



**PENGARUH LAJU PEMANASAN TERHADAP NILAI
KEKERASAN, POROSITAS, DAN DENSITAS
MATERIAL *CRUCIBLE* BERBAHAN *EVAPORATION*
BOATS, GRAFIT, DAN KAOLIN**

Skripsi

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

Oleh

Ristiana

NIM.5201415040

**PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

2019

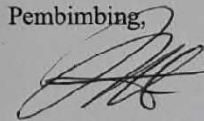
PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Ristiana
NIM : 5201415040
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin
Judul : Pengaruh Laju Pemanasan Terhadap Nilai Kekerasan,
Porositas, dan Densitas Material *Crucible* Berbahan
Evaporation Boats, Grafit, dan Kaolin

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

Semarang, **31** Juli 2019

Pembimbing,



Drs. Sunyoto, M.Si.

NIP. 196511051991021001

PENGESAHAN

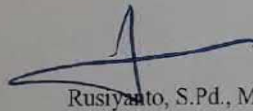
Skripsi dengan judul Pengaruh Laju Pemanasan Terhadap Nilai Kekerasan, Porositas, dan Densitas Material *Crucible* Berbahan *Evaporation Boats*, Grafit, dan Kaolin telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 12 bulan Agustus tahun 2019

Oleh

Nama : Ristiana
NIM : 5201415040
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Panitia:

Ketua



Rusiyanto, S.Pd., M.T.

NIP. 197403211999031002

Sekretaris



Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., ST., MT

NIP. 196901061994031003

Penguji 1



Rusiyanto, S.Pd., M.T.

NIP. 197403211999031002

Penguji 2



Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo ST, MT, IPP.

NIP. 197509272006041002

Pembimbing



Drs. Sunyoto M.Si.

NIP. 196511051991021001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Drs. 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, 31 Juli 2019

Yang membuat pernyataan,



Ristiana

NIM.5201415040

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Never wish life were easier, Wish that you're better (Jim Rohn)

Ketika kamu merasa jatuh maka bangkitlah, ketika kamu merasa bangkit maka bersujudlah (Ima Madaniah)

Persembahan

Untuk Bapak Sarmin, Ibu Sumini, dan kakak 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

Ristiana. 2019. Pengaruh Laju Pemanasan Terhadap Nilai Kekerasan, Porositas, dan Densitas Material *Crucible* Berbahan *Evaporation Boats*, Grafit, dan Kaolin. Pembimbing: Drs. Sunyoto M.Si. Skripsi. Program Studi Pendidikan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang.

Evaporation boats merupakan limbah yang tidak dapat busuk, terdiri atas *Boron Nitride* (BN) dan *Titanium Diboride* (TiB_2). Bahan refraktori yang biasa digunakan untuk *crucible* adalah refraktori asam, basa, dan netral sehingga perlu penelitian terhadap *evaporation boats*, karena BN murni mahal. Pengujian dilakukan dengan memberikan *treatment* laju pemanasan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh laju pemanasan terhadap nilai kekerasan, porositas, dan densitas *crucible* berbahan *evaporation boats*, grafit, dan kaolin.

Penelitian menggunakan metode eksperimen, yaitu melakukan percobaan kemudian dilakukan pengujian menggunakan *Microhardness Tester* M800 dan neraca digital. Material yang digunakan berupa *evaporation boats* (45%), kaolin (35%), grafit (20%), dan dicampur 15% air dari massa keseluruhan serbuk bahan sebelum dicetak. Variabel bebas penelitian ini adalah laju pemanasan $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$, $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$, dan $8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Variabel terikat yang digunakan berupa kekerasan, porositas, dan densitas. Variabel kontrolnya adalah komposisi bahan, proses pembuatan, pembebanan, temperatur *sintering*, 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 kekerasan, porositas, dan densitas dipengaruhi oleh laju pemanasan. Nilai kekerasan tertinggi pada laju pemanasan $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ sebesar 0,312 sedangkan laju pemanasan $8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ sebesar 0,165. Nilai porositas pada laju pemanasan $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ menghasilkan porositas yang rendah (37%) sedangkan laju pemanasan $8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ menghasilkan porositas yang tinggi (57%), nilai tersebut masih dibawah indeks *crucible* pasaran. Nilai densitas pada laju pemanasan $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ diperoleh rata-rata sebesar $2,00\text{ g}/\text{cm}^3$, sedangkan laju pemanasan $8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ sebesar $1,88\text{ g}/\text{cm}^3$, nilai ini telah berada diatas indeks *crucible* di pasaran.

Kata kunci: Nilai Kekerasan, Porositas, Densitas, Laju Pemanasan, *Evaporation Boats*

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul Pengaruh Laju Pemanasan Terhadap Nilai Kekerasan, Porositas, dan Densitas Material *Crucible* Berbahan *Evaporation Boats*, grafit, dan Kaolin. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat Nya di hari akhir nanti, amin.

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, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, MT, Dekan Fakultas Teknik, Rusiyanto, S.Pd., M. T., Ketua Jurusan Teknik Mesin, atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Drs. Sunyoto, M.Si., Pembimbing yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya ini.
4. Dr. Rahmat Doni Widodo S.T., M.T. dan Rusiyanto, S.Pd., M. T., Penguji I dan II yang telah memberikan masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas skripsi ini.
5. Semua dosen jurusan Teknik Mesin FT UNNES dan berbagai pihak yang telah memberikan bantuan dan bekal pengetahuan yang berharga.

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

Semarang, Juli 2019

Ristiana
NIM.5201415040

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN BERLOGO	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	Error! Bookmark not defined.
PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	5
1.4 Rumusan Masalah	6
1.5 Tujuan	6
1.6 Manfaat Penelitian	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	8
2.1 Kajian Pustaka	8
2.2 Landasan Teori.....	13
2.2.1 Pengecoran Logam	13
2.2.2 Tanur/Dapur	15
2.2.3 <i>Crucible</i>	20
2.2.4 <i>Boron Nitride dan Evaporation Boats</i>	24
2.2.5 Kaolin	30
2.2.6 Grafit.....	33
2.2.7 Laju Pemanasan dan <i>Sintering</i>	34

2.2.8 Pengujian.....	35
2.3 Kerangka Berfikir	42
2.4 Hipotesis	43
BAB III METODE PENELITIAN.....	44
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	44
3.2 Desain Penelitian	44
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	48
3.4 Parameter Penelitian	56
3.5 Prosedur Penelitian	58
3.6 Teknik Pengumpulan Data.....	62
3.7 Kalibrasi Instrumen.....	63
3.8 Teknis Analisis Data	64
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	66
4.1 Hasil Penelitian	66
4.1.1 Pengujian XRD.....	66
4.1.2 Pengujian Kekerasan.....	67
4.1.3 Pengujian Porositas	71
4.1.4 Pengujian Densitas	74
4.2 Pembahasan Penelitian.....	77
4.2.1 Nilai Kekerasan Material <i>Crucible</i> Berbahan <i>Evaporation Boats</i> , Grafit, dan Kaolin.....	77
4.2.2 Nilai Porositas Material <i>Crucible</i> Berbahan <i>Evaporation Boats</i> , Grafit, dan Kaolin.....	79
4.2.3 Nilai Densitas Material <i>Crucible</i> Berbahan <i>Evaporation Boats</i> , Grafit, dan Kaolin.....	81
BAB V PENUTUP.....	84
5.1 Kesimpulan	84
5.2 Saran	85
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	91

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Aluminium (>99,0)	21
Tabel 2.2 Spesifikasi <i>Crucible</i>	22
Tabel 2.3 Sifat <i>Crucible Graphite American Element</i>	23
Tabel 2.4 Sifat <i>Crucible Graphite Nissin Refratech co.ltd</i>	23
Tabel 2.5 Jenis <i>Evaporation Boats</i>	29
Tabel 2.6 Sifat Fisis <i>Evaporation Boats</i>	30
Tabel 3.1 Jumlah Spesimen	59
Tabel 3.2 Data Penelitian	64
Tabel 4.1 Hasil Pengujian XRD	67
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Kekerasan Menggunakan <i>Micro Hardness</i> <i>Vickers</i> pada Laju Pemanasan 2 ⁰ C/menit	68
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Kekerasan Menggunakan <i>Micro Hardness</i> <i>Vickers</i> pada Laju Pemanasan 5 ⁰ C/menit	69
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kekerasan Menggunakan <i>Micro Hardness</i> <i>Vickers</i> pada Laju Pemanasan 8 ⁰ C/menit	69
Tabel 4.5 Data Pengukuran Massa Spesimen didalam Air	72
Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Porositas	73
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Densitas	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tanur Induksi	16
Gambar 2.2 <i>Crucible</i>	21
Gambar 2.3 Prinsip pengujian kekerasan <i>Vickers</i>	36
Gambar 3.1 Desain Penelitian	45
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	47
Gambar 3.3 Ayakan Mesh 80	48
Gambar 3.4 Cetakan Spesimen Porositas dan Densitas	48
Gambar 3.5 Cetakan Spesimen Pengujian Kekerasan	49
Gambar 3.6 <i>Microhardness</i> M800	49
Gambar 3.7 <i>Furnace</i>	50
Gambar 3.8 Neraca Digital	50
Gambar 3.9 Mesin <i>Press</i>	51
Gambar 3.10 Roll Plat	51
Gambar 3.11 <i>Vernier Caliper</i>	52
Gambar 3.12 <i>Stopwatch</i>	52
Gambar 3.13 Plastik Klip	53
Gambar 3.14 Amplas	53
Gambar 3.15 <i>PANalytical X'Pert³ Powder</i>	54
Gambar 3.16 <i>Evaporation Boats</i>	54
Gambar 3.17 Grafit	55
Gambar 3.18 Kaolin	55
Gambar 3.19 Air	56

Gambar 3.20 Spesimen Uji Kekerasan	60
Gambar 3.21 Spesimen Uji Porositas	61
Gambar 3.22 Spesimen Uji Densitas	62
Gambar 4.1 Hasil Pengujian XRD	66
Gambar 4.2 Pengujian Kekerasan <i>Micro Vickers</i>	70
Gambar 4.3 Hasil Pengujian Kekerasan <i>Micro Vickers</i>	71
Gambar 4.4 Pengujian Porositas	73
Gambar 4.5 Hasil Pengujian Porositas	74
Gambar 4.6 Pengujian Densitas	76
Gambar 4.7 Hasil Pengujian Densitas	76
Gambar 4.8 Spesimen Uji Kekerasan 2 °C/menit	78
Gambar 4.9 Spesimen Uji Kekerasan 5 °C/menit	79
Gambar 4.10 Spesimen Uji Kekerasan 8 °C/menit	79
Gambar 4.11 Spesimen porositas dan densitas setelah di <i>threatment</i> 2 °C/menit	82
Gambar 4.12 Spesimen porositas dan densitas setelah di <i>threatment</i> 5 °C/menit	82
Gambar 4.13 Spesimen porositas dan densitas setelah di <i>threatment</i> 8 °C/menit	82

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Usulan Topik Skripsi	92
Lampiran 2. Penetapan Dosen Pembimbing	93
Lampiran 3. Surat Tugas Pembimbing	94
Lampiran 4. Persetujuan Seminar Proposal	95
Lampiran 5. Berita Acara Seminar Proposal	96
Lampiran 6. Presensi Seminar Proposal	97
Lampiran 7. Lembar Selesai Revisi Proposal Skripsi	98
Lampiran 8. Hasil Pengujian XRD Material <i>Evaporation Boats</i>	99
Lampiran 9. Surat Keterangan Pengujian	102
Lampiran 10. Hasil Pengujian Porositas dan Densitas	103
Lampiran 11. Perhitungan Hasil Pengujian	104
Lampiran 12. Dokumentasi Penelitian	105
Lampiran 13. Surat Keterangan Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i>	109

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengecoran merupakan proses manufaktur untuk menghasilkan suatu produk dengan cara melebur logam (baik *ferro* maupun non *ferro*) kemudian dituangkan kedalam cetakan dan didinginkan agar menjadi bentuk sesuai pola. Menurut Surdia dan Chijjiwa (2000: 1), pengecoran kira-kira terjadi pada tahun 4000 SM, sedangkan tahun yang tepat tidak diketahui oleh manusia. Tahun permulaan pengecoran tidak diketahui manusia secara pasti karena penemuan barang hasil coran berupa perhiasan, peralatan rumah tangga, dan senjata ditemukan melalui penggalian bersamaan dengan fosil manusia jaman purba berdasarkan kedalaman lapisan tanah. Manusia menggunakan senjata dan perhiasan sudah ada sejak manusia hidup dan memiliki naluri untuk mencari makan. Pengecoran merupakan teknik manufaktur yang sangat tua namun masih berguna dan berkembang hingga saat ini. Teknik pengecoran dibedakan menjadi dua yakni teknik pengecoran tradisional dan modern.

Menurut Istana, dkk (2017: 167) tungku yang banyak digunakan dalam industri pengecoran adalah tungku jenis kupola, tungku busur listrik, tungku induksi, dan tungku *crucible*. Tungku/tanur induksi disebut juga sebagai *induction furnace* (IF) merupakan tanur yang dalam memanaskan logam hingga mencapai titik leburnya memanfaatkan prinsip induksi. Tungku induksi memiliki banyak kelebihan jika dibandingkan dengan ketiga jenis tanur lainnya. Menurut Djaja dan Hafied (2008: 77), pengembangan tentang tanur induksi di industri nasional masih terbatas. Tanur induksi memiliki kelebihan yang dapat dimanfaatkan untuk memperkecil biaya produksi. Pengembangan berbagai hal yang

berkaitan dengan tanur induksi perlu dilakukan agar memberikan manfaat lebih dalam dunia pengecoran. Menurut Djaja dan Hafied (2008: 77), produktivitas tuangan *ferro* mancanegara mencapai diatas 120 ton umumnya diatas 60 ton tuangan/orang/tahun. Pada dekade tahun 1980-an produktifitas besi tuang nasional berjumlah 7,5 ton sampai 25,0 ton. Pencapaian ini menunjukkan bahwa produksi pengecoran Indonesia masih rendah dan perlu ditingkatkan dengan cara memperkecil biaya produksi, menggunakan teknik dan proses pengecoran yang lebih efektif, serta inovasi alat yang dapat meningkatkan mutu hasil coran dan percepatan pengecoran.

Tanur induksi memiliki banyak kelebihan jika dibandingkan dengan tanur kupola yaitu mudah dalam mengendalikan peningkatan dan penurunan temperatur, dengan konstruksi yang dimiliki oleh tanur induksi menjadikan hasil peleburan menjadi lebih bersih, dan dapat digunakan untuk melebur berbagai jenis material seperti logam *ferro* dan non *ferro*. Kelebihan ini cukup memberikan alasan mengapa tanur induksi lebih baik digunakan daripada kupola dalam beberapa situasi, meski suplai energi listrik yang dibutuhkan cukup besar. Berbagai komponen tanur induksi perlu ditingkatkan kualitasnya agar mencapai hasil peleburan yang maksimal melalui penelitian. *Crucible* sebagai salah satu komponen tanur, merupakan tempat pencairan logam dibuat dari bahan refraktori yang bersifat asam, basa, dan netral. Menurut Djaja dan Hafied (2008: 82), konduktivitas *thermal* refraktori asam lebih rendah dibandingkan refraktori basa, sehingga panas hilang akibat konduksinya lebih kecil. Ketahanan *lining* netral terhadap terak yang mengandung FeO tidak sebaik *lining* basa. Kebalikan dari silika, magnesia (*lining* basa) 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. Refraktori jenis basa lebih banyak digunakan karena kekebalannya terhadap reaksi kimia. Meskipun pada penelitian tersebut disebutkan sebagai *lining*, namun *crucible* memiliki peran yang sama pentingnya karena berhubungan langsung dengan logam yang akan dicairkan. Oleh sebab itu, dalam penelitian kali ini dilakukan percobaan untuk membuat *crucible* berbahan refraktori spesial berupa limbah *evaporation boats* yang mengandung *boron nitride* dengan campuran grafit, kaolin, dan air. Ketiga jenis refraktori basa, asam, dan netral memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, diharapkan refraktori spesial berupa limbah *evaporation boats* ini memberikan keuntungan dalam peleburan logam sehingga menghasilkan logam cair dengan kualitas yang baik.

Limbah *evaporation boats* merupakan bahan bekas untuk membuat *aluminium foil* yang sisanya dapat mencemari lingkungan. Jika limbah ini setiap harinya semakin bertambah tanpa adanya pemanfaatan maka akan mempengaruhi dan mencemari lingkungan karena *evaporation boats* tidak dapat busuk. Perlu dilakukan eksperimen untuk mengetahui manfaatnya dan sebagai langkah konservasi lingkungan untuk mencegah terjadinya kerusakan lingkungan dimasa yang akan datang.

Boron nitride merupakan bahan keramik khusus jenis refraktori spesial yang memiliki karakteristik berupa titik didih sampai dengan 3000 °C yaitu sebesar 2700 °C, tahan terhadap *thermal shock*, tahan temperatur tinggi dan lelehan logam maupun kaca, getas, isolator listrik yang baik, daya tahan kimia yang baik dan tidak basah ketika terkena lelehan logam atau garam, tahan korosi untuk waktu yang lama, insulator panas (kemampuan materi yang dapat mencegah penghantaran panas/memperkecil perpindahan energi panas). Menurut Surdia dan Saito (1999: 371), bahan ini merupakan isolator listrik

dan disebut grafit putih serta memiliki sifat mekanik serupa dengan grafit. Grafit merupakan bahan yang digunakan untuk membuat *crucible*. Kemiripan sifat antara BN dengan grafit diharapkan dapat memberikan kelebihan satu sama lain saat digunakan untuk membuat *crucible*. Sifat BN yang getas membutuhkan pengikat khusus agar memberikan kekuatan dan sifat plastis pada kowi sehingga tidak mudah retak dan tahan terhadap cairan logam. Kaolin digunakan sebagai bahan yang banyak digunakan sebagai pengikat dalam pembuatan keramik.

Menurut Djaja dan Hafied (2008: 89), kemungkinan dimasa mendatang akan ada pengembangan bahan baku, seperti pengembangan material refraktori dalam tanur induksi. Penulis melakukan eksperimen untuk menghasilkan produk baru yang berguna untuk dijadikan *crucible* dari material baru berupa refraktori spesial sebagai langkah untuk mengembangkan kowi dari material refraktori. *Crucible* dipasaran memiliki *properties* yang beragam seperti kemurnian tinggi, butir halus, kinerja yang baik dari konduktifitas termal, kepadatan tinggi, ketahanan korosi yang baik, ketahanan *thermal shock*, stabilitas *thermal*, kekuatan mekanik yang tinggi, permeabilitas rendah, dan ketahanan oksidasi yang baik. Detail yang disajikan pada produk *crucible* berupa kekuatan tekan/*compressive strength*, porositas/*porosity*, *bending strength*, dan *density*/densitas. Berdasarkan detail *crucible* dipasaran, penulis melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Laju Pemanasan Terhadap Nilai Kekerasan, Porositas, dan Densitas *Crucible* Berbahan *Evaporation Boats*, Grafit, dan Kaolin”.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dipaparkan, penulis telah mengidentifikasi masalah-masalah yang ada dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bahan refraktori yang digunakan untuk *crucible* tanur induksi hanya refraktori asam, basa, dan netral bukan refraktori spesial seperti *boron nitride*.
2. Bahan *crucible* yang digunakan saat ini memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing berupa, refraktori asam memiliki konduktivitas yang lebih rendah dari refraktori basa karena konduksinya lebih kecil, refraktori basa memiliki ketahanan terak yang lebih rendah dari basa, sedangkan refraktori basa akan menyusut pada saat pemanasan dan menyebabkan retak pada bagian permukaannya.
3. *Boron nitride* murni merupakan bahan refraktori yang memiliki banyak keunggulan namun mahal harganya.
4. Adanya limbah *evaporation boats* yang tidak dapat busuk.
5. *Boron nitride* saat ini belum digunakan untuk membuat *crucible* tanur induksi tetapi sebagai tungku pembakaran, insulator pada tanur, lapisan internal *furnace*, *kiln*, dan reaktor padahal memiliki sifat yang diperlukan *crucible* seperti sifat refraktorinya yang tahan terhadap temperatur tinggi.
6. Reaksi dan sifat yang belum diketahui jika limbah *evaporation boats*, kaolin, grafit, dan air bercampur menjadi komposisi suatu produk.

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah dilakukan, maka penulis melakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan limbah *evaporation boats* (mengandung *boron nitride*), grafit, bahan perekat kaolin, dan air.

2. Pengujian yang dilakukan berupa kekerasan, porositas, dan densitas sampel/spesimen *crucible* setelah diberikan laju pemanasan agar diketahui karakteristik *crucible* seperti yang beredar dipasaran.
3. Tidak membahas ikatan kimia dari limbah *evaporation boats* yang mengandung BN, grafit, kaolin, dan air.
4. Laju pemanasan yang diberikan adalah 2 °C/menit, 5 °C/menit, dan 8 °C/menit hingga mencapai temperatur 1200 °C.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan pembatasan masalah yang telah dilakukan sebelumnya, penulis merumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh laju pemanasan terhadap kekerasan *crucible* berbahan *evaporation boats*, grafit, dan kaolin?
2. Bagaimana pengaruh laju pemanasan terhadap porositas *crucible* berbahan *evaporation boats*, grafit, dan kaolin?
3. Bagaimana pengaruh laju pemanasan terhadap densitas *crucible* berbahan *evaporation boats*, grafit, dan kaolin?

1.5 Tujuan

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh laju pemanasan terhadap nilai kekerasan *crucible* berbahan *evaporation boats*, grafit, dan kaolin.
2. Untuk mengetahui pengaruh laju pemanasan terhadap nilai porositas *crucible* berbahan *evaporation boats*, grafit, dan kaolin.

3. Untuk mengetahui pengaruh laju pemanasan terhadap nilai densitas *crucible* berbahan *evaporation boats*, grafit, dan kaolin.

1.6 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan referensi pengaruh laju pemanasan terhadap nilai kekerasan *crucible* berbahan *evaporation boats*, grafit, dan kaolin.
2. Mendapatkan referensi pengaruh laju pemanasan terhadap nilai porositas *crucible* berbahan *evaporation boats*, grafit, dan kaolin.
3. Mendapatkan referensi pengaruh laju pemanasan terhadap nilai densitas *crucible* berbahan *evaporation boats*, grafit, dan kaolin.
4. Menanggulangi limbah *evaporation boats* yang berdampak buruk terhadap lingkungan.
5. Memberikan inovasi baru untuk industri pengecoran dengan *crucible* tanur induksi berbahan baru berupa *evaporation boats*, grafit, dan kaolin.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Dalam penelitian ini penulis melakukan kajian terhadap pustaka-pustaka yang relevan dengan penelitian “Pengaruh Laju Pemanasan Terhadap Nilai Kekerasan, Porositas, dan Densitas *Crucible* Berbahan *Evaporation Boats*, Grafit, dan Kaolin”. Menurut Sari, dkk (2017: 58-59), untuk melihat pengaruh *thermal shock resistance* terhadap makro struktur dan ketahanan *impact*, menyimpulkan bahwa pengaruh *thermal shock* menyebabkan makro struktur terdapat butiran hitam yang mendominasi mempunyai densitas rendah atau ketahanan *impact* kecil, semakin tinggi variasi *thermal shock* maka ketangguhan dan kekerasannya rendah.

Menurut Bayuseno (2009: 10), untuk mengetahui pengembangan dan karakterisasi material keramik, menyimpulkan bahwa material keramik yang digunakan dalam batu tahan api memiliki senyawa alumina yang tinggi, struktur mikronya mempunyai batas butir yang sangat jelas dan tersebar tak beraturan, akibat *thermal* kejutan telah terjadi retakan, setiap temperatur kejutan dinaikkan 100 °C nilai densitas naik 1% dan *modulus of rupture* turun 37,5%.

Menurut Wendlandt dan Huebner (1982: 173), untuk mengetahui potensial redok *boron nitride* dan implikasinya jika digunakan sebagai material krusibel dalam eksperimen *petrology*, menyimpulkan bahwa penggunaan material krusibel dalam penelitian lebih menurunkan sistem (*metals, sulfides*) tidak disarankan karena memberikan efek banyak mereduksi kumpulan silikat dan oksida termasuk sistem Fe – S

– O, diakhir kebijaksanaan dalam menggunakan BN untuk bahan *crucible* harus difikirkan secara matang.

Menurut Zulfia dan Ariati (2006: 23), untuk mengetahui pengaruh temperatur pemanasan dan waktu tahan terhadap karakterisasi material, menyimpulkan bahwa lamanya waktu tahan dan naiknya temperatur proses akan meningkatkan nilai densitas dan kekerasan komposit yang dihasilkan, porositas akan semakin menurun seiring dengan lamanya waktu tahan dan naiknya temperatur proses.

