HV = \frac{1,854 P}{d^2} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

HV = nilai kekerasan *vickers*.

P = beban tumbuk (gf).

d = panjang diagonal penginjakan penetrator (μm).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Temperatur *sintering* dan komposisi material mempengaruhi nilai densitas material *crucible* berbahan *evaporation boats*, semen *castable* dan kaolin. Nilai rata-rata densitas terbaik pada masing-masing komposisi diperoleh pada perlakuan temperatur *sintering* 1100 °C. Nilai rata-rata densitas terendah pada masing-masing komposisi diperoleh pada perlakuan temperatur *sintering* 900 °C. Nilai densitas terbaik pada masing-masing temperatur *sintering* diperoleh pada komposisi 2 (50 % *evaporation boats*, 25% semen *castable*, dan 25% kaolin). Sementara, rata-rata nilai densitas terendah pada masing-masing perlakuan temperatur *sintering* diperoleh pada komposisi 3 (40 % *evaporation boats*, 30% semen *castable*, dan 30% kaolin). Nilai densitas terbaik pada komposisi 2 diperoleh pada temperatur *sintering* 1100 °C sebesar 2,102 g/cm³. Peningkatan temperatur *sintering* dapat meningkatkan nilai densitas. Nilai densitas material akan berbanding terbalik dengan nilai porositasnya. Jika densitas semakin besar, maka porositas akan semakin kecil.
2. Temperatur *sintering* dan komposisi material mempengaruhi nilai porositas material *crucible* berbahan *evaporation boats*, semen *castable* dan kaolin. Nilai rata-rata porositas tertinggi pada masing-masing

komposisi diperoleh pada perlakuan temperatur *sintering* 900 °C. Nilai rata-rata porositas terendah pada masing-masing komposisi diperoleh pada perlakuan temperatur *sintering* 1100 °C. Nilai porositas terendah pada masing-masing temperatur *sintering* diperoleh pada komposisi 2 (50 % *evaporation boats*, 25% semen *castable*, dan 25% kaolin). Sementara, rata-rata nilai porositas tertinggi pada masing-masing perlakuan temperatur *sintering* diperoleh pada komposisi 3 (40 % *evaporation boats*, 30% semen *castable*, dan 30% kaolin). Nilai porositas terbaik pada komposisi 2 diperoleh pada temperatur *sintering* 1100 °C sebesar 2,2 %. Peningkatan temperatur *sintering* dapat menurunkan nilai porositas. Nilai porositas material akan berbanding terbalik dengan nilai densitasnya. Jika porositas semakin besar, maka densitas akan semakin kecil dan sebaliknya.

3. Temperatur *sintering* dan komposisi material mempengaruhi nilai kekerasan material *crucible* berbahan *evaporation boats*, semen *castable* dan kaolin. Nilai rata-rata kekerasan tertinggi pada masing-masing komposisi diperoleh pada perlakuan temperatur *sintering* 1100 °C. Nilai rata-rata kekerasan terendah pada masing-masing komposisi diperoleh pada perlakuan temperatur *sintering* 900 °C. Nilai kekerasan tertinggi pada masing-masing temperatur *sintering* diperoleh pada komposisi 2 (50 % *evaporation boats*, 25% semen *castable*, dan 25% kaolin). Sementara, rata-rata nilai kekerasan terendah pada masing-masing perlakuan temperatur *sintering* diperoleh pada komposisi 3 (40 % *evaporation boats*,

30% semen *castable*, dan 30% kaolin). Nilai kekerasan terbaik pada komposisi 2 diperoleh pada temperatur *sintering* 1100 °C yang memiliki nilai HVN sebesar 0,07 $gf/\mu m^2$. Jika temperatur *sintering* yang digunakan semakin tinggi, maka nilai kekerasan *vickers* akan semakin tinggi juga.

5.2 Saran

1. Untuk menghasilkan nilai densitas terbaik dalam proses pembuatan material *crucible* berbahan *evaporation boats*, semen *castable*, dan kaolin maka dalam penyinterannya dapat menggunakan temperatur *sintering* 1100 °C dengan komposisi 2 yaitu 50 % *evaporation boats*, 25% semen *castable*, dan 25% kaolin.
2. Untuk menghasilkan nilai porositas terbaik dalam proses pembuatan material *crucible* berbahan *evaporation boats*, semen *castable*, dan kaolin maka dalam penyinterannya dapat menggunakan temperatur *sintering* 1100 °C dengan komposisi 2 yaitu 50 % *evaporation boats*, 25% semen *castable*, dan 25% kaolin.
3. Untuk menghasilkan nilai kekerasan *vickers* terbaik dalam proses pembuatan refraktori berbahan *evaporation boats*, semen *castable*, dan kaolin maka dalam penyinterannya dapat menggunakan temperatur *sintering* 1100 °C dengan komposisi 2 yaitu 50 % *evaporation boats*, 25% semen *castable*, dan 25% kaolin.
4. Perlu adanya penelitian lain tentang temperatur *sintering* yang lebih tinggi maupun lebih rendah dari penelitian ini, agar diketahui grafik hasil penelitiannya secara lengkap.

5. Perlu adanya penelitian lain tentang bahan yang lebih bagus dari penelitian ini, agar didapatkan nilai densitas, porositas, dan kekerasan yang terbaik untuk membuat material refraktori.
6. Disarankan melakukan penelitian lanjutan pada komposisi material ini untuk mengetahui sifat material yang lain seperti, ukuran partikel, kekuatan *bending*, kekuatan *impact*, dan konduktivitas termal.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, T., dan Widyastuti. 2013. Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Sintering Terhadap Kekerasan dan Modulus Elastisitas Mmcs Pb-Sn Menggunakan Proses Metalurgi Serbuk Untuk Aplikasi Core Proyektil Peluru. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(1): 1-6.
- Akhyar, A. 2014. Perancangan dan Pembuatan Tungku Peleburan Logam Dengan Pemanfaatan Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar. *Prosiding Semnastek*, 1(1): 1-6.
- Amin, M. 2009. Analisis Harga Fracture Toughness Dengan Metode Indentasi Kekerasan Vickers Pada Keramik Kaolin. *Trak Si*, 9(1): 1-6.
- Bernard, S., dan P. Miele. 2014. Polymer-derived evaporation boats: a review on the chemistry, shaping and ceramic conversion of borazine derivatives. *Materials*, 7(11): 7436-7459.
- Budihartono, S. B. 2012. Pengaruh Pressureless Sintering Terhadap Fracture Toughness Komposit Kaolin-Zirconia. *Trak Si*, 12(2):16-27.
- Chen, C. Y., dan W. H. Tuan. 2001. The processing of kaolin powder compact. *Ceramics International*, 27(7): 795-800.
- Dahlia, Dian, S. Sembiring, dan W. Simanjuntak. 2013. Pengaruh Temperatur Sintering terhadap Karakteristik Fisis Komposit MgO-SiO₂ Berbasis Silika Sekam Padi. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 1(1): 3-4.
- Daud, D. 2015. Kaolin sebagai bahan pengisi pada pembuatan kompon karet: pengaruh ukuran dan jumlah terhadap sifat mekanik-fisik. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 26(1): 41-48.
- Djaja, S.D.S., dan Hafied. 2008. Peleburan Besi dan Baja di dalam Tungku Listrik Induksi Tanpa Inti. *Jurnal Riset Industri*, 2(2): 76-90.
- Effendi, M.D, dan UPT-PSTKP Bali. 2004. Analisa Kimia Kimia dan Identifikasi Mutu Kaolin Bangka Berdasarkan Syarat Mutu Kaolin Sebagai Bahan Baku Keramik Halus (SII.0654-82). Laporan Teknis Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Unit Pelaksana Teknis Pengembangan Seni dan Teknologi Keramik dan Porselin Bali, Deputi Bidang Teknologi Informasi, Energi, Material dan Lingkungan. Bali. Juni 2004.
- Elements, A. 2020. *Graphite crucibles Properties (Theoretical)*. <https://www.americanelements.com/graphite-crucibles-7782-42-5>. 26 Desember 2019 (21:27).
- Ertug, B. 2013. Powder Preparation, Properties And Industrial Applications Of Hexagonal Evaporation boats. In *Sintering Applications*. Intech Open.
- Garinas, W. 2012. Karakteristik bahan baku kaolin untuk bahan pembuatan badan isolator listrik keramik porselen fuse cut out (fco). *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 11(2): 120-125.

- German, R. M. 1994. *Powder Metallurgy Science*. 2nd ed. U.S.A.: Metal Powder Industries Federation.
- Handono, S. D. 2015. Pengaruh Temperatur Peleburan Pada Pengecororan Logam Paduan Al-Si Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro. *Turbo: Jurnal Prog Studi Teknik Mesin*, 4(2): 91-94.
- Indiani, E., dan N. A. K. Umiati. 2009. Keramik porselen berbasis feldspar sebagai bahan isolator listrik. *Telkomnika*, 7(2): 83-92.
- ISO 5016: 1997. 1997. *Indian Standard Methods Of Sampling And Physical Tests For Refractory Materials Part 12 Method For Determination Of Bulk Density And True Porosity Of Shaped Insulating Refractory Products. Second Revision*.
- Khoirudin, K. 2018. Optimasi Desain Pada Dinding Furnace Dengan Temperatur Kerja 1000 °C. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 3(1): 1-8.
- Meriga, V. S. B., A. D. Boyina, dan C. Vandana. 2018. Design and fabrication of low-cost electrical resistance based metal melting furnace for casting applications. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*.
- Mubarak, A. Z. 2013. Perancangan dan Pembuatan Dapur Peleburan Logam dengan Menggunakan Bahan Bakar Gas (LPG). *Jurnal Teknik Mesin Unsyiah*, 1(3): 128-132.
- Munro, R. G. 2000. *Material Properties of Titanium Diboride*. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 105(5): 709-720.
- Nasir, M., E. P. Saputro, dan S. Handayani. 2015. Manajemen Pengelolaan Limbah Industri. *Benefit: Jurnal Manajemen dan Bisnis*, 19(2): 143-149.
- Nugroho, dan Y. Umardhani. 2011. Karakterisasi Material *Refractory* Basa Berbahan Dasar Magnesia (MgO) Guna *Lining* Tungku Induksi Pengecoran Baja di PT X Klaten. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2*. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang. Semarang.
- Nurzal, N. 2013. Pengaruh Komposisi *Fly Ash* Dan Suhu *Sinter* Terhadap Densitas Pada *Manufacture* Keramik Lantai. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, 2(2): 35-40.
- Palagan, F. F. K. 2015. Pengaruh Model Sistem Saluran Pada Proses Pengecoran Logam Al-Si Dengan Penggunaan 15% Lumpur Porong, Sidoarjo Sebagai Pengikat Pasir Cetak Terhadap Cacat Cor Fluiditas Dan Kekerasan Cor. *Jurnal Teknik Mesin*, 23(2): 1-11.
- Pierson, H.O. 1996. *Handbook of Refractory Carbides and Nitrides*. United states: Noyes Publication.

- Prindl, J. J. 2015. Enhancing Thermal Conductivity of Hexagonal Evaporation boats Filled Thermoplastics for Thermal Interface Management.
- Rahaman, 2007. *Sintering of Ceramics*. CRC press.
- Rahmat, M. R. 2015. Perancangan dan Pembuatan Tungku Heat Treatment. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 3(2): 133-148.
- Ramlan, R., dan A. A. Bama. 2011. Pengaruh suhu dan waktu sintering terhadap sifat bahan porselen untuk bahan elektrolit padat (komponen elektronik). *Jurnal Penelitian Sains*, 14(3): 22-25.
- Sari, A. L., dan Rusiyanto, R. 2019. Pengaruh Thermal Shock Resistance dan Komposisi Bahan Refraktori Terhadap Kekuatan Impact dan Struktur Makro. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 4(2): 105-110.
- Sari, D. R., Rusiyanto, R. D. Widodo, dan Pramono. 2017. Pengaruh *thermal shock resistance* terhadap makro struktur dan ketahanan *impact* kowi pelebur (crucible) berbahan komposit abu sekam padi/grafit/kaolin. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 9(1): 53-59.
- Sari, T. I., Muhsin, dan H. Wijayanti. 2016. Pengaruh Metode Aktivasi Pada Kemampuan Kaolin Sebagai Adsorben Besi (Fe) Air Sumur Garuda. *Konversi*, 5(2): 20-25.
- Schacht, C. 2004. *Refractories handbook*. CRC Press.
- Septriana, A., Azhar, dan W. Astuti. 2018. Daur Ulang Refraktori Bekas Kiln dan Fly Ash Batubara dengan Variasi Tekanan Greenbody [Recycling of Used Refractory of Kiln and Coal Fly Ash by Various of Greenbody Pressure]. *Metalurgi*, 32(3): 97-104.
- Setiawan, H. 2014. Pengujian Kekerasan dan Komposisi Kimia Produk Cor Propeler Aluminium. *Prosiding SNST Fakultas Teknik*.
- Setyahandana, B., dan Y. E. Christianto. 2018. Pengaruh Hard Chrome Plating pada Peningkatan Kekerasan Baja Komponen Kincir. *Media Teknika*, 12(1): 26-35.
- Shahria, S., Tariquzzaman, H. Rahman, Al. Amin, dan A. Rahman. 2017. Optimization of molding sand composition for casting Al alloy. *International Journal of Mechanical Engineering and Applications*, 5(3): 155-161.
- Siagian, S. J., I. K. G. Sugita dan C. I. P. K. Kencanawati. 2017. Pengaruh Permeabilitas Cetakan Pasir Dan Penambahan Silikon (Si) Pada Proses Pengecoran Terhadap Kekerasan, Porositas Dan Struktur Mikro Aluminium Silikon (Al-Si). *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika*, 6(4): 305-310.

- Sidi, P., dan M. T. Wahyudi. 2012. Analisis Kekerasan Pada Pipa Yang Dibengkokkan Akibat Pemanasan. *Rekayasa Mesin*, 3(3): 398-403.
- Sofyan T. Bondan. 2011. *Material Teknik*. Jakarta: Salemba Teknik.
- Sudjana, 2005. *Metoda Statistika*. Bandung: Tarsito.
- Sugiyono. 2010. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif & R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sumpena. 2017. Pengaruh Paduan Serbuk Fe12% pada Aluminium terhadap Porositas dan Struktur Mikro dengan Metode *Gravity Casting*. *Jurnal Engine*, 1(1): 20-25.
- Sunardi, U. Irawati dan T. Wianto. 2011. Karakterisasi Kaolin Lokal Kalimantan Selatan Hasil Kalsinasi, 8(1): 59-65.
- Surdia dan Kenji. 1976. Teknik Pengecoran Logam. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Surdia dan Saito. 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Tamara, P., P. I. Gultom, dan S. A. Sari. 2014. Pengembangan Kowi Untuk Peleburan Limbah Kaca Dengan Metode Qfd. *Jurnal Karya Dosen Itn Malang*, 4(2): 25-30.
- Widodo, R. D., dan Rusiyanto. 2011. Pengaruh Komposisi Kaolin Terhadap Densitas Dan Kekuatan Bending Pada Komposit Fly Ash-Kaolin. *Saintekno: Jurnal Sains dan Teknologi*, 9(1): 45-50.
- Wilastri, S., A.P. Bayuseno, dan S. Nugroho. 2011. Pengaruh Variasi Kecepatan Putar dalam Metode *Stir Casting* Terhadap Densitas dan Porositas Al-SiC Untuk Aplikasi Blok Rem Kereta Api. *Jurnal Momentum*, 7(2): 31-35.
- Winarno, Joko. 2015. Rancang Bangun Dapur Pelebur Aluminium Berbahan Bakar Padat Yang Lebih Hemat Energi dan Lebih Ramah Lingkungan. Yogyakarta. *Jurnal Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Janabrada yogyakarta*: vol. 11: 41-48.
- Zhengnai, Z. 2019. Graphite crucible. <https://www.refractoryindustry.com>. 26 Desember 2019 (21:21).
- Zulfia, A., dan M. Ariati. 2006. Pengaruh Suhu Pemanasan dan Waktu Tahan Terhadap Karakterisasi Material Komposit Logam Al/SiC Hasil Infiltrasi Tanpa Tekanan. *Makara, Teknologi*, 10(1): 18-23.