



**PENGARUH *THERMAL SHOCK RESISTANCE* DAN
KOMPOSISI BAHAN REFRAKTORI TERHADAP
KEKUATAN *IMPACT* DAN STRUKTUR MAKRO**

Skripsi

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

Oleh

April Lianita Sari

NIM.5201415007

**PENDIDIKAN TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : April Lianita Sari

NIM : 5201415007

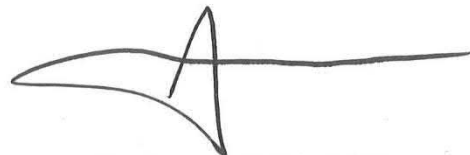
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Judul : Pengaruh *Thermal Shock Resistence* dan Komposisi Bahan Refraktori terhadap Kekuatan *Impact* dan Struktur Makro

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

Semarang, 1 Agustus 2019

Pembimbing ,



Rusiyanto, S.Pd., M.T.

NIP. 197403211999031002


PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Pengaruh *Thermal Shock Resistance* dan Komposisi Bahan Refraktori terhadap Kekuatan *Impact* dan Struktur Makro” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 14 bulan 08 tahun 2019.


Oleh:

Nama : April Lianita Sari
NIM : 5201415007
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin


Ketua Panitia


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


Sekretaris


Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., S.T., M.T.
NIP. 196901061994031003

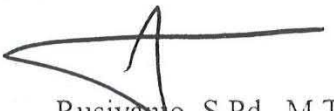
Penguji 1


Drs. Sunyoto, M.Si.
NIP. 196511051991021001

Penguji 2


Samsudin Anis, S.T., P.hD.
NIP. 197601012003121002

Pembimbing


Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 19731017200003001

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang



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

PERNYATAN 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 di kemudian 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,


April Lianita Sari
NIM. 5201415007

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO :

“Process, process and progress”

PERSEMBAHAN

1. Allah SWT
2. Nabi Muhammad SAW
3. Ibu dan Bapak
4. Adik
5. Saudaraku
6. Dosen-dosenku
7. Sahabat-sahabatku
8. Almamaterku

SARI ATAU RINGKASAN

Sari, A.L, 2019. Pengaruh *Thermal Shock Resistence* dan Komposisi Bahan Refraktori terhadap Kekuatan *Impact* dan Struktur Makro. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Rusiyanto, S.Pd., M.T.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh *thermal shock* dan komposisi bahan refraktori terhadap kekuatan *impact* dan struktur makro.

Metode yang digunakan pada penelitian ini merupakan metode eksperimen. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu variasi suhu *thermal shock* dan variasi komposisi bahan refraktori (alumina, abu sekam padi dan kaolin). variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kekuatan *impact* dan struktur makro. Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif. data hasil penelitian disajikan dalam bentuk tabel, grafik dan gambar.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kekuatan *impact* tertinggi sebesar 0,009560 J/mm² diperoleh pada komposisi bahan 55% alumina, 10% abu sekam padi dan 35% kaolin tanpa perlakuan *thermal shock* dan terendah sebesar 0,004049 J/mm² dengan variasi suhu *thermal shock* (ΔT) 300 °C dan hasil foto makro menunjukkan patahan getas dengan ciri-ciri permukaan patahan yang datar dan terlihat mengkilap.

Kata kunci: refraktori, komposisi, *thermal shock*, kekuatan *impact*, struktur makro

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh *Thermal Shock Resistance* dan Komposisi Bahan Refraktori terhadap Kekuatan *Impact* dan Struktur Makro”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan memperoleh 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 yaumil akhir nanti, Aamiin.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan bebbagai 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, M.T.,IPM, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
 3. Rusiyanto, S.Pd., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Dosen Pembimbing yang telah berkenan meluangkan waktunya serta penuh kesabaran memberikan bimbingan, motivasi, pengarahan dalam penyusunan skripsi.
 4. Drs. Sunyoto, M.Si, selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan skripsi ini.
 5. Samsudin Anis, S.T., P.hD., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan skripsi ini.
 6. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan perhatian dan dukungannya.
 7. Teman-teman angkatan 2015 dan semua pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
- Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan maupun industry di masyarakat.

Semarang, 31 Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN KELULUSAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iii
MOTTO	iv
SARI ATAU RINGKASAN	v
PRAKATA.....	vi
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Pembatasan Masalah	4
1.4 Rumusan Masalah	4
1.5 Tujuan	5
1.6 Manfaat	5
BAB II. KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	6
2.1 Kajian Pustaka.....	6
2.2 Landasan Teori.....	13
2.3 Kerangka Pikir.....	29
2.4 Hipotesis.....	31
BAB III. METODE PENELITIAN	14
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan	31
3.2 Desain Penelitian.....	31

3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	37
3.4 Parameter Penelitian.....	41
3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	43
3.6 Kalibrasi Instrumen.....	43
3.7 Teknik Analisis Data.....	44
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Deskripsi Data.....	42
4.2 Analisis Data	48
4.3 Pembahasan.....	60
BAB V. PENUTUP.....	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	68
LAMPIRAN.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tungku Induksi	16
Gambar 2.2 Tungku Krusibel.....	16
Gambar 2.3 Struktur alumina.....	21
Gambar 2.4 Struktur kaolin.....	23
Gambar 2.5 Mesin uji <i>impact</i>	25
Gambar 2.6 Benda uji <i>impact</i>	26
Gambar 2.7 Pembebanan uji <i>impact</i>	26
Gambar 2.8 Kerangka pikir.....	29
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	33
Gambar 3.2 Ukuran spesimen	34
Gambar 3.3 Ayakan	36
Gambar 3.4 Jangka sorong	36
Gambar 3.5 Timbangan digital	36
Gambar 3.6 Cetakan.....	37
Gambar 3.7 Oven	37
Gambar 3.8 Alat uji <i>impact</i>	38
Gambar 3.9 Alat foto makro	38
Gambar 3.10 Serbuk Alumina.....	39
Gambar 3.11 Kaolin.....	40
Gambar 3.12 Abu sekam padi.....	40
Gambar 3.13 Alkohol 70%.....	40