Menurut Nugroho dan Urmadhani (2011: 129), untuk mengetahui karakterisasi material refraktori basa berbahan dasar magnesia (MgO) untuk *lining* tungku induksi, menyimpulkan bahwa material refraktori terdiri dari agregat besar dan agregat kecil, magnesia yang digunakan berbentuk *rounded* dan *sub-rounded*, nilai porositas dari material refraktori magnesia terkecil adalah pada temperatur *sintering* 1450 °C adalah 6.8%, peningkatan temperatur *sintering* dapat menaikkan densitas dan menurunkan porositas, dan mengurangi fraksi berat material refraktori.

Menurut Djaja dan Hafied (2008: 89), untuk mengetahui peleburan besi dan baja di dalam tungku listrik induksi tanpa inti, menyimpulkan bahwa penggunaan tungku induksi tanpa inti masih terbatas, namun karena pertimbangan ekonomis saat ini jumlah *induction furnace* (IF) semakin banyak di Indonesia, dan juga kehandalan dalam aksi pengadukan leburan membuat tingkat kehomogenan komposisi kimia lebih baik, kemungkinan dimasa mendatang pengembangan bahan baku seperti besi spons bersifat asam di dalam IF dan terdapat pengembangan material refraktori, kemajuan untuk membuat komposisi dalam IF pengecoran tetap dapat dicapai baik dan bersih dengan menggunakan komposisi muatan terseleksi.

Menurut Widodo dan Rusiyanto (2011: 50), untuk mengetahui pengaruh komposisi kaolin terhadap densitas dan kekuatan *bending*, menyimpulkan bahwa densitas komposit keramik *fly ash* dan kaolin meningkat pada temperatur sinter 1100-1150 °C tetapi pada temperatur sinter 1150-1200 °C menurun, karena adanya pembentukan pori-pori saat perlakuan panas lebih tinggi, sedangkan nilai densitas maksimum dicapai pada komposisi 15% kaolin dengan temperatur sinter 1150 °C, penambahan kaolin akan meningkatkan nilai kekuatan *bending* komposit *fly ash* dan kaolin. Hal ini menunjukkan porositas pada spesimen 100% *fly ash* lebih besar dibandingkan dengan spesimen 15% kaolin.

Menurut Agustina (2013: 42-43), untuk mengetahui variasi laju pemanasan terhadap kuat tekan keramik komposit, menyimpulkan bahwa berdasarkan data hasil pengujian *X-Ray Fluoresence* (XRF) menunjukkan bahwa pada tanah liat senyawa yang memiliki persentase tertinggi adalah silikon dioksida (SiO₂), pada pasir besi senyawa yang paling tinggi adalah besi oksida (Fe₃O₄), pada abu sekam padi merah muda yang paling tinggi adalah SiO₂, spesimen dengan laju pemanasan 3 °C/menit memiliki kuat tekan paling besar, spesimen pada laju pemanasan 3 °C/menit memiliki porositas paling rendah, perbedaan kuat tekan yang terjadi karena pada laju 3 °C/menit laju pemanasan dalam furnace lebih lambat sehingga ikatan antar butir lebih kuat dibandingkan dengan laju 5 °C/menit.

Menurut Ridha dan Darminto (2016: 129-130), untuk mengetahui densitas, porositas, dan struktur mikro batu apung dengan metode Archimedes dan *software image-J*, menyimpulkan bahwa keberadaan dan kedalaman batu apung mempengaruhi densitas dan porositasnya, nilai densitas asli batu apung Lombok sebesar (0,610-0,753) gram/cm³,

densitas kering sebesar (0,594-0,737) gram/cm³, dan densitas jenuh sebesar (1,057-1,148), Nilai porositas diperoleh sebesar (32,03-51,20)%, *software image-J* relevan digunakan untuk menentukan porositas dari gambar *Scanning Electron Microscopy* (SEM) sampel batu apung.

Menurut Rahmat (2015: 147), untuk merancang tungku *heat treatment*, menyimpulkan bahwa dihasilkan rancang bangun tungku *heat treatment* yang dapat digunakan untuk perlakuan panas, waktu pencapaian temperatur maksimal (1000 °C) dari temperatur 31 °C dalam tungku 28 menit 45 detik, kapasitas temperatur terbaik adalah 1000 °C, Kapasitas besar benda uji 3375 cm³, berdasarkan hasil pemanasan beban maksimal untuk penahanan panas adalah pada dinding depan, menyarankan pemilihan bahan refraktori yang lebih bagus untuk bagian yang menerima beban panas maksimal.

Menurut Kharisna dan Sunyoto (2018: 8), untuk mengetahui pengaruh waktu dan temperatur *sintering* pada bahan refraktori, menyimpulkan bahwa terdapat pengaruh waktu dan temperatur *sintering* terhadap densitas paduan tanah liat, *fly ash* batubara, dan magnesium oksida, waktu penahanan 2 jam dan temperatur *sintering* 1100 °C mendapatkan densitas yang terbaik yakni 2,713 g/cm³, terdapat pengaruh waktu dan temperatur *sintering* terhadap porositas paduan tanah liat, *fly ash* batubara, dan magnesium oksida, waktu penahanan 2 jam dan temperatur *sintering* 1100 °C mendapatkan porositas yang terendah yaitu 35,52%, terdapat pengaruh waktu dan temperatur *sintering* terhadap kuat tekan paduan tanah liat, *fly ash* batubara, dan magnesium oksida, waktu penahanan 1 jam dan temperatur *sintering* 1100 °C mendapatkan kuat tekan yang terbaik.

Menurut Hidayah (2005: 38), untuk mengetahui studi ganesha kaolin dan pemanfaatannya, menyimpulkan bahwa kaolin adalah suatu massa batuan yang tersusun dari material lempung dengan kandungan besi yang rendah, pada umumnya berwarna putih atau agak keputihan, nama kaolin berasal dari bahasa Cina *kauling* yang berarti pegunungan tinggi yang merupakan nama gunung dekat Jauchau Fa, China, yang tanah lempungnya telah diambil sejak beberapa abad yang lampau, kaolin mengandung kaolinit yang bersifat keras, plastis, dan memiliki daya hantar listrik yang baik. Indonesia memiliki potensi endapan kaolin yang sangat besar yang tersebar di Pulau Bangka, Belitung, Jawa, Kalimantan, Sumatra dan Sulawesi.

Menurut Effendi (2004: 5), untuk mengetahui analisa kimia dan mutu kaolin bangka sebagai bahan baku keramik halus, menyimpulkan bahwa kaolin merupakan bahan yang berfungsi sebagai pengikat dan pemberi kemudahan dalam pembentukan badan keramik, mengandung mineral-mineral golongan kaolinit dalam keadaan kering berwarna putih, atau hampir putih sebagai bahan baku utama pembuatan barang keramik halus. Kaolin Bangka hanya memenuhi syarat sebagai bahan mentah keramik halus untuk kelas saniter berdasarkan syarat mutu kaolin sebagai bahan pembuatan keramik halus.

Menurut Nugroho, dkk (2012: 4), untuk mengetahui pengaruh waktu tahan dan ukuran partikel terhadap hasil sinter, menyimpulkan bahwa semakin lama waktu tahan *sintering* dan semakin kecil ukuran partikel maka menghasilkan efek sinter yang lebih baik pada refraktori magnesia, material ramming tidak tersinter dengan baik dengan bata refraktori pada proses pemanasan 1100 °C, spesimen 7 memiliki hasil *sintering* terbaik.

Menurut Setiawan (2017: 27), untuk mengetahui porositas dan kuat tekan, menyimpulkan bahwa penambahan pasir kuarsa diperoleh keramik dengan nilai porositas

23,51-35,78 % dan nilai kekerasan 286,76-525,54 kgf/cm² nilai kekerasan maksimum dan sifat fisik keramik didapatkan komposisi optimal sebesar 50% kaolin 50% pasir kuarsa, ukuran pasir yang lebih kecil daripada kaolin menyebabkan persebaran pasir yang kompak dan merata dengan kaolin. Penambahan pasir kuarsa mempengaruhi sifat mekanik keramik dengan semakin banyak penambahan pasir kuarsa maka semakin kecil nilai kekerasan. Ukuran butir pasir kuarsa yang relatif lebih kecil dari ukuran butir kaolin menunjukkan persebaran pasir kuarsa pada sampel keramik terlihat kompak dan merata dengan kaolin.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengecoran Logam

Pengecoran merupakan proses manufaktur yang berguna untuk membentuk barang dengan bentuk yang sederhana maupun rumit, kecil maupun besar dengan cara mencairkan logam (*ferro* dan *non ferro*) didalam tungku peleburan hingga mencapai titik lebur, kemudian dituangkan kedalam cetakan yang telah dipersiapkan dan mendingkannya dingin dan membeku. Hal itu kira-kira bermula pada tahun 4000 sebelum masehi (SM), sedangkan tahun yang lebih tepat belum diketahui orang (Surdia dan Chijjiwa, 2000: 1). Selanjutnya proses pengecoran dibedakan dalam 8 macam yaitu:

1. *Permanent mold casting*, digunakan untuk logam *non ferro* dan dapat digunakan secara berulang kali. Ciri utama pengecoran *permanent* adalah cetakannya yang terbuat dari logam dan grafit.
2. *Centrifugal casting*, digunakan untuk keramik, plastik, logam dengan cara memanfaatkan gaya sentrifugal untuk memampatkan logam cair pada cetakan yang berputar.

3. *Investment casting/wax lost casting*, prinsip kerjanya adalah dengan menggunakan pola lilin pada cetakan kemudian memanaskan cetakan sehingga lilin mencair dan keluar dari cetakan, kemudian logam cair dimasukkan kedalam rongga cetak.
4. *Die casting*, digunakan untuk logam non *ferro* dan paduannya dengan cara menekan logam cair pada rongga cetak hingga membeku.
5. *Hot chamber die casting*, logam cair diinjeksikan secara cepat kedalam rongga cetak dengan tetap dilakukan penekanan hingga membeku. Ciri utama pengecoran ini adalah tungku dan mesin cetak menjadi satu.
6. *Cold chamber die casting*, digunakan untuk membuat coran yang berasal dari logam (Aluminium dan Magnesium) yang memiliki titik leleh tinggi. Pengecoran ini menggunakan mesin yang berguna untuk menekan cairan logam (secara hidraulik) masuk kedalam rongga cetak dan menutup cetakan. Berbeda dengan *hot chamber die casting*, mesin cetak dan tungku terpisah.
7. *Injection molding*, digunakan untuk gelas, plastik, karet (material non logam) dengan cara menekan cairan non logam masuk kedalam rongga cetak dan dibekukan oleh sistem pendingin.
8. *Blow molding*, merupakan proses pengecoran dengan menggunakan mesin tiup dan cetakan. Bahan coran awal dibuat dalam bentuk pipa berlubang yang dibagian luarnya telah disiapkan cetakan, kemudian melewati lubang tersebut ditiupkan udara yang menyebabkan bahan coran melebar mengikuti cetakan. Setelah itu coran dibiarkan membeku. Jenis pengecoran ini hampir sama kegunaannya dengan *injection molding* yaitu untuk menghasilkan benda dengan bahan gelas, plastik, dan karet seperti peralatan dapur.

2.2.2 Tanur/Dapur

Proses peleburan logam dilakukan pada ruang pembakaran/tanur tertentu. Tanur peleburan logam dibedakan menjadi dua yakni dengan menggunakan bahan bakar dan dengan energi listrik. Menurut Lukman (2017:14), jenis-jenis dapur/tanur untuk proses peleburan logam berupa dapur tinggi, dapur kupola, dapur lebur listrik, dan dapur induksi. Tungku pembakaran yang biasa dipakai adalah *cupolas*, *direct fuel-fired furnaces*, *crucible furnace*, *electric-arc furnace*, *induction furnace*.

Tanur kupola adalah tanur yang berbentuk silinder terbuat dari baja (yang bagian dalamnya dilapisi dengan bahan refraktori) keatas dengan dilengkapi tuyer yang dapat menyembur dibagian bawah. Tuyer berfungsi untuk meratakan sirkulasi udara agar pembakaran menjadi sempurna. Tanur ini digunakan untuk melebur logam *ferro*. Dapur kupola memiliki ukuran yang ditentukan berdasarkan keefektifannya, yaitu 4-5 kali diameter dapur. Menurut Lukman (2017: 15), dapur kupola memiliki konstruksi yang sederhana, mudah dalam membuatnya, dan ekonomis.

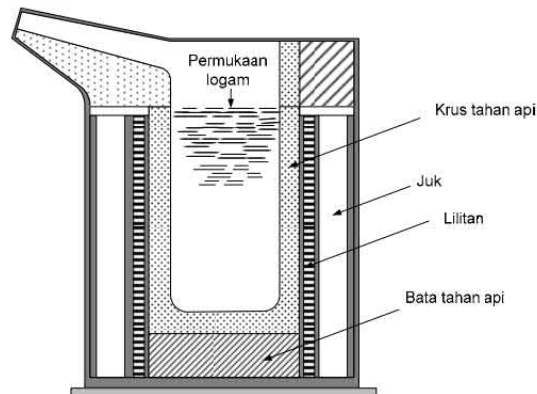
Menurut Sudjana (2008: 179), beberapa keunggulan dapur kupola adalah konstruksi dapur kupola sangat sederhana dan mudah dalam pengoperasiannya, biaya operasional relatif rendah, kapasitas relatif besar, komposisi kimia mudah dikendalikan dan dapat digunakan dalam peleburan secara terus menerus. Bahan bakar yang digunakan oleh dapur kupola adalah batu bara berupa kokas. Logam (besi) sebagai bahan baku dimasukkan kedalam dapur dengan susunan yang benar. Logam dan kokas dimasukkan kedalam dapur dengan urutan kokas terlebih dahulu secara berlapis hingga memenuhi ruang dalam dapur. Kemudian dilakukan pembakaran dengan urutan berupa pemantikan

bahan bakar dengan membakar arang, udara ditampung dalam kotak udara lalu ditiupkan melalui *Tuyere* (bermacam bentuk *tuyere* yaitu silinder, segiempat, dan *rotary blower*).

Dapur tinggi merupakan tanur yang menggunakan bahan bakar kokas (dengan konstruksi ± 30 meter) maupun arang (dengan konstruksi ± 15 meter). Menurut Lukman (2017: 14), dapur tinggi adalah dapur yang berbentuk majemuk yang digunakan untuk memasak biji besi menjadi besi kasar.

Dapur lebur listrik dibedakan menjadi 2 macam yaitu tanur busur listrik dan tanur induksi. Tanur busur api atau *electric arc furnace* yaitu tanur yang sumber energinya berasal dari busur listrik dengan temperatur mencapai 1800°C . Sejarah diciptakannya tanur busur api dimulai sejak Paul Heroult (Prancis) mendirikan pabrik komersil tahun 1907. Pada perang dunia II tanur ini banyak digunakan untuk melebur baja paduan (untuk membuat senjata perang). Tanur busur api dilapisi dengan bahan refraktori agar memiliki ketahanan panas yang tinggi. Keuntungan menggunakan tanur busur listrik dibandingkan dengan tanur lain yaitu cairan logam hasil leburan dapat terjaga kemurniannya, panas hasil busur listrik yang dihasilkan dan lapisan udara dapat diatur, dan efisiensi tinggi sehingga tidak ada banyak energi dan *losses* yang hilang.

Tanur induksi merupakan tanur yang memanfaatkan arus bolak-balik melewati gulungan untuk menghasilkan magnet pada bidang logam agar mempercepat proses pemanasan dan peleburan logam. Material logam yang dapat dilebur dengan menggunakan tanur induksi adalah baja, besi, dan paduan aluminium.



Gambar 2.1 Tanur Induksi
(Sumber: Sudjana, 2008)

Tanur induksi merupakan salah satu jenis tanur yang dalam proses peleburan logamnya menggunakan energi listrik. Tanur induksi (*induction furnace*) bekerja seperti transformator yaitu adanya lilitan listrik berfrekuensi tinggi yang dapat menimbulkan arus induksi pada lilitan sekunder berupa *crucible* berisikan logam cair. Frekuensi medan magnet yang tinggi dapat berguna untuk mengaduk logam cair. Logam cair panas akan berada di atas sedangkan cairan yang lebih rendah temperaturnya akan bergerak kebawah, sehingga terjadi proses *stiring* yang menjadikan cairan pada tanur induksi menjadi lebih homogen. Tanur induksi digunakan untuk melebur logam *ferro* maupun non *ferro* seperti besi, baja, tembaga, aluminium, dan logam mulia. Bagian-bagian tanur induksi adalah sebagai berikut:

1. *Spot*, yaitu saluran keluarnya logam.
2. *Crucible*
3. *Lining*
4. *Coil* (induktor), berupa lilitan kawat.
5. *Refractory lining*, dinding tahan api untuk melindungi panas tidak keluar ke lingkungan yang dapat menyebabkan lelehnya badan tanur.

Tanur induksi dapat diklasifikasikan berdasarkan kegunaannya:

1. Tanur induksi jenis saluran, merupakan tanur induksi yang digunakan untuk menahan temperatur cairan agar tidak turun akibat adanya perubahan temperatur. Pemanasan cairan dilakukan pada bagian saluran saja, logam cair yang panas akan bergerak keatas sedangkan yang dingin akan turun kebawah yang menjadikan sirkulasi logam cair.
2. Tanur induksi jenis krus, merupakan tanur induksi yang diperuntukkan sebagai tanur pelebur logam dengan memiliki beragam ukuran konstruksi yang disesuaikan dengan ukuran dan jenis logam. Sehingga dapat dibedakan tanur induksi jenis krus dengan frekuensi rendah, menengah, dan tinggi.

Tanur induksi juga dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis berdasarkan frekuensinya:

1. Tanur peleburan (*melting furnace*), merupakan tanur induksi dengan frekuensi jala-jala (50 Hz) sampai dengan frekuensi tinggi (10000 Hz).
2. Tanur penahan panas (*holding furnace*), merupakan tanur induksi yang bekerja pada frekuensi jala-jala.

Tungku induksi peleburan memiliki komponen berupa *crucible* sebagai tempat peleburan logam. Diameter *crucible* ditentukan oleh besarnya tanur induksi yang digunakan. Menurut Djaja dan Hafied (2008: 82), jenis bahan *lining* (dinding *crucible*) adalah refraktori yang bersifat asam, basa, atau netral, dengan sebaran butiran bahan refraktori penting untuk kerapatan dan proses penyinteran. Sebaran butiran meliputi 45% butiran kasar, 10% menengah, dan 45% halus (20% halus dan 25% sangat halus).

Menurut Djaja dan Hafied (2008: 82), 3 jenis refraktori pembentuk dinding *crucible*:

1. Refraktori asam (kuarsit atau batuan silika alam dengan pengikat asam borat).

Beberapa sifat yang dimiliki refraktori asam jika digunakan sebagai *lining*:

- a. Konduktifitas termal lebih rendah daripada refraktori basa.
 - b. Panas lebih mudah hilang ke lingkungan.
 - c. Silika tidak ada kebocoran karena memuai saat dipanaskan.
 - d. Silika tidak tahan terhadap terak besi oksida, kapur *fluorspar*, dan mangan kadar tinggi.
 - e. Silika harga murah.
 - f. Tidak ada kontaminasi terhadap logam leburan.
2. Refraktori netral (khromit, spinel FeO, Cr₂O₃, zirkon/ZrO₂.SiO₂, alumina/Al₂O₃).
- Beberapa sifat yang dimiliki refraktori netral jika digunakan sebagai *lining*:
- a. Zirkon sulit mencapai butir yang baik.
 - b. Ketahanan terhadap terak besi oksida (FeO) tidak sebaik refraktori basa.
3. Refraktori basa (magnesia/MgO/magnesit, magnesia alumina/MgO.Al₂O₃, magnesia zirkon/MgO.ZrO.SiO₂, dan chrom magnesit/Cr₂O₃.MgO). Sifat yang dimiliki refraktori basa jika digunakan sebagai bahan *lining*:
- a. Magnesia mengalami penyusutan saat pemanasan, menyebabkan keretakan.
 - b. Magnesia mengalami kontaminasi oleh leburan yang tinggi akibat adanya retakan pada dinding *crucible*.
 - c. Magnesia alumina pemuai atau penyusutan saat dipanaskan. Namun dengan kadar Al₂O₃ 30% dan MgO 70% dapat mencapai pemuai yang diharapkan.

- d. Magnesia alumina tidak terjadi kontaminasi antara *lining* dan leburan.
- e. Magnesia zirkon memiliki ketahanan terak lebih rendah daripada magnesia murni.
- f. Refraktori basa tidak lagi digunakan untuk tanur 50 Hz karena retakan *lining*.

Kelebihan penggunaan tanur induksi dibandingkan dengan tanur peleburan dengan menggunakan bahan bakar:

1. Emisi gas dan asam yang dihasilkan lebih rendah.
2. Ekonomis.
3. Mudah dalam pengontrolan temperatur.
4. Bersih dari kotoran yang mungkin bisa masuk kedalam cairan selama peleburan berlangsung.

Kelemahan penggunaan tanur induksi dibandingkan dengan tanur peleburan dengan bahan bakar:

1. Bahan logam harus benar-benar bersih dari zat pengotor.
2. Biaya instalasi yang mahal.

2.2.3 Crucible

Crucible/kowi merupakan salah satu peralatan peleburan logam berupa cawan lebur yang digunakan sebagai wadah untuk mencairkan logam. *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 ladle. Menurut Sari, dkk (2017: 53), *crucible* untuk peleburan logam non *ferro* seperti aluminium, tembaga, dan timah hitam tidak memerlukan panas yang begitu tinggi, bahan untuk membuat *crucible* berupa grafit dan tanah liat, juga bahan tahan api (refraktori).

Berikut merupakan penampang *crucible* yang biasa digunakan:



Gambar 2.2 *Crucible*

Menurut Wicaksono (2010: 3-4), sifat-sifat aluminium sebagai berikut:

Tabel 2.1 Sifat Aluminium (>99,0)

Sifat	Detail
Massa jenis	2,7 gr/cm ³
Tahan terhadap korosi	Memiliki lapisan tipis oksida dan transparan yang jenuh terhadap oksigen
Sifat mekanis	Kekerasan dan kekuatan tarik yang sebanding dengan paduan bukan besi
Tidak beracun	Dimanfaatkan untuk bahan pembungkus makanan karena tidak terjadi reaksi antara makanan dengan Al
Sifat mampu bentuk	Memiliki sifat mampu teMPa untuk dijadikan plat
Titik lebur rendah	±600 °C (peleburan singkat)
Penghantar panas dan listrik yang baik	Daya hantar listrik tinggi (sebesar 65% daya hantar tembaga)
Sifat lain	Anti magnet, nilai arsitektur dan dekoratif yang tinggi

(Sumber: Wicaksono, 2010)

Pembuatan *crucible* sama dengan pembuatan keramik, yaitu dengan membentuk adonan sesuai desain, *pressing*, dan dilakukan pengeringan. Tahapan pada proses pembuatan keramik meliputi tahap persiapan, pengolahan bahan (penumbukkan bahan, pengayakan, dan pencampuran material), pembentukkan (mencampurkan material dengan air serta mencetaknya), pengeringan (dilakukan tanpa sinar matahari, yaitu dengan diangin-anginkan saja), pembakaran/pemanasan, dan *finishing*. *Crucible graphite* 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. Berikut ini merupakan spesifikasi *crucible graphite* dalam berbagai produk *crucible*:

Tabel 2.2 Spesifikasi *Crucible*

Nama produk	Detail
<i>Hot sale artificial graphite furnace aluminium melting crucible</i>	<i>Compress strength : 30-40 MPa Compressive strength : 34 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>Proper electrical conductivity crucible for melting Al</i>	<i>Density : 1,75-1,85 g/cm³ Bending strength : 24-36 MPa Elastic modulus : 45-60 GPa</i>
<i>China good quality SiC graphite crucible for Al melting</i>	<i>Density : $\geq 3,02$ g/cm³ Temperature resistance : 1200-1900⁰</i>
<i>China isostatic pressing graphite melting pot crucible for aluminium</i>	<i>Bending strength : 24-36 MPa Density : 1,75-1,85 g/cm³ Resistance : 7,0-7,5 Ohm</i>
<i>High purity high strength graphite crucible melting pot for Al</i>	<i>Bending strength : 24-36 MPa Density : 1,75-1,85 g/cm³ Elastic modulus : 45-60 GPa</i>
<i>Highquality graphite crucibles for melting scrap copper</i>	<i>Bending strength : 24-36 MPa Density : 1,75-1,85 g/cm³ Resistance : 7,0-7,5 Ohm Elastic modulus : 45-60 GPa</i>

(Sumber: ozgraphite.en.alibaba.com)

Berdasarkan *American Elements*, secara teori sifat-sifat yang harus dimiliki oleh *crucible* berbahan grafit adalah sebagai berikut:

Tabel 2.3 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>Electrical resistivity</i>	N/A
<i>Electronegativity</i>	2,55 <i>Paulings</i>
<i>Heat of Vaporization</i>	128 K-Cal/gm atom pada 4612 °C
<i>Specific heat</i>	N/A
<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)

Berdasarkan *nissin refratech*, *crucible graphite* memiliki sifat fisik dan kimia sebagai berikut:

Tabel 2. 4 Sifat *Crucible Graphite Nissin Refratech co.ltd.*

<i>Chemical composition and physical properties</i>			
<i>Graphite + C (%)</i>	30-55	<i>Modulus of rupture at RT (MPa)</i>	10-18
<i>SiC (%)</i>	20-55	<i>Modulus of rupture at 1200 °C</i>	7-13
<i>Apparent porosity (%)</i>	16-20	<i>Thermal conductivity (W / m.k)</i>	25-50
<i>Bulk density</i>	1.87-2.10	<i>Electric resistance (µΩ-cm)</i>	1800-9000

(Sumber: nissin refratech co.ltd.)

2.2.4 Boron Nitride dan Evaporation Boats

Boron Nitride (BN) merupakan salah satu bahan refraktori temperatur tinggi tipe spesial yang masuk dalam kelas keramik khusus. Menurut Surdia dan Saito (1999: 349), refraktori merupakan bahan anorganik bukan logam yang sukar meleleh pada temperatur tinggi dan digunakan dalam industri temperatur tinggi seperti bahan tungku, dan sebagainya. Penerapannya dapat ditemukan pada alat-alat yang beroperasi pada temperatur tinggi, memerlukan kekerasan dan kekuatan yang tinggi, atau mengalami perubahan temperatur yang cepat.

Menurut Surdia dan Saito (1999: 371), BN yang memiliki titik lebur $2700\text{ }^{\circ}\text{C}$ dapat dipergunakan pada $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ atau lebih, maka banyak dimanfaatkan sebagai bahan yang tahan terhadap panas pada temperatur tinggi. Menurut Pierson (1996: 209), *boron nitride* merupakan kovalen nitrit bersama dengan aluminium nitrit dan silikon nitrit. Sifat utama atom boron dalam BN sebagai molekul kovalen nitrit adalah bersifat non logam meskipun berada pada golongan III A dalam tabel periodik, berupa padatan, dapat ditempatkan diantara atom logam maupun non logam, semikonduktor dan bukan konduktor logam, memiliki nomor atom 5, massa atom sebesar 65,37, konfigurasi elektron $1s^2 2s^2 2p^1$, massa jenisnya $2,34\text{ g/m}^3$, dan titik leleh $2030\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sedangkan atom N sendiri memiliki karakteristik berupa berada pada golongan VA sehingga termasuk logam, memiliki nomor atom 7, dengan konfigurasi elektron $1s^2 2s^2 2p^3$, massa jenisnya $0,81\text{ g/m}^3$, massa atom 14,0067. Oleh sebab B non logam dan N logam, maka keduanya dapat membentuk ikatan menjadi molekul BN yang memiliki sifat refraktori (keramik khusus). Menurut Surdia dan Saito (1999: 371), BN heksagonal serupa dengan grafit dilihat dari strukturnya. *Boron Nitride* memiliki kemiripan sifat dengan grafit untuk

digunakan sebagai bahan yang tahan terhadap tempertur tinggi. BN memiliki kelebihan berupa tidak mudah bereaksi dengan besi.

Menurut Pierson (1996: 212), BN diklasifikasikan kedalam 2 alotrop yaitu struktur *hexagonal* yang mirip dengan grafit dan struktur kubik yang mirip dengan intan. Alotrop yang dimiliki memiliki kesamaan struktur balok yaitu atom boron dan nitrogen. Sejarah *boron nitride* dimulai sejak BN dibagi menjadi 2 jenis struktur. BN disintesis pertama kali menjadi bubuk pada tahun 1842 tetapi untuk beberapa tahun berada di laboratorium untuk diteliti, semenjak bubuk tersebut sulit dibentuk dalam beberapa bentuk yang berguna. BN sebenarnya telah dikembangkan sejak lama namun karena keterbatasan pengetahuan dan harga jual yang terlalu tinggi, tidak banyak yang memanfaatkannya meskipun BN memiliki banyak keunggulan.

Boron Nitride memiliki 2 gugus atom penyusun berupa BN heksagonal (h-BN) dan BN kubik (c-BN). Menurut Pierson (1996: 233-236), beberapa perbedaan yang dimiliki oleh h-BN dan c-BN:

1. Hexagonal BN, memiliki karakteristik:
 - a. Licin dan lembut.
 - b. Mirip grafit.
 - c. Stabil diatas temperatur 225 °C dan meleleh kira-kira di temperatur 3000 °C.
 - d. Struktur kristal, terdiri dari beberapa *layer* paralel dengan atom N dan B berkelompok membentuk posisi.
 - e. Susunan tiap *layer* membentuk segienam.
 - f. Berikatan kovalen
 - g. Densitas sebesar 2,34 g/cm³.

- h. Panjang ikatan BN 0,1446 nm.
 - i. *Specific heat* 21,96 J/mole. K (atau 0,885 J/g.K)
 - j. Konduktifitas termal 28-33 W/m.K.
 - k. *Vickers hardness* 0,08-0,09 GPa.
 - l. Elastisitas modulus young 46,9-73,5 GPa.
 - m. *Flexural strength* 103 MPa.
 - n. Kekebalan oksidasi, tidak bereaksi mencapai temperatur 750 °C.
 - o. Material tahan korosi, tahan terhadap *gasoline, benzene, alcohol, acetone, chlorinated hydrocarbons*.
 - p. Tidak basah terhadap lelehan aluminium, tembaga, cadmium, besi, *antimony*, bismuth, silikon, germanium, garam, dan kaca.
2. *Cubic BN*, memiliki karakteristik:
- a. Sangat keras.
 - b. Mirip intan.
 - c. Stabil pada temperatur dibawah 225 °C (dengan struktur *zincblende*).
 - d. Stabil hanya pada tekanan >11 GPa (dengan struktur *wurtzite*/mineral seng sulfida besi).
 - e. Tahan terhadap kimia, pada dasarnya lamban terhadap reaksi pada temperatur ruang.
 - f. Memiliki struktur *sphalerite*.
 - g. Satu atom B mengikat 4 atom N (berikatan tetrahedral).
 - h. Berikatan kovalen dan beberapa berikatan ion.
 - i. Densitas sebesar 3,43 g/cm³.

- j. Panjang ikatan BN 0,158 nm.
- k. Konduktivitas termal tinggi sebesar 1300 W/m.K.
- l. *Vickers hardness* 29,9-43,1 GPa.
- m. Elastisitas modulus young 650 GPa.
- n. Tidak bereaksi dengan bentukan karbide seperti besi, kobal, nikel, aluminium, tantalum, dan boron pada temperatur sekitar 1000 °C.
- o. Bereaksi dengan Al pada temperatur 1050 °C dan dengan besi dan paduan Ni mengandung aluminium pada temperatur 1250 °C.

Boron nitride telah banyak dimanfaatkan dalam dunia industri. Menurut Surdia dan Saito (1999: 375), BN tidak mudah bereaksi dengan besi, jadi untuk pemotongan paduan besi lebih cocok menggunakan BN daripada material lainnya (intan). Ketahanan BN terhadap besi menjadikannya lebih baik daripada intan meskipun untuk kekerasannya masih dibawah intan. Menurut Pierson (1996: 232), BN saat ini digunakan secara luas sebagai pelumas padat, wadah tahan kimia, dielektrik dalam peralatan elektronik. Penggunaan BN meningkat dipasaran dan diperkirakan mencapai \$20 juta pada tahun 1994. Menurut Pierson (1996: 244), menyebutkan beberapa aplikasi BN yaitu:






1. Serbuk pelumas, pengisi dan cetakan (berbentuk serbuk).
2. *Break ring* dalam pengecoran baja.
3. Insulator untuk peralatan listrik frekuensi tinggi.
4. Masker *lithography x-ray*.
5. Tungku besi temperatur tinggi dan landasan untuk mencairkan logam, kaca, dan keramik.
6. Radar jendela dan antena.

7. Krusibel untuk menguapkan aluminium dan untuk balok epitaksi molekul.
8. Tempat untuk pertumbuhan kristal *czochralski* III-V & II-VI.
9. Pembatas substrat dalam pita pemanas dalam kombinasi dengan pirolitik grafit resistan elemen pemanas.
10. Serbuk dan pengikat abrasif, dan pemotong untuk material baja kekerasan tinggi dan paduan c-BN.
11. Agen pembebas.
12. Pengisi plastik.

Selain aplikasi yang telah disebutkan, BN juga digunakan sebagai bahan *evaporation boats* (landasan evaporasi) yaitu sebagai evaporator dalam pembuatan aluminium foil yang banyak digunakan sebagai kemasan makanan. *Evaporation boats* terbuat dari material komposit keramik yang memiliki konduktifitas elektrik baik dan kemampuan menguapkan aluminium yang baik dengan masa pemakaian yang lama. Menurut 3M, jenis *evaporation boats* yang tersedia adalah 3MTM *evaporation boats trimet*, 3MTM *evaporation boats 2C*, 3MTM *evaporation boats lasermet*, 3MTM *evaporation boats 2L*, dan 3MTM *evaporation boats dimet*. 3MTM *evaporation boats trimet* memiliki ciri terdiri atas 3 komponen, cocok digunakan untuk semua mesin, pembasahan dan pengontrolan parameter yang mudah, laju penguapan sebesar $0,25 \text{ g.m}^{-1}.\text{cm}^{-2}$, dan panjang lebih dari 200 mm. 3MTM *evaporation boats 2C* memiliki ciri terdiri atas 2 rongga komponen penguapan, pengikatan formula *evaporation* oleh 3M, laju penguapan tinggi, kecepatan dan kerapatan optik yang lebih tinggi, dan mudah digunakan. 3MTM *evaporation boats lasermet* memiliki ciri terdiri atas dua komponen evaporasi, perawatan laser dipatenkan sebagai perlakuan awal, siklus *break-in* awal yang

lebih pendek daripada pemanasannya, dan permukaan kerja lebih besar. 3M™ *evaporation boats* 2L memiliki ciri digunakan untuk pengerjaan logam yang paling sulit, perilaku awal pembasahan dipatenkan dengan perawatan permukaan menggunakan laser, siklus *break-in* lebih pendek daripada pemanasan, penguapan awal dioptimalkan untuk lapisan aluminium yang homogen. 3M™ *evaporation boats dimet* memiliki ciri terdiri atas 2 komponen penguapan, ketahanan temperatur yang baik, ketahanan korosi yang baik, dan laju penguapan baik sebesar $0,35 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$.

Tabel 2.5 Jenis *Evaporation Boats*

3M™ <i>evaporation boats trimet</i>	
3M™ <i>evaporation boats 2C</i>	
3M™ <i>evaporation boats lasermet</i>	
3M™ <i>evaporation boats 2L</i>	
3M™ <i>evaporation boats dimet</i>	

(Sumber: 3M, 2019)

Beberapa sifat fisis *evaporation boats* menurut 3M adalah sebagai berikut:

Tabel 2.6 Sifat Fisis *Evaporation Boats*

<i>Property</i>	<i>2-component</i>	<i>3-component</i>
<i>Density, ρ (g/cm³)</i>	> 2,75	> 2,80
<i>Porosity, P (%)</i>	<3	<6
<i>Maximum water uptake (%) at 38 °C, 90% RH</i>	<1,5	<1,0
<i>Phase composition</i>	TiB ₂ , BN	TiB ₂ , BN, AlN
<i>Color</i>	Gray	Gray
<i>Electrical Properties*</i>		
<i>Resistivity¹ at 1600 °C, Rel (10⁻⁶ Ωcm)</i>	1300 – 4800	375 – 4800
<i>Mechanical Properties at Room Temperature</i>		
<i>Brinell hardness (HB 2.5/40)</i>	45	95
<i>Flexural strength, 4-point bending, σ (MPa)</i>	70	90
<i>Weibull modulus, m (1)</i>	>20	>20
<i>Young's modulus, E (GPa)</i>	55	66
<i>Fracture toughness² K_{Ic} (MPa √m)</i>	1,8	2
<i>Thermal Properties</i>		
<i>Maximum thermal extension at 20–1600 °C (%)</i>	<1,2	<1,5
<i>Coefficient of thermal expansion at 20–1600 °C, α(10⁻⁶/K)</i>	5,5	7
<i>Specific heat at 20 °C, c_p (J/g•K)</i>	0,68	0,67
<i>Thermal conductivity at 20 °C, λ(W/m•K)</i>	80	55

(Sumber: 3M Science)

2.2.5 Kaolin

Kaolin merupakan jenis tanah liat dalam kelompok alumina silikat, sebagai bahan dasar pembuatan keramik. Kaolin umumnya disebut sebagai tanah liat *China* karena pertama kali ditemukan di Kao-Lin. Kaolin memiliki warna putih baik ketika mentah maupun setelah dibakar. Kaolin merupakan massa batuan yang tersusun atas lempung dan besi rendah, mempunyai kandungan *hidrous aluminium silikat* (2H₂O, Al₂O₃, 2SiO₂) dan mineral lainnya. Menurut Budihartono (2012: 5) komposisi kimia dari kaolin adalah Al₂O₃, SiO₂, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅.

Menurut Effendi (2004: 1), sebagai material jenis keramik, terdapat beberapa cara membagi keramik mentah:

1. Asal bahan mentah keramik: kaolin, lempung, felspar, kuarsa, piropilit, bahan keramik buatan (mulit, SiC, nitrida, H₃BO₄).
2. Sifat keplastisan bahan mentah keramik: *ball clay*, kaolin, bentonit.
3. Penggunaan bahan mentah keramik: *ball clay*, kaolin, kuarsa, dolomit, kapur piropilit.
4. Menurut fungsi dalam komposisi keramik: pembentuk kerangka atau pengisi (lempung, silika, zirkon, titania, silimanit, bauksit), pembentuk gelas atau bahan-bahan pengikat (silika, oksida borat, oksida *phosphor*, oksida arsen), menghasilkan sifat-sifat khusus seperti warna (bahan organik), *sensitivity* (CdS, AgCl), *machinability* (produk-produk alumina tinggi, cermet), tambang/penolong (air, minyak, bahan-bahan perekat organik, elektrolit).

Menurut Hidayah (2005: 17-23), sifat-sifat umum yang dimiliki kaolin adalah sebagai berikut:

1. Sifat fisik
 - a. Berwarna putih/keputih-putihan.
 - b. Kekerasan 2-2,5 skala Mohs.
 - c. Plastis bila bercampur dengan air bahkan setelah gaya pembentuk dihilangkan.
 - d. Daya hantar listrik dan panas yang rendah.
 - e. Berat jenis 2,60-2,63 gr/cm³.

- f. Memiliki susut kering yang bervariasi tergantung variasi jumlah air yang diberikan. Untuk mengurangi timbulnya retak dan pecah akibat susut kering maka perlu penambahan bahan non plastis seperti pasir kuarsa, *flint*, *fieldspar*.
 - g. Kaolin memiliki temperatur *sintering* 1200 °C.
2. Sifat kimia
- a. Pertukaran ion, cenderung menyerap kation (*Cation Exchange Capacity/CEC*) sebesar 2%-15%.
 - b. Interaksi dengan air, entalpi penyerapan air sangat kecil.

Widodo dan Rusiyanto (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*. Kaolin digunakan untuk industri kosmetik dan obat-obatan, digunakan untuk kosmetik, obat hewan dan manusia. Menurut Hidayah (2005: 27-33), pemanfaatan kaolin dalam berbagai dunia industri seperti:

1. Industri kertas, digunakan sebagai *filler* dan pelapis (*coater*).
2. Industri keramik, sebagai bahan baku pembuatan keramik seperti *white ware* (barang-barang berwarna putih).
3. Industri cat, sebagai penutup yang mempunyai kekuatan tinggi.
4. Industri karet, untuk campuran latek
5. Industri pestisida

Sifat-sifat kaolin baik fisik maupun kimia memberikan kemudahan untuk menentukan kegunaannya dalam bidang industri. Material refraktori kaolin juga digunakan dalam bidang pengecoran misalnya sebagai *lining furnace*. Menurut Widodo dan Rusiyanto (2011: 46), penambahan komposisi kaolin dimaksudkan untuk

memperoleh sifat densitas, dan kekerasan yang lebih baik dari bahan utama. Kaolin diharapkan dapat mengurangi sifat getas yang dimiliki oleh *evaporation boats*.

2.2.6 Grafit

Grafit merupakan salah satu alotrop (modifikasi struktural atom yang berbeda-beda) karbon (Lukman, 2017: 22). Grafit memiliki warna kelabu/hitam dengan permukaan yang lebih halus dibandingkan arang, biasa disebut sebagai timbal hitam dan biasanya digunakan sebagai minyak pelumas dan timbal pensil. Secara ilmiah, grafit dapat ditemukan di Sri Lanka, Kanada, dan Amerika Serikat. Menurut Ailin, dkk (2017: 187), grafit merupakan mineral yang terbentuk secara alami dari unsur karbon (C) dengan struktur kristal berbentuk *hexagonal*. Berbeda dengan intan, tidak semua elektron valensi dalam grafit berikatan, melainkan hanya 3 saja. Satu elektron valensi yang tidak berikatan, berada dalam keadaan bebas yang menyebabkan adanya rongga sehingga bisa menghantarkan listrik dan menjadi material konduktor. Ruang kosong akibat 1 elektron valensi bebas ini menyebabkan sifat mekanik grafit yang mudah patah.

Grafit memiliki beberapa jenis yakni grafit urat, grafit amorf, dan grafit flake (Ailin dkk, 2017: 187-188). Grafit urat atau *Vein Graphite* merupakan grafit yang mengandung 75%-100% *graphitic carbon*, mengandung mineral pengotor berupa kuarsa, piroksin, feldspar, pirit, dan kalsit. Kedua, grafit amorf atau *Amorphous Graphite*, yaitu mengandung 85% grafit dan terbentuk dari lapisan batu bara. Ketiga, grafit flake atau *Flake Graphite*, yaitu mengandung 90% grafit dan 3% *gneiss* serta sekis. Zat pengotor yang terkandung dalam grafit flake adalah kuarsa, feldspar, mika, amphibol, dan garnet. Menurut Lukman (2017: 23) sifat fisis yang dimiliki oleh grafit adalah sebagai berikut:

1. Kristal karbon yang lunak dan getas.

2. Kekerasan Brinell HB ± 1 .
3. Kekuatan tarik 2 kgf/mm².
4. Berat jenis 2,2 kg/mm³.
5. Titik leleh 3652-3697 °C.

Menurut Ailin, dkk (2017: 188), kegunaan grafit adalah sebagai bahan pembuatan pensil, tungku perapian, alat pengering/*klins*, tempat pembakaran/*incineators*, reaktor, lapisan rem/*brake lining*, li-ion *battery* dalam telepon genggam, perangkat mobil dan sepeda, bahan bakar/*fuel cells*, serta reaktor nuklir.

2.2.7 Laju Pemanasan dan Sintering

Laju adalah besaran skalar dengan dimensi panjang/waktu. Laju diukur dalam satuan fisika yang sama dengan kecepatan, tetapi tidak memiliki arah seperti kecepatan. Pemanasan diperlukan dalam proses pembuatan *crucible* agar menghasilkan produk yang kuat, tahan terhadap abrasi, tidak mudah retak, dan mengeringkan bahan. Laju pemanasan juga bisa disebut sebagai naiknya temperatur proses. Menurut Zulfia dan Ariati (2006: 23), lamanya waktu tahan dan naiknya temperatur proses dapat meningkatkan kekerasan dan densitas serta menurunkan porositas material uji. Laju pemanasan yang berbeda-beda akan mempengaruhi struktur mikro material. Pemanasan dilakukan hingga mencapai temperatur sinter komposisi bahan yang digunakan.

Sintering merupakan suatu perlakuan terhadap suatu bahan/produk dengan cara memanaskan hingga temperatur *sinter* dengan tujuan untuk menyinterkan/memampatkan butir material. Menurut Rifai dan Hartono (2016: 2), *sintering* dapat menyebabkan material mengalami perubahan kekuatan dan pengaruh elastisitas, kekerasan dan kekuatan patahan, konduktivitas listrik dan termal, permeabilitas gas dan cairan, ukuran

dan bentuk partikel, ukuran dan bentuk pori, komposisi kimia, dan struktur kristal material. Proses *sintering* bermula dari kontak antar butir atom, selanjutnya titik kontak akan melebur karena proses difusi (transformasi massa) atom-atom yang menyebabkan penyusutan. Penyusutan yang terjadi akan menjadikan densitas material meningkat dan porositasnya menurun. Proses *sintering* ini merupakan salah satu proses yang penting untuk menghasilkan sifat fisis dan mekanis material.

2.2.8 Pengujian

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

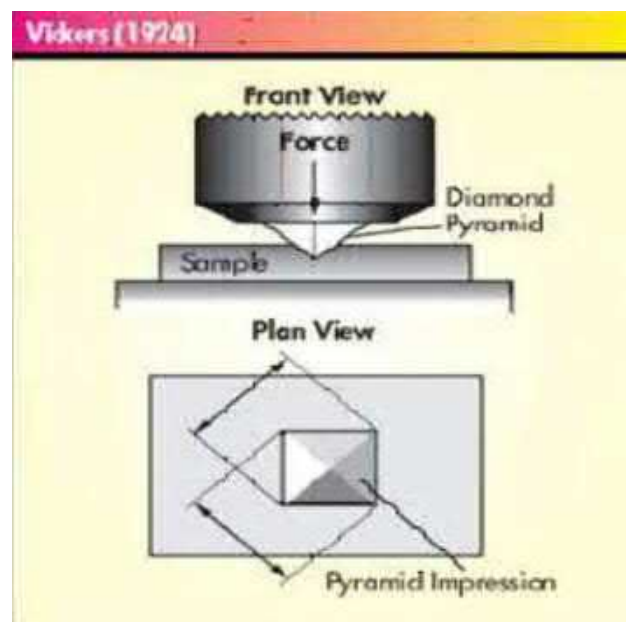
1. Kekerasan

Kekerasan adalah ketahanan sebuah material terhadap penetrasi gaya dari luar, yang berasal dari indenter/penetrator. Menurut Maulana (2018: 1), pengukuran kekerasan terhadap suatu material dapat dibedakan menjadi 3 yakni *scratch hardness*, *indentation hardness*, dan *rebound*. *Scratch hardness* adalah kekerasan goresan yang diukur dengan cara menggoreskan material uji terhadap spesimen uji. *Indentation hardness* adalah kekerasan pantulan yang cara mengukurnya dengan memberikan beban melalui indenter kemudian memperhatikan bekas pijakan dan besar indentasi pada spesimen uji, contoh pengujian kekerasan adalah uji kekerasan *Vickers*. *Rebound* adalah kekerasan pantulan yang cara mengukurnya dengan menghitung kekuatan *impact* yang dihasilkan oleh indenter yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu terhadap spesimen uji.

Pengujian *Virckers* adalah salah satu pengujian kekerasan yang tidak merusak spesimen uji karena hasil indentasi yang dihasilkan sangat kecil sehingga material uji bekas uji *Vickers* bisa digunakan kembali untuk pengujian lain, memiliki rentang skala kekerasan antara 5-1500, indenter terbuat dari intan yang keras, bisa digunakan untuk

menguji benda dengan ketebalan 0,006 inch. 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.

Pengujian *Vickers* dilakukan dengan menggunakan alat uji berupa *Microhardness* M800. Alat uji ini memiliki variasi beban indenter 10-1000 gr, indenter piramida terbuat dari intan yang memiliki sudut 136° , lama waktu penjejakan indenter berlangsung selama 10-15 detik. Panjang diagonal horizontal ditandai dengan d_1 sedangkan diagonal vertikal ditandai dengan d_2 . Prinsip pengujian *Vickers* yang diterapkan pada spesimen uji adalah sebagai berikut:



Gambar 2.3 Prinsip pengujian kekerasan *Vickers*
Sumber: Kumayasari, dan Sultoni, 2017

Menurut Kumayasari dan Sultoni (2017: 85), material *reference* yang digunakan untuk pengujian *Vickers* tidak boleh kurang dari 5 mm. Kekerasan *Vickers* secara materi diperoleh dengan menghitung tekanan dibagi dengan luas permukaan lekukan. Luas

lekukan dihitung dari pengukuran mikroskopis panjang diagonal jejak. Penghitungan kekerasan dilakukan setelah indenter kembali ketempat semula yang menghasilkan goresan sehingga dapat dilihat dengan mikroskop.

Menurut Maulana (2018: 2), nilai kekerasan *Vickers* pada spesimen uji dapat diukur menurut persamaan:

$$HVN = \frac{1,854xP}{d^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

P = beban tumbuk (gf)

d = panjang diagonal penginjakan penetrator (μm)

2. Porositas

Porositas merupakan ukuran ruang kosong/rongga dalam material berbentuk pori, yang dinyatakan sebagai perbandingan volume pori dengan volume keseluruhan material dalam % (1-100%). Kadar porositas dapat dibagi dalam 2 level, yakni *low porosity* (10%-15%) dan *high porosity* (20%-25%). Benda yang memiliki porositas rendah akan memiliki daya serap yang kecil terhadap fluida misalnya kayu, sedangkan benda yang memiliki porositas yang tinggi akan mampu menyerap fluida dengan baik misalnya spons. Semakin kecil porositas yang dimiliki maka material akan memiliki densitas yang semakin besar, karena keduanya berbanding terbalik. Porositas yang kecil disebabkan oleh kerapatan yang semakin meningkat mengisi ruang kosong (Umbarwati, dkk, 2013: 6-7). Bentuk spesimen pada pengujian porositas terhadap produk refraktori dapat didasarkan pada ISO 5016: 1997 yaitu berbentuk silinder, dengan volume tidak kurang dari 500 cm³ dan dimensi tidak kurang dari 50 mm.

Porositas sebagai nilai kemampatan suatu material, semakin mampat suatu material maka pori-pori benda akan semakin sedikit yang menyebabkan nilai porositasnya kecil. Menurut Alim, dkk (2017: 1), porositas dapat bergantung pada ukuran

material, distribusi pori, sementasi, dan komposisinya. Pengujian porositas dapat dilakukan dengan cara membandingkan massa spesimen didalam air, basah, dan kering dengan menggunakan neraca digital.

Menurut Putri dan Putra (2017: 2-3), porositas dapat ditentukan dengan menggunakan rumus Archimedes yaitu sebagai berikut:

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

Keterangan:

\emptyset = *porosity*

M_b = massa basah spesimen

M_k = massa kering spesimen

M_a = massa spesimen dalam air

3. Densitas

Densitas merupakan ukuran kerapatan suatu zat yang dinyatakan dalam banyaknya zat (massa) per satuan volume zat. Terdapat 3 bentuk densitas yakni densitas massa, berat spesifik, dan densitas relatif. Densitas massa merupakan perbandingan jumlah massa dengan jumlah volume. Berat spesifik adalah densitas karena adanya gravitasi. Densitas relatif adalah perbandingan densitas massa dengan berat spesifik. Bentuk densitas yang digunakan dalam penelitian ini adalah densitas massa. Bentuk spesimen pada pengujian densitas terhadap produk refraktori dapat didasarkan pada ISO 5016: 1997 yaitu berbentuk silinder, dengan volume tidak kurang dari 500 cm³ dan dimensi tidak kurang dari 50 mm.

Menurut Alim, dkk (2017: 1), densitas sebagai hubungan antara massa dengan volume, benda yang densitasnya besar mempunyai kerapatan yang tinggi. Semakin rapat massa jenisnya, maka semakin besar massa dari volumenya. Nilai suatu densitas dapat digunakan untuk jenis suatu material. Densitas sebagai salah satu sifat fisis yang

menyatakan ukuran kerapatan suatu partikel dalam material, misalnya material keramik, komposit, dan lain sebagainya.

Densitas massa merupakan hasil dari perbandingan massa dengan volume. Pengujian densitas dapat dilakukan dengan menggunakan rumus Archimedes (Sumpena, 2017: 22). Menurut Wilastri, dkk (2011: 32), persamaan denistas yang digunakan berdasarkan rumus Archimedes adalah sebagai berikut:

$$\rho_m = \frac{M_k}{M_k - M_a} \times \rho_{H_2O} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

- ρ_m : densitas aktual (gram/cm³)
- M_k : massa sampel kering (gram)
- M_a : massa sampel dalam air (gram)
- ρ_{H_2O} : massa jenis air = 1 gram/cm³

4. X-Ray Diffractions (XRD)

XRD merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui fasa senyawa suatu material. Menurut Setiabudi, dkk (2012: 33), XRD atau difraksi sinar X merupakan metode analisa yang menggunakan interaksi sinar X dengan atom dalam sistem kristal dari suatu material yang diteliti. Analisa yang dilakukan dapat berupa analisa kualitatif dan kuantitatif. Kristal merupakan susunan atom-atom yang tersusun rapi dalam ruang 3 dimensi akibat ikatan antar atom.

Menurut Setiabudi, dkk (2012: 39), XRD sebagai salah satu kegiatan analisa yang berfungsi untuk mengidentifikasi senyawa yang terkandung dalam sebuah material dengan memanfaatkan pembiasan cahaya dari berkas cahaya yang dibiaskan oleh material. Prinsip kerja XRD adalah senyawa terbentuk dari kumpulan atom-atom yang membentuk bidang tertentu, kemudian bidang membentuk bentuk tertentu akan didatangkan cahaya/foton dari sudut tertentu akan menghasilkan pola pantulan dan pembiasan tertentu (khas). Kekhasan pola difraksi dijadikan sebagai landasan dalam

analisa kualitatif yang berguna sebagai pembeda senyawa satu dengan senyawa yang lain menggunakan instrumen XRD. Pola unik ini seperti halnya dengan *fingerprint* pada manusia sehingga setiap senyawa akan berbeda. Perbedaan ini disebabkan karena meskipun arah datangnya cahaya sama, namun objek yang terkena berbeda akan memiliki orientasi yang berbeda yang mengakibatkan bayangan yang berbeda.

Menurut Setiabudi, dkk (2012: 40), hasil difraksi berkas cahaya pada kristal material dinyatakan dengan besar sudut yang terbentuk, dalam 2θ yaitu besarnya sudut datang dengan sudut difraksi yang dideteksi oleh detektor. Menurut Jamaluddin (2010: 8), XRD memiliki tiga komponen dasar yakni sumber sinar-X (*X-Ray Source*), spesimen uji, dan detektor sinar-X (*X-ray detector*). Menurut Setiabudi, dkk (2012: 43), komponen utama yang terdapat pada XRD adalah tabung elektron, monokromator, *filter*, sampel *holder*, *detector*, dan *software* analisa. Tabung elektron merupakan tempat pembentukan elektron untuk menumbuk plat logam agar menghasilkan sinar X yang berguna untuk menumbuk material. Komponen tabung elektron adalah *filament*, tabung kedap udara, plat logam, dan pendingin. Monokromator adalah komponen XRD untuk mengubah berkas polikromatik menjadi berkas monokromatik. *Filter* adalah komponen XRD untuk menyaring berkas cahaya yang tidak dibutuhkan agar tidak mengganggu analisa data (*noise*). Sampel *holder* adalah komponen XRD untuk meletakkan sampel. Detektor adalah komponen XRD untuk mendeteksi berkas cahaya yang terdifraksi. Berkas cahaya yang telah terdifraksi akan tersimpan dalam pita. *Software* adalah perangkat lunak yang dibagi menjadi 2 yaitu perangkat lunak untuk menerjemahkan rekaman pada pita menjadi nilai sudut 2θ kemudian dirubah menjadi pola difraktogram. Kedua, *software* untuk menginterpretasikan data sudut 2θ sesuai intensitasnya kemudian diketahui indeks Miller

dan nilai parameter kisi serta jarak antar kisi. Software kedua ini kemudian dapat digunakan untuk mengetahui struktur kristal material sampel.

Spesimen uji yang digunakan dalam uji XRD berupa serbuk sebanyak 1 mg atau 0,1 gram tergantung pada alat uji yang digunakan. Prinsip kerja alat difraksi sinar-X adalah menyinari spesimen uji pada suatu plat kaca dengan sinar-X yang kemudian didifraksikan sinarnya kesegala arah untuk dideteksi berkas sinarnya oleh detektor. Menurut Setiabudi, dkk (2012: 45), material yang digunakan untuk pengujian XRD harus berukuran $10\mu\text{m}$ atau mesh 200. Hasil difraksi dari difraktometer dapat berupa analog maupun digital.

Menurut Setiabudi, dkk (2012: 40), hukum Bragg adalah formula matematis dalam proses difraksi sebagai hasil interaksi antara sinar X yang dipantulkan oleh material. Bragg menunjukkan bidang yang terisi atom akan memantulkan radiasi seperti pemantulan cahaya pada cermin. Metode difraksi berdasarkan hukum Bragg ($\gamma=2d\sin\theta$), untuk menghasilkan pola difraksi dapat dilakukan variasi panjang gelombang dan sudut difraksi. Metode difraksi dapat dilakukan dengan dua jenis yakni metode Laue dan metode Debye-Scherrer.

Metode Laue adalah metode difraksi yang dilakukan dengan melakukan perubahan panjang gelombang dan sudut θ dibuat tetap. Teknik yang dilakukan berupa menetapkan arah sinar sudut datang sinar X dan mengubah plat logam yang menjadi sasaran tembak pada tabung sinar X. Metode ini memiliki kelemahan berupa kurang praktis karena harus mengubah-ubah plat logam. Metode Debye-Scherrer adalah metode difraksi yang dilakukan dengan melakukan perubahan pada sudut difraksi dan panjang gelombang dibuat tetap. Metode Debye-Scherrer biasa disebut sebagai metode serbuk,

yaitu metode yang lebih modern dari metode Laue. Material yang memiliki panjang gelombang sama namun arah datangnya berbeda akan menyebabkan pola interferensi yang berbeda. Metode difraksi serbuk (*powder diffraction method*) dapat digunakan untuk menentukan struktur kristal.

2.3 Kerangka Berfikir

Sifat mekanik (kekerasan) dan sifat fisis (porositas dan densitas) material dapat dipengaruhi oleh berbagai macam parameter proses pembuatan. Parameter proses pembuatan adalah laju pemanasan, temperatur *sintering*, *thermal shock*, komposisi, ukuran material, *stiring* (proses pencampuran), penekanan pada proses pembentukan (*pressing*) dan lain sebagainya. Pada penelitian ini parameter yang digunakan adalah laju pemanasan pada proses *sintering*. Proses pembuatan spesimen dilakukan seperti proses pembuatan keramik pada umumnya, dengan variasi laju pemanasan sebesar 2 °C/menit, 5 °C/menit, dan 8 °C/menit.

Laju pemanasan akan mempengaruhi hasil pembentukan material, laju yang cepat tentu akan memiliki hasil yang berbeda dengan laju yang lambat. Semakin lambat laju pemanasan yang diterapkan pada spesimen akan menyebabkan proses sinter yang semakin baik karena struktur pelelehan (proses difusi) material berlangsung maksimal secara perlahan. Kontak antar butir material pada proses *sintering* menyebabkan transformasi masa mengisi rongga antar butir sehingga mengalami penyusutan dan ikatan antar butir semakin kuat.

Laju pemanasan pada proses *sintering* merupakan faktor yang berpengaruh terhadap sifat kekerasan, porositas, dan densitas material. Nilai kekerasan material pada penelitian ini diketahui dengan cara melakukan pengujian kekerasan *Vickers*. Nilai

porositas dan densitas material diketahui dengan melakukan pengujian menggunakan hukum Archimedes. Semakin lambat laju pemanasan yang dilakukan maka kekerasan dan densitas material akan semakin baik. Densitas dan porositas merupakan parameter fisis material yang berbanding terbalik, oleh karena itu jika densitas material besar maka porositas materialnya akan rendah. Semakin cepat laju pemanasan yang dilakukan maka porositas material akan semakin tinggi.

Pengujian kekerasan, porositas, dan densitas dilakukan agar mengetahui nilai pada masing-masing parameter tersebut pada laju pemanasan yang berbeda yakni 2 °C/menit, 5 °C/menit, dan 8 °C/menit. Nilai dari ketiga parameter yang didapat akan dianalisis dan dibandingkan dengan nilai mekanik (kekerasan) dan fisis (porositas dan densitas) material yang beredar di pasaran.

2.4 Hipotesis

Berdasarkan kajian pustaka, landasan teori, dan kerangka berfikir diatas maka dapat dirumuskan hipotesis sebagai berikut:

1. Terdapat pengaruh laju pemanasan terhadap nilai kekerasan *crucible* berbahan *evaporation boats*, grafit, dan kaolin.
2. Terdapat pengaruh laju pemanasan terhadap nilai porositas *crucible* berbahan *evaporation boats*, grafit, dan kaolin
3. Terdapat pengaruh laju pemanasan terhadap nilai densitas *crucible* berbahan *evaporation boats*, grafit, dan kaolin.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Terdapat pengaruh laju pemanasan terhadap nilai kekerasan material *crucible* berbahan *evaporaton boats*, grafit, dan kaolin. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada spesimen yang diberikan laju pemanasan 2 °C/menit, dengan nilai rata-rata HVN 0,312 $gf/\mu m^2$. Nilai kekerasan terendah diperoleh pada laju pemanasan 8 °C/menit, dengan nilai rata-rata HVN 0,165 $gf/\mu m^2$. Jika laju pemanasan yang digunakan semakin lambat, maka kekerasannya akan semakin meningkat. Apabila laju pemanasan yang digunakan semakin cepat, maka kekerasan *vickers* akan semakin rendah.
2. Terdapat pengaruh laju pemanasan terhadap nilai porositas material *crucible* berbahan *evaporaton boats*, grafit, dan kaolin. Laju pemanasan 2 °C/menit menghasilkan porositas yang rendah (37%) sedangkan laju pemanasan 8 °C/menit menghasilkan porositas yang tinggi (57%). Nilai porositas pada pengujian ini berada pada level *high porosity* dengan porositas terendahnya sebesar 0,37 (37%), dan masih berada dibawah standar pemasaran *crucible*. Semakin cepat laju pemanasan yang digunakan, maka porositasnya juga akan semakin tinggi. Jika laju pemanasan rendah, maka porositasnya akan rendah, karena porositas berbanding terbalik dengan densitas.
3. Terdapat pengaruh laju pemanasan terhadap nilai densitas material *crucible* berbahan *evaporaton boats*, grafit, dan kaolin. Laju pemanasan 2 °C/menit menghasilkan nilai

densitas rata-rata sebesar $2,00 \text{ g/cm}^3$, sedangkan laju pemanasan $8 \text{ }^\circ\text{C}/\text{menit}$ menghasilkan nilai densitas rata-rata sebesar $1,88 \text{ g/cm}^3$. Nilai densitas tersebut telah berada diatas standar pemasaran *crucible* ($1,75\text{-}1,85 \text{ g/cm}^3$). Laju yang lambat dapat menghasilkan nilai densitas yang besar, sedangkan laju yang cepat dapat menghasilkan nilai densitas yang kecil. Nilai densitas material akan berbanding terbalik dengan nilai porositasnya, jika densitas besar maka nilai porositasnya akan kecil.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas, maka peneliti menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Untuk menghasilkan nilai kekerasan terbaik dalam proses pembuatan *crucible* berbahan *evaporation boats*, grafit, dan kaolin maka dalam penyinterannya dapat menggunakan laju pemanasan $2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{menit}$.
2. Untuk menghasilkan nilai porositas terbaik dalam proses pembuatan *crucible* berbahan *evaporation boats*, grafit, dan kaolin maka dalam penyinterannya dapat menggunakan laju pemanasan $2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{menit}$.
3. Untuk menghasilkan nilai densitas terbaik dalam proses pembuatan *crucible* berbahan *evaporation boats*, grafit, dan kaolin maka dalam penyinterannya dapat menggunakan laju pemanasan $2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{menit}$.
4. Untuk memperoleh hasil sinter *crucible* yang lebih baik dari pengujian ini maka disarankan menggunakan temperatur *sintering* lebih tinggi dari $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ sehingga spesimen tidak mudah rapuh.

5. Perlu adanya penelitian variasi laju pemanasan baik yang lebih cepat maupun lebih lambat dari penelitian ini, agar diketahui grafik hasil penelitiannya secara lengkap.
6. Disarankan melakukan penelitian lanjutan pada komposisi material ini untuk mengetahui sifat material yang lain seperti kekuatan *bending*, konduktivitas termal, *Compress strength*, dan *Compressive strength*.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina. 2013. *Pengaruh laju pemanasan terhadap kuat tekan keramik komposit tanah liat (clay)/pasir besi/abu sekam padi*. ETD Unsyiah Universitas Syiah Kuala.
<http://etd.unsyiah.ac.id/index.php?search=Pencarian&keywords=Pengaruh+laju+pemanasan+terhadap+kuat+tekan+keramik+komposit+tanah+liat+%28clay+%29%2Fpasir+besi%2Fabu+sekam+padi>. 25 Januari 2019 (18:27).
- Ailin, dkk. 2017. **Studi Grafit Berdasarkan Analisis Petrografi dan Sem/Edx pada Daerah Windesi Kabupaten Teluk Wondama, Provinsi Papua Barat**. Prosiding Seminar Nasional XII Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi 2017 Yogyakarta. Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta. Yogyakarta. 185-191.
- Alim, M.I., dkk. 2017. **Densitas dan Porositas Batuan**. <http://id.scribd.com/document/389241492/laporan-densitas-dan-porositas-batuan-pdf> e-mail: muthiaantares@gmail.com. 28 Januari 2019 (23:59).
- Anonim. 2015. *3M™ Evaporation Boats*. Jakarta: 3M Advanced Materials Division.
- _____. 2015. *3M™ Evaporation Boats*. Jakarta: 3M Advanced Materials Division.
- _____. nd. **Graphite Crucibles Properties (Theoretical)**. <https://www.americanelements.com/graphite-crucibles-7782-42-5>. 8 Januari 2019 (19.28).
- _____. nd. Nissin refratech co.ltd. **Graphite Crucible**. http://www.nissin-refratech.co.jp/english/en_kokuenrutubo_page.htm. 8 Januari 2019 (00.26).
- _____. nd. Ozgraphite.en.alibaba.com. **Crucible Graphite**. https://www.alibaba.com/?src=sem_ggl&cmpgn=261454867&adgrp=16418544187&fditm=&tgt=kwd-905130107&locintrst=&locphyscl=1007719&mtchtyp=p&ntwrk=g&device=c&dvcmdl=&creative=232561557278&plcmnt=&plcmntcat=&p1=&p2=&aceid=&position=1t1&gclid=CjwKCAjw67XpBRBqEiwA5RCocQ58WjWmutEXIzrTKji462Upe1hWNL1pa6EBPZ3BZXygdimru7ifGBoCM0oQAvD_BwE. 8 Januari 2019 (14.11).
- Bayuseno, P.B. 2009. **Pengembangan dan Karakterisasi Material Keramik untuk Dinding Bata Tahan Api Tungku Hoffman K1**. Jurnal Teknik Mesin. 11(4): 5-10.
- Budihartono, S. 2012. **Pengaruh Pressureless Sintering Komposit Al-Kaolin Terhadap Densitas, Kekerasan dan Struktur Mikro**. Jurnal Traksi. 12(1): 1-14.
- 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 dan Identifikasi Mutu Kaolin Bangka Berdasarkan Syarat Mutu Kaolin Sebagai Bahan Baku**

- Keramik Halus (SIL.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.
- Hidayah, R.A. 2005. **Studi Ganesha Kaolin dan Pemanfaatannya.** Seminar untuk Memenuhi Sebagian Kurikulum Tingkat Sarjana pada Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknologi Mineral Institut Sains dan Teknologi AKPRIND Yogyakarta. Yogyakarta. 2005.
- 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.**
- Istana, B., A. Ridwan, dan A. Rilnanda. 2017. **Optimasi Tungku Peleburan Logam Aluminium Kapasitas 10 Kg Berbahan Bakar Oli Bekas Skala Laboratorium.** Jurnal Photon. 8(1): 167-173.
- Jamaluddin. 2010. **X-RD (X-Ray Diffractions).** Makalah Fisika Material. Universitas Haluoleo. Kendari. Kumayasari, M.F., dan A.I. Sultoni. 2017. **Studi Uji Kekerasan Rockwell Superficial Vs Micro Vickers.** Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri. 2(2): 85-89.
- Kharisna, N., dan Sunyoto. 2018. **Pengaruh Waktu dan Temperatur Sintering Terhadap Karakteristik Paduan Tanah Liat Kebumen, Fly Ash Batubara dan Magnesium Oksida Sebagai Bahan Refraktori.** Jurnal Teknik Mesin.
- Lukman, A.D. 2017. **Pengaruh Thermal Shock dan Komposisi Arang Sekam Padi, Grafit Terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Kowi (Crusible) Berbahan Dasar Clay (Lempung).** Jurnal Teknik Mesin.
- Maulana, N.B. 2018. **Pengaruh Variasi Beban Indentor Vickers Hardness Tester Terhadap Hasil Uji Kekerasan Material Aluminium dan Besi Cor.** Jurnal MER-C. 10(1): 1-5.
- Mudzakir, H., dkk. 2018. **Pengaruh Variasi Komposisi Alumina (Al₂O₃), Magnesium Oxide (Mgo) Dan Clay Dari Limbah Genteng Mentah Terhadap Kekuatan Impact Dan Struktur Mikro Refractory Pada Tungku Listrik.** Jurnal Teknik Mesin. E-mail: mudzakirhanif@gmail.com.
- Nugroho, A., dkk. 2012. **Analisis Pengaruh Waktu Tahan Sintering dan Ukuran Partikel Material Ramming Terhadap Hasil Sintering pada Refraktori Magnesia (MgO).** Jurnal Teknik Pomits. 1(1): 1-5.
- _____, S., dan Yusuf Urmadhani. 2011. **Karakterisasi Material Refraktori Basa Berbahan Dasar Magnesia (Mgo) Guna Lining Tungku Induksi Pengecoran Baja Di PT X Klaten.** Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2. Universitas Wahid Hasyim. Semarang. 125-129.
- Pierson, H.O. 1996. **Handbook of Refractory Carbides and Nitrides.** United states: Noyes Publication.

- Putri, T.D. dan A. Putra. 2017. **Analisis Pengaruh Temperatur Pemanasan Terhadap Sifat Fisis Sinter Silika dan Tipe Fluida (Air) pada Mata Air Panas Sapan Maluluang, Kecamatan Alam Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan.** Jurnal Fisika Unand 6(1): 2-3.
- Rahmat, M.R. 2015. **Perancangan dan Pemnguatan Tungku Heat Threatment.** Jurnal Ilmiah Teknik Mesin. 3(2): 133-148.
- Ridha, M., dan Darminto. 2016. **Analisis Densitas, Porositas, dan Struktur Mikro Batu Apung Lombok dengan Variasi Lokasi Menggunakan Metode Archimedes dan Software Image-J.** Jurnal Fisika dan Aplikasinya. 12(3): 124-130.
- Rifai, M., dan S.B. Hartono. 2016. **Pengaruh Proses Sintering pada Temperatur 800°C Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Bending pada Produk Gerabah.** TRAKSI 16 (2): 1-9.
- Sari, D.R., dkk. 2017. **Pengaruh Thermal Shock Resistance Terhadap Makro Struktur dan Ketahanan Impact Kowi Pelebur (Crusible) Berbahan Komposit Abu Sekam Padi/Grafit/Kaolin.** Jurnal Kompetensi Teknik Mesin. 9(1): 53-59.
- Setiabudi, A., dkk. 2012. **Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia.** Cetakan Pertama. Bandung: UPI Press.
- Setiawan, F., dkk. 2017. **Analisis Porositas dan Kuat Tekan Campuran Tanah Liat Kaolin dan Kuarsa Sebagai Keramik.** Jurnal MIPA. 40(1): 24-27.
- Sudjana, Hardi. 2008. **Teknik Pengecoran Logam. Jilid 2.** Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Sumpena. 2017. **Pengaruh Paduan Serbuk Fe12% pada Aluminium terhadap Porositas dan Struktur Mikro dengan Metode Gravity Casting.** Jurnal Engine 1(1): 20-25.
- Surdia, T., dan K. Chijjiwa. 2000. **Teknik Pengecoran Logam. Cetakan Kedelapan.** Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- _____, dan S. Saito. 1999. **Pengetahuan Bahan Teknik. Cetakan keempat.** Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Umbarwati, dkk. **Pengaruh Suhu Sintering terhadap Karakteristik Fisis Mekanik Glass – Ceramics Mgo.Sio2 Berbasis Silika Sekam Tebu.** journal.unair.ac.id/download-fullpapers-jfta7be050c23full.pdf e-mail: tri-y-u-10@fst.unair.ac.id. 8 Januari 2019 (15.12).
- Wendlandt, R.F. dan J.S. Huebner. 1982. **The Redox Potential of Boron Nitride and Implications For Its Use As A Crucible Material In Experimental Petrology.** American Mineralogist. 67: 170-174.
- Wicaksono, B.A. 2010. **Karakteristik Sifat Fisis dan Mekanis Paduan Al-Cu Perlakuan Aging.** Tugas Akhir. Yogyakarta.

- Widodo, R.D. dan Rusiyanto. 2011. **Pengaruh Komposisi Kaolin Terhadap Densitas dan Kekuatan *Bending* pada Komposit *Fly Ash*-Kaolin.** Sainteknol. 9(1): 45-50.
- Wilastri, S., dkk. 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.
- 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.