Gambar 4.1 Foto makro spesimen komposisi 1	45
Gambar 4.2 Foto makro spesimen komposisi 2	46
Gambar 4.3 Foto makro spesimen komposisi 3	47
Gambar 4.4 Foto makro spesimen komposisi 4	47
Gambar 4.5 Foto makro spesimen komposisi 5	48
Gambar 4.6 Grafik hasil uji <i>impact</i> komposisi 1	49
Gambar 4.7 Grafik hasil uji <i>impact</i> komposisi 2	50
Gambar 4.8 Grafik hasil uji <i>impact</i> komposisi 3	51
Gambar 4.9 Grafik hasil uji <i>impact</i> komposisi 4	52
Gambar 4.10 Grafik hasil uji <i>impact</i> komposisi 5	53
Gambar 4.11 Grafik hasil uji <i>impact</i> komposisi 1-5	54

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Komposisi spesimen	4
Tabel 2.1 Komposisi sekam padi	17
Tabel 2.2 Analisis proksimasi	17
Table 2.3 Komponen abu sekam padi	18
Tabel 2.4 Kelas <i>high alumina</i>	19
Tabel 2.5 Kelas alumina A6-A9	20
Tabel 2.6 Sifat Mekanik Alumina.....	20
Table 2.7 Kelas kaolin.....	22
Table 2.8 Karakteristik kaolin.....	22
Tabel 3.1 Parameter penelitian.....	30
Tabel 4.1 Hasil uji <i>impact</i>	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan uji <i>impact</i>	73
Lampiran 2 Dokumentasi penelitian	95
Lampiran 3 Surat tugas dosen pembimbing.....	97

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara agraris dengan luas wilayah panen padi sebesar 14.116.638 ha dengan hasil produktivitas padi sebanyak 70.846.465 ton pada tahun 2014 dan mengalami peningkatan pada tahun 2015 sebesar 4.551.376 ton (Badan Pusat Statistik, 2015). Penggilingan padi menghasilkan limbah organik berupa sekam padi yang biasanya dimanfaatkan sebagai media tanam, bahan bakar pembuatan batu bata dan pupuk. Menurut Kumar, dkk (2012) setiap hasil penggilingan 1000 kg padi menghasilkan sekitar 220 kg (22%) sekam padi dan ketika sekam padi dibakar menghasilkan 55 kg (25%) abu sekam padi. Sekam padi yang dibakar mengandung silika amorf reaktif sebesar 87-97% (Krishnarao, dkk. 2001).

Menurut Agung, dkk (2013) silika biasanya digunakan dalam industri kaca, industri refraktori dan keramik, dengan tingginya kandungan silika yang terdapat dalam abu sekam padi maka abu sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam pembuatan refraktori. Penelitian bahan refraktori dengan menggunakan abu sekam padi telah diteliti dengan hasil bahwa penggunaan abu sekam padi dapat meningkatkan konduktivitas termal (Sadik, dkk. 2014) dan menurunkan tingkat porositas (Chopra, dkk. 2015).

Bahan refraktori merupakan bahan non logam yang tahan terhadap suhu tinggi. Sifat-sifat yang harus dimiliki bahan refraktori antara lain memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, memiliki titik lebur yang tinggi dan tahan terhadap tingkat abrasi

yang tinggi. Refraktori mengalami tingkat abrasi yang tinggi karena aliran partikel dengan kecepatan tinggi secara terus-menerus. Oleh karena itu bahan refraktori harus bersifat abrasif (Sadik, dkk. 2014). Salah satu bahan yang bersifat abrasif adalah alumina yang merupakan senyawa unsur non logam yang terdiri dari elemen aluminium dan oksigen. Alumina memiliki sifat keras dan kuat menahan getaran. Alumina juga mempunyai ketahanan yang baik terhadap suhu tinggi dan bersifat isolator, sehingga alumina dapat dijadikan sebagai bahan paduan dalam pembuatan bahan refraktori (Vlack 1994: 303-306).

Bahan baku lain yang dapat digunakan dalam pembuatan refraktori adalah lempung kaolin. Kaolin merupakan bahan perekat yang baik sehingga memudahkan proses pembentukan. Kaolin merupakan material lempung yang berwarna agak keputihan setelah dibakar. Kaolin memiliki sifat fisik antara lain kekerasan antara 2-25 (skala mohs), berat jenis 2,60-2,63, daya hantar listrik dan panas yang rendah sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan refraktori (Garinas, 2009).

Kaolin merupakan bahan yang memiliki karakteristik keras tetapi getas sehingga dibutuhkan bahan yang memiliki keuletan tinggi dan tahan terhadap suhu tinggi. Alumina merupakan bahan yang memiliki keuletan tinggi dan tetap stabil pada suhu tinggi sehingga dapat dijadikan sebagai bahan paduan dalam pembuatan refraktori. Dalam proses peleburan logam, panas yang terjadi di dalam tungku harus diisolasi supaya tidak banyak panas yang terbuang ke lingkungan, oleh karena itu dibutuhkan bahan yang memiliki tahanan termal yang baik dan memiliki porositas

rendah. Sobrosa, dkk (2016) melakukan penelitian “*Development of Refractory Ceramics from Residual Silica Derived from Rice Husk Ash*” dengan hasil penelitian penambahan abu sekam padi dapat menurunkan porositas dan meningkatkan sifat mekanik pada refraktori. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan abu sekam padi sebagai bahan paduan untuk menurunkan porositas pada refraktori.

Penggunaan refraktori berhubungan dengan suhu tinggi yang berkaitan dengan perubahan suhu. Dalam penelitian ini refraktori diberikan perlakuan *thermal shock resistance* untuk mengetahui ketahanan refraktori tersebut terhadap perubahan suhu. Berdasarkan pertimbangan diatas maka penulis melaksanakan penelitian pengaruh *thermal shock* dan komposisi bahan refraktori terhadap ketahanan *impact* dan sktruktur makro.

1.2 Identifikasi Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

- a. Limbah sekam padi sangat melimpah di Indonesia tetapi pemanfaatannya di dunia industri masih sedikit.
- b. Penelitian sifat mekanik refraktori dengan komposisi bahan alumina (Al_2O_3), abu sekam padi dan kaolin masih jarang dilakukan.
- c. Lempung kaolin bersifat getas sehingga diperlukan bahan paduan yang dapat meningkatkan keuletannya.
- d. Ketahanan *impact* dan struktur makro refraktori dengan komposisi alumina (Al_2O_3) abu sekam padi dan kaolin setelah mengalami perlakuan *thermal shock resistance* belum pernah diteliti.

1.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan Masalah pada penelitian ini adalah :

- a. Komposisi bahan yang digunakan dalam pembuatan refraktori terdiri dari alumina, abu sekam padi dan kaolin.
- b. Pencampuran dilakukan secara manual dengan variasi komposisi sebagai berikut :

Tabel 1.1 Komposisi spesimen

Alumina (%)	Abu Sekam Padi (%)	Kaolin (%)
15	10	75
25	10	65
35	10	55
45	10	45
55	10	35

- c. Pengujian spesimen meliputi uji *impact* dan struktur makro.
- d. Standar yang digunakan dalam pengujian *impact charpy* yaitu standar ASTM D 256, dengan spesimen uji berbentuk balok dengan ukuran 64 mm x 12.7 mm x 12.7 mm.
- e. Spesimen uji disintering pada suhu 1200 °C selama 2 jam dengan laju pemanasan 5°C/menit.
- f. Variasi perubahan suhu (ΔT) *thermal shock* yang digunakan 0 °C, 100 °C, 200 °C dan 300 °C.
- g. Tekanan kompaksi yang digunakan untuk memadatkan spesimen sebesar 80 kg/cm².

1.4 Rumusan masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana pengaruh *thermal shock* dan komposisi bahan refraktori terhadap benturan uji *impact* ?
- b. Bagaimana pengaruh *thermal shock* dan komposisi bahan refraktori terhadap struktur makro ?

1.5 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan diatas, maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

- a. Mengetahui pengaruh *thermal shock* dan komposisi bahan refraktori terhadap ketahanan uji *impact*.
- b. Mengetahui pengaruh *thermal shock* dan komposisi bahan refraktori terhadap struktur makro.

1.6 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dalam penelitian ini adalah :

- a. Sebagai bahan referensi bagi industri peleburan logam dalam hal penggunaan bahan refraktori sebagai dinding tungku peleburan logam.
- b. Data penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan referensi bagi penelitian berikutnya.
- c. Memberikan wawasan dan ilmu pengetahuan dalam bidang pengecoran logam.
- d. Memberikan pengetahuan tentang pengaruh *thermal shock resistance* dan komposisi bahan refraktori terhadap benturan uji *impact*.
- e. Memberikan pengetahuan tentang pengaruh *thermal shock resistance* dan komposisi bahan refraktori terhadap struktur makro.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian yang dilakukan oleh Sari, dkk (2017) dengan judul “Pengaruh *thermal shock resistance* terhadap makro struktur dan ketahanan *impact* kowi pelebur (*crucible*) berbahan komposit abu sekam padi/grafit/kaolin” penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fasa senyawa yang terkandung pada bahan komposit abu sekam padi/ grafit/ kaolin dengan pengujian X-Ray *Diffraction*, mengetahui pengaruh *thermal shock resistance* terhadap hasil makro struktur kowi pelebur (*crucible*) berbahan komposit abu sekam padi/ grafit/ kaolin dan mengetahui pengaruh *thermal shock resistance* terhadap ketahanan *impact* kowi pelebur (*crucible*) berbahan komposit abu sekam padi/ grafit/ kaolin. Penelitian ini menggunakan metode statistika deskriptif. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini berdasarkan pengujian X-Ray *Diffraction* menunjukkan bahwa sekam padi mengandung SiO_2 98,8% kemudian grafit dengan kandungan C 100% dan kaolin dengan kandungan kaolinite $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ 100%. Pengaruh variasi suhu *thermal shock resistance* terhadap hasil makro struktur terlihat pada butiran warna hitam yang mendominasi perlakuan *thermal shock* dengan suhu 600 °C mempunyai densitas rendah atau ketahanan *impact* yang kecil begitu juga sebaliknya. Semakin tinggi variasi suhu *thermal shock resistance* kowi pelebur (*crucible*), maka semakin rendah ketangguhan dan kekerasan pada bahan kowi pelebur, begitu juga sebaliknya.

Penelitian yang dilakukan oleh Hossain, dkk (2017) dengan judul “*Preparation of Forsterite Refractory Using Highly Abundant Amorphous Rice Husk Silica for Thermal Insulation*” dengan hasil penelitian meningkatnya konsentrasi abu sekam padi yang mengandung silika dapat menurunkan porositas dan konduktivitas termal refraktori. Nilai massa jenis dan kuat tekan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi abu sekam padi yang terdapat pada refraktori. Berdasarkan sifat fisis dan mekanik dari spesimen, bahan refraktori ini dapat digunakan sebagai bahan isolator panas pada lapisan tungku peleburan logam serta zona panas pada proses pengeringan semen.

Sobrosa, dkk (2016) melakukan penelitian dengan judul “*Development of Refractory Ceramics from Residual Silica Derived from Rice Husk Ash*” menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi silika abu sekam padi dapat menurunkan porositas. Pada uji kuat tarik dan kuat tekan menunjukkan bahwa konsentrasi silika abu sekam padi mempengaruhi nilai kekuatan tarik dan tekan refraktori, semakin tinggi konsentrasi silika abu sekam padi akan meningkatkan nilai kuat tarik dan kuat tekan refraktori. Pada uji *thermal shock* diperoleh hasil bahwa refraktori dengan konsentrasi 20% silika abu sekam padi mengalami retakan lebih cepat daripada spesimen lainnya.

Penelitian yang dilakukan oleh Silva dan Surangi pada (2017) dengan judul “*Effect of Waste Rice Husk Ash on Structural, Thermal and Run-off Properties of Clay Roof Tiles*” menunjukkan bahwa penggantian tanah liat dengan 10% abu sekam padi meningkatkan kuat tekan dibandingkan genteng tanah liat yang tidak mengandung abu sekam padi. Berdasarkan data hasil pengujian keramik dengan konsentrasi 10% abu

sekam padi memiliki kekuatan tekan dan keuletan paling baik. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan optimal abu sekam padi adalah 10% dapat meningkatkan struktural dan sifat termal juga memberikan solusi untuk mengolah abu sekam padi yang dianggap sebagai limbah menjadi bahan yang dapat dimanfaatkan.

Suarsana, dkk (2017) mengadakan penelitian tentang “Karakterisasi Konduktivitas Termal dan Kekerasan Komposit Aluminium Matrik Penguat Hibrid SiCw/Al₂O₃”. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah aluminium *fine powder* dengan kemurnian di atas 90%, serat SiCw dan bahan serbuk alumina partikel (Al₂O₃) dan larutan 96% Ethanol (CH₃COOH). Nilai porositas menurun disetiap peningkatan komposisi berat Al₂O₃ pada komposit Al+(SiC+Al₂O₃). Peningkatan sifat konduktivitas termal terjadi dengan meningkatnya presentase berat Al₂O₃ pada temperatur 600°C dengan waktu tahan 6 jam. Kekerasan dari komposit Al+(SiC+Al₂O₃) semakin meningkat dengan bertambahnya Al₂O₃, waktu tahan dan temperatur.

Penelitian Sukma, dkk (2015) dengan judul, “Peran Penguat Partikel Alumina dan Silikon Karbida terhadap Kekerasan Material Komposit Matriks Aluminium”. Komposit dibuat dari matriks Al-3Si-9Zn-6Mg dengan penguat alumina (Al₂O₃) dan silikon karbida (SiC) dengan variasi fraksi volume alumina 10% tanpa SiC, serta dengan penambahan SiC 5% dan 10%. Data hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan paling tinggi didapat pada komposit dengan penguat alumina tanpa silikon karbida dengan nilai kekerasan rata-rata 60,28 HRB dan harga impak 0,0383 J/mm². Nilai kekerasan yang lebih rendah didapat pada penambahan 5% silikon karbida

dengan nilai kekerasan 43 HRB dan harga impak 0.0383 J/mm^2 , serta untuk penambahan silikon karbida 10% didapat nilai kekerasan 41,8 HRB dan harga impak $0,0638 \text{ J/mm}^2$. Pada analisa struktur mikro, komposit dengan penambahan partikel silikon karbida tidak tersebar secara merata dan cenderung menggumpal di satu tempat.

Menurut penelitian Aminur, dkk (2018: 237-243) dengan judul “Komposit Matriks Aluminium Silikon Berpenguat Alumina dengan Proses Metalurgi Serbuk”, mengatakan bahwa hasil pengujian kekerasan dan kekuatan bending komposit Al-Si berpenguat alumina berbanding lurus dengan meningkatnya tekanan kompaksi pada komposit. Pada tekanan 500 MPa didapat nilai kekerasan tertinggi $81,53 \text{ kg/mm}^2$ dan kekuatan *bending* tertinggi $10,05 \text{ N/mm}^2$.

Penelitian yang dilakukan oleh Suarsana, (2015) dengan judul “Efek Temperatur Sintering pada Penambahan Penguat SiCw dan Al_2O_3 Partikel terhadap Karakteristik Aluminium Matrik Komposit” menghasilkan data pada penelitian kepadatan komposit $\text{Al}+(\text{SiCw}/\text{Al}_2\text{O}_3)$ dipengaruhi oleh temperatur sintering dan presentase berat penguat. Penurunan jumlah alumina yang berbentuk partikel dan peningkatan temperatur sintering pada komposit menyebabkan porositas yang terjadi pada komposit semakin tinggi. Porositas terendah diperoleh dari komposisi $80\% \text{ Al}+(11\% \text{ SiCw}+9\% \text{ Al}_2\text{O}_3)$ yaitu 4,311%. Peningkatan temperatur sintering dapat meningkatkan penyusutan pori karena ikatan antarmuka partikel serbuk menjadi homogen dan semakin merata.

Hamzah dan A. Sam (2013) melakukan penelitian dengan judul “Kekuatan *Bending* Komposit *Clay* Diperkuat dengan Alumina untuk Aplikasi *Fire Brick*”,

menunjukkan bahwa meningkatnya fraksi berat alumina dan suhu sintering akan meningkatkan densitas relatif dan kekuatan *bending*. Pada fraksi berat 60% alumina dengan suhu sintering 1300°C diperoleh nilai kekuatan *bending* tertinggi yaitu 62,14 MPa. Kenaikan fraksi berat alumina yang tidak diiringi dengan kenaikan suhu sintering akan menurunkan kekuatan *bending*.

Hamzah (2017) juga melakukan penelitian dengan judul “Kekuatan Impak Komposit *Clay* dan Alumina untuk Aplikasi *Fire Brick*” menggunakan bahan berupa *clay* yang diperoleh dari Sulawesi Tengah yang telah dikalsinasi pada temperatur 800°C dengan waktu tahan 30 menit dan alumina sebagai penguat. Variasi presentase berat alumina yang digunakan 0%, 15%, 30%, 45% dan 60% dengan variasi temperatur sintering 1000°C, 1100°C, 1200°C dan 1300°C. Spesimen dibuat *green body* dengan ukuran 55 mm x 10 mm x 10 mm dan dikompaksi dengan tekanan 50 MPa. Hasil dalam penelitian ini menunjukkan nilai kekuatan impak tertinggi diperoleh pada komposit dengan presentase berat alumina 60% dan temperatur sintering 1300°C sebesar 3 kJ/m².

Penelitian yang dilakukan oleh Suprpto, dkk (2017) dengan judul “Efek Komposisi dan Perlakuan Sintering pada Komposit Al/(SiCw+Al₂O₃) terhadap Sifat Fisik dan Keausan”. Dalam penelitian ini bahan yang digunakan berupa aluminium matrik, Al₂O₃ partikel serta SiC *whisker*. Hasil penelitian mengatakan bahwa peningkatan presentase berat alumina akan meningkatkan keausan dan densitas, dimana nilai densitas tertinggi adalah 2,589 gr/cm³. Sedangkan untuk porositas berbanding terbalik dengan nilai keausan, dimana peningkatan presentase berat alumina akan menurunkan porositas dengan nilai porositas terendah 4,311%.

Widyastuti, dkk (2008) mengadakan penelitian dengan judul “Kompaktibilitas Komposit Isotropik Al/Al₂O₃ dengan Variabel Waktu Tahan Sinter”. Pada penelitian ini bahan yang digunakan untuk membuat komposit adalah aluminium sebagai matrik dan Al/Al₂O₃ sebagai penguat. Variasi campuran penguat alumina yang digunakan adalah 10%, 20%, 30% dan 40% dengan gaya tekan kompaksi 15 kN dan suhu sintering 600°C. Hasil pada penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi presentase berat penguat, maka akan meningkatkan kompaktibilitas komposit. Waktu tahan sintering mempengaruhi tingkat porositas, semakin lama waktu tahan sintering tingkat porositas menurun. Pada waktu tahan 6 jam terjadi *cracking* yang menyebabkan nilai modulus elastisitas menurun akibat kepadatan kompaksi yang tidak merata. Waktu tahan sintering terbaik didapatkan selama 2 jam pada fraksi volume penguat 40% dengan modulus elastisitas sebesar 173,26 GPa.

Berdasarkan penelitian Fahmi (2015: 42-48) dengan judul “Analisa Kekerasan dan *Fracture Toughness* Alumina Diperkuat Serbuk Aluminium dan Tembaga”. Spesimen uji dikompaksi dengan tekanan sebesar 140 MPa dan diberikan perlakuan sintering pada suhu sinter 1150°C dengan laju pemanasan 5°C/menit. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kekerasan dengan metode *rockwell* dan *fracture toughness* dengan *skema four point bending*. Nilai kekerasan dan *fracture toughness* tertinggi diperoleh pada variasi komposisi 60% Al₂O₃ + 20% Al + 20% Cu masing-masing sebesar 76,83 HRc dan 1,755 Mpa.m^{1/2}.

Amin dan Irawan (2008) dengan judul “Pengaruh Tekanan Kompaksi terhadap Karakterisasi Keramik Kaolin yang Dibuat dengan Proses *Pressureless* Sintering”.

Ukuran serbuk kaolin yang digunakan 325 *mesh* dibuat spesimen dengan bentuk silindris. Variasi tekanan kompaksi 20, 25, 30, 35, 40, 45, dan 50 MPa dengan variasi suhu sintering 1400°C, 1450°C dan 1500°C. Tekanan kompaksi berpengaruh terhadap harga densitas dan kekerasan dari kaolin, semakin tinggi tekanan kompaksi dan suhu sinter akan meningkatkan harga densitas dan kekerasan kaolin. Harga densitas dan kekerasan tertinggi masing-masing sebesar $(2,62 \pm 0,01)$ gram/cm³ dan 8,37 GPa diperoleh pada tekanan kompaksi 50 MPa dengan temperatur sintering 1500°C. Sedangkan harga *fracture toughness* tertinggi diperoleh pada tekanan 25 MPa dengan temperatur sintering 1500°C sebesar 3,12 MPa.

Penelitian yang dilakukan oleh Hidayat dan Rahmat (2011) dengan judul “Sifat Fisik dan Kekuatan *Bending* pada Komposit *Feldspar-Kaoline Clay*”. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Feldspar/Kaoline Clay*. Variasi komposisi berat kaolin yang digunakan yaitu 0%, 10% dan 20% dengan variasi temperatur sintering 900 °C, 1000 °C dan 1100 °C. Pada suhu sintering 900 – 1100 °C harga densitas komposit meningkat ditiap variasi komposisi kaolin. harga densitas tertinggi diperoleh pada komposisi 20% kaolin dengan temperatur sintering 1100 °C. Penambahan kaolin akan meningkatkan kekuatan *bending* komposit *feldspar-clay*, hal ini dikarenakan kaolin mengandung alumina yang dapat meningkatkan kekuatan dari material komposit. Harga kekuatan *bending* tertinggi diperoleh pada penambahan 20% kaolin.

Berdasarkan penelitian Siagian dan Martha (2012) dengan judul “Studi Pembuatan Keramik Berpori Berbasis *Clay* dan Kaolin Alam dengan Aditif Abu Sekam Padi”. Bahan yang digunakan dalam penelitian terdiri dari *clay*, kaolin dan abu

sekam padi dengan variasi komposisi abu sekam padi 0%, 5%, 10% dan 15% dengan suhu sintering 900 °C, 1000 °C dan 1100 °C dengan laju pemanasan 10 °C/menit dan waktu tahan selama 4 jam. Variasi komposisi abu sekam padi berpengaruh terhadap karakteristik keramik, dimana penambahan komposisi abu sekam padi meningkatkan porositas dan sifat mekanik keramik, sedangkan nilai densitas dan susut bakar menurun. Peningkatan suhu sintering berpengaruh terhadap peningkatan densitas, susut bakar, kuat tekan dan kekerasan. Pada analisa struktur dengan metode XRD diperoleh fasa dominan berupa *aluminium silicate* pada komposisi 5% abu sekam padi untuk suhu sintering 1100°C.

Setiawan, dkk (2017) dengan judul “Analisis Porositas dan Kuat Tekan Campuran Tanah Liat Kaolin dan Kuarsa sebagai Keramik” menunjukkan bahwa penambahan pasir kuarsa berpengaruh terhadap sifat mekanik keramik, dimana penambahan pasir kuarsa akan menurunkan nilai kekerasan keramik. Pada komposisi 50% kaolin dan 50% pasir kuarsa didapatkan nilai kekerasan dan sifat fisik yang optimum yaitu nilai kekerasan sebesar 342,53 kgf/cm² dan porositas sebesar 34,83%.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Refraktori

Menurut Surdia (1992), refraktori adalah bahan anorganik non logam yang sukar meleleh pada suhu tinggi dan digunakan dalam industri yang berhubungan dengan suhu tinggi seperti pengecoran logam sebagai dinding tungku. Refraktori harus tahan terhadap abrasi, gas-gas panas dan reaksi kimia antara refraktori dan bahan yang berhubungan dengan refraktori pada suhu tinggi. Refraktori yang digunakan sebagai

bahan dalam pembuatan dinding tungku peleburan logam bersifat isolator termal. Salah satu sifat dasar yang diperlukan bahan isolasi adalah hantaran termal yang rendah.

Sifat umum bahan refraktori adalah :

1. Tahan terhadap suhu tinggi.
2. Bersifat isolator.
3. Tahan terhadap kejutan termal.
4. Tahan korosi terhadap slag asam dan basa.
5. Tahan terhadap abrasi.

Jenis refraktori berdasarkan komposisi kimianya (Djaja, 2008) ada 3 yaitu :

1. Refraktori Asam

Bahan yang termasuk golongan refraktori asam adalah kuarsa dan silika. Silika akan memuai pada temperatur tinggi sehingga tidak akan ada kebocoran pada permukaan dinding kontak refraktori dengan bahan leburan. Refraktori asam mempunyai keunggulan harganya yang murah dan bahan leburan tidak terkontaminasi oleh bahan refraktori pada lapisan dinding tungku. Kekurangan refraktori asam adalah tidak memiliki ketahanan yang baik terhadap terak (*slag*) dan konduktifitas termal yang rendah sehingga panas yang hilang karena konduksinya kecil.

2. Refraktori Netral

Bahan yang termasuk golongan refraktori netral adalah spinel FeO, Cr₂O₃ dan kromit. Cr₂O₃ yang tereduksi menjadi krom masuk ke dalam leburan menjadikan lapisan dinding tungku lebih mudah aus. Ketahanan refraktori netral terhadap

terak (slag) yang mengandung FeO tidak sebaik refraktori basa. Jenis refraktori netral yang banyak digunakan adalah spinel berbahan utama alumina (Al_2O_3).

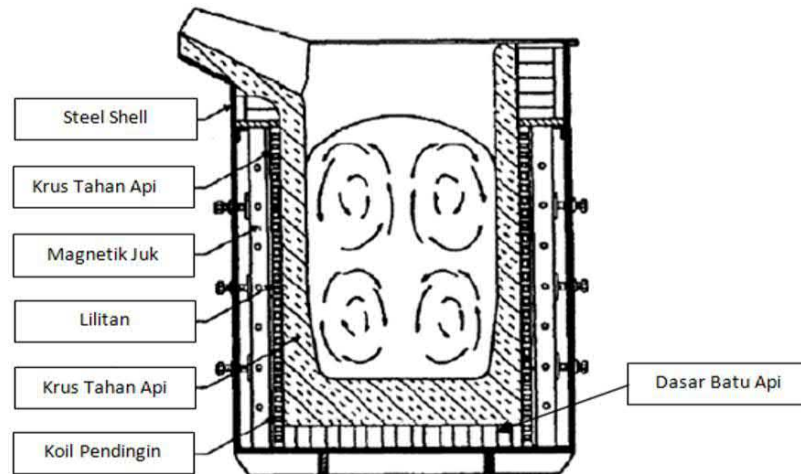
3. Refraktori Basa

Bahan yang termasuk golongan refraktori basa adalah magnesita dan magnesit (MgO). Pada saat temperatur tinggi magnesita akan menyusut yang mengakibatkan retakan pada permukaan kontak, meskipun retakan yang dihasilkan halus tetapi retakan akan berlanjut sampai ke lilitan tungku induksi dan menyebabkan kerusakan tungku. Kelemahan refraktori jenis ini adalah tingginya kontaminasi bahan refraktori terhadap leburan akibat dari logam yang tertinggal di dalam retakan setelah tungku berhenti beroperasi. Sisa leburan tersebut ikut ke dalam peleburan selanjutnya yang akan mengubah spesifikasi hasil peleburan.

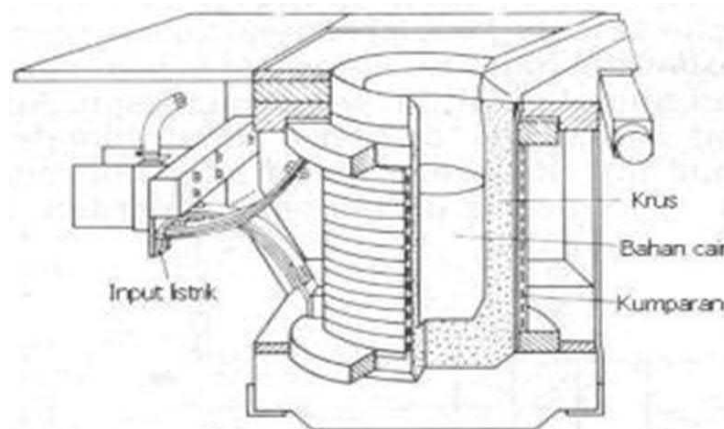
Berdasarkan bentuknya refraktori dibagi menjadi empat golongan (Rahmat, 2015) yaitu :

- 1) Bata api refraktori (*refractory brick*)
- 2) Castable/ beton refraktori (*refractory castable*)
- 3) Mortar refraktori (*refractory mortar*)
- 4) Refraktori *anchor*

Salah satu aplikasi bahan refraktori yaitu sebagai tungku peleburan logam. Tungku peleburan terdapat beberapa jenis antara lain tungku induksi, tungku kupola dan tungku krusibel.



Gambar 2.1 Tungku induksi (Sumber: Rahmat, 2015)



Gambar 2.2 Tungku krusibel (Sumber: Rahmat, 2015)

2.2.2 Abu Sekam Padi

Abu sekam padi diperoleh dari pembakaran sekam padi yang merupakan bahan sisa atau limbah hasil penggilingan padi. Dari proses penggilingan padi diperoleh sekam padi sekitar 20-30% dari berat gabah. Sekam padi merupakan lapisan keras yang meliputi kariopsis yang terdiri dari dua belahan yang disebut lemma dan palea yang saling bertautan (Patabang, 2012: 287). Menurut balai penelitian pascapanen pertanian (2001) sekam padi mengandung beberapa unsur sebagai berikut:

Tabel 2.1 Komposisi Sekam Padi (Sumber Balit Pascapanen Pertanian 2001)

Komponen	Kandungan (%)
Menurut Suharno (1979)	
Kadar air	9,02
Protein kasar	3,03
Lemak	1,18
Serat kasar	35,68
Abu	17,71
Karbohidrat kasar	33,71
Menurut DTC-IPB	
Karbon (zat arang)	1,33
Hidrogen	1,54
Oksigen	33,64
Silika (SiO ₂)	16,98

Kandungan sekam padi yang dibakar dan dilakukan analisis proksimasi akan menghasilkan beberapa kandungan zat.

Tabel 2.2 Analisis proksimasi arang sekam padi (Patabang, 2012)

Sifat	Fraksi Massa
Kelembaban (%)	2,67
Abu (%)	39,06
Zat yang menguap (%)	42,92
Fixed carbon (%)	15,35
Nilai kalor (kal/g)	2789

Berdasarkan kandungan unsur yang terdapat pada sekam padi tersebut, sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku industri kimia, bahan baku industri bangunan, karena mengandung silika (SiO₂) sebagai bahan campuran semen *portland*, bahan isolasi dan campuran pada bata merah dan sebagai bahan bakar karena mengandung selulosa yang cukup tinggi sehingga pembakaran yang ditimbulkan merata dan stabil. Sekam padi memiliki kerapatan jenis sebesar 125 kg/m³ (Badan pengkajian dan penerapan teknologi, 2011). Menurut Kumar, dkk (2012) hasil penggilingan padi menghasilkan 22% sekam padi dan ketika sekam padi dibakar

menghasilkan 25% abu sekam padi. Kandungan senyawa yang terdapat dalam abu sekam padi.

Tabel 2.3 Komponen kimia dan fisika abu sekam padi (Bakri, 2009)

Chemicals		Physics
SiO ₂ (% berat)	72,28	Kerapatan gembur = 760 kg/m ³
Al ₂ O ₃ (% berat)	0,37	Lolos ayakan 45 μm = 75%
Fe ₂ O ₃ (% berat)	0,32	Tidak lolos ayakan 45 μm = 25%
CaO (% berat)	0,65	
Hilang pijar (% berat)	21,43	

Abu sekam padi mengandung silika yang bersifat polar sehingga terbentuk aglomerasi (Marlina dan Hari, 2017). Penyebaran abu sekam padi yang lebih merata menyebabkan kontak antar partikel lebih banyak sehingga ikatan antar partikel menjadi semakin tinggi. Semakin tinggi ikatan antar partikel penyusun suatu bahan maka semakin tinggi pula tingkat kekuatan dan kekerasan bahan tersebut (Akrom, dkk 2010). Silika (SiO₂) merupakan material yang mengandung dua unsur yaitu silikon dan oksigen yang banyak ditemukan pada batuan, tanah, pasir dan tanah liat. Berat jenis silika tergolong rendah karena struktur silika yang cukup kompleks dan tidak tersusun padat yaitu sebesar 2,65 g/cm³ pada suhu ruang. Titik lebur silika yaitu 1710 °C dengan kondisi tersebut silika termasuk material silikat yang memiliki kondisi paling stabil. Silika memiliki sifat termal yang baik yaitu tahan terhadap kejutan panas dan tahan terhadap reaksi kimia (Sofyan 2010: 134-140). Silika dimanfaatkan sebagai bahan dalam pembuatan kaca, gelas, jendela dan bahan refraktori. Sobrosa, dkk (2017) melakukan penelitian menurutnya penambahan abu sekam padi pada refraktori dapat meningkatkan nilai kekuatan tarik dan kuat tekan refraktori. Penelitian yang dilakukan

oleh Hossain, dkk (2017) menyatakan bahwa penambahan abu sekam padi pada refraktori dapat menurunkan porositas.

2.2.3 Alumina

Alumina (Al_2O_3) adalah senyawa unsur non logam yang terdiri dari elemen aluminium dan oksigen. Senyawa alumina bersifat polimorf dan struktur $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (corundum) struktur kristalnya membentuk tumpukan padat heksagonal. Alumina mempunyai daya tahan terhadap slip yang cukup tinggi karena mempunyai koordinasi atom yang lebih kompleks dari masing-masing komponen (Vlack 1994: 303).

Pemanfaatan alumina cukup luas antara lain dalam bidang mekanik sebagai *bearing*, pahat, *inner lining* dalam bidang elektronik sebagai isolator listrik dan substrat elektronik dalam bidang medis sebagai bio material dan bahan refraktori suhu tinggi. Perubahan fasa alumina dari γ ke α pada suhu lebih dari 1000°C bersifat *irreversible* menghasilkan struktur mikro dengan derajat hubungan porositas yang tinggi (Sebayang, dkk 2007: 1). Alumina dibagi menjadi 2 kelas yaitu, *high-alumina* dengan kemurnian sekurang-kurangnya 99% dan alumina dengan kemurnian antara 80% sampai dengan 99%. Kelompok utama tersebut dibagi menjadi sub kelas berdasarkan jenis, kemurnian dan pengaplikasian.

Tabel 2.4 Kelas *high-alumina* A1 – A5 (Sumber: Auerkari, 1996: 6-7)

Kelas	Al_2O_3 (%)	Jenis	Porositas (%)	Densitas (g/cm^3)	Aplikasi
A1	99,6	<i>Electrical & engineering</i>	0.2 - 3	3,75 – 3,95	Struktural
A2	99,8	<i>Translucent</i>	<1	3,97 – 3,99	Lampu
A3	99,5	<i>Hot-pressed</i>	<1	3,90 – 3,99	Peralatan mesin
A4	99,6	<i>Sintered recrystallized</i>	3-6	3,75 – 3,85	Refraktori
A5	99,0	<i>Low dielectric loss</i>	1-5	3,76 – 3,94	<i>Microwave</i>

Tabel 2.5 Kelas alumina A6 – A9 ($80\% \leq \text{Al}_2\text{O}_3 \leq 99\%$)
(Sumber: Auerkari, 1996: 6-7)

Kelas	Al_2O_3 (%)	Jenis	Porositas (%)	Densitas (g/cm^3)	Aplikasi
A6	96,5 – 99,0	Electrical & engineering	1 – 5	3,71 – 3,92	Mekanik dan listrik
A7	94,5 – 96,5	Electrical & engineering	2 – 5	3,60 – 3,90	Isolator, benda tahan aus
A8	86,0 – 94,5	Electrical & engineering	2 – 5	3,40 – 3,90	Isolator, benda tahan aus, refraktori
A9	80,0 – 86,0	Electrical & engineering	3 – 6	3,30 – 3,60	Isolator, benda tahan aus, refraktori

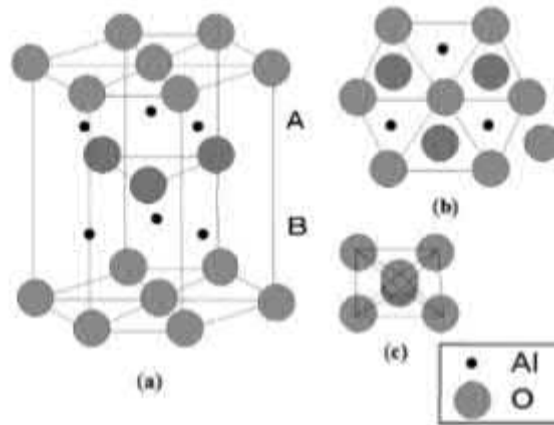
Alumina mempunyai keunggulan sifat mekanik seperti kekerasan dan kekuatan tinggi, tahan terhadap aus, kekakuan tinggi, konduktivitas termal yang baik, ketahanan terhadap reaksi kimia pada temperature tinggi (Fahmi 2015: 44). Menurut Surdia (1992: 371-373) titik lebur alumina berada pada suhu 2050°C dengan titik lebur yang tinggi alumina memiliki ketahanan terhadap kejutan termal dan kestabilan pada temperatur tinggi. Sifat mekanik alumina adalah sebagai berikut:

Tabel 2.6 Sifat Mekanik Alumina (Sumber: Thummler, 1990)

Sifat Mekanik	Nilai
Berat jenis (g/cm^3)	3,6
Modulus elastisitas (GPa)	400
Kuat tekan (MPa)	850
Ketangguhan (<i>toughness</i>) ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)	8,5

Menurut Shirai, dkk (2009: 23-24) alumina memiliki beberapa bentuk struktur kristal yaitu, α , χ , η , δ , κ , θ , γ , ρ . Fase α - Al_2O_3 disebut juga *corundum* adalah senyawa yang terbentuk antara aluminium dan oksigen yang memiliki kondisi paling stabil dan

merupakan produk paling akhir dari perlakuan panas alumina. Memiliki kestabilan dan kekuatan pada suhu tinggi, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ dimanfaatkan sebagai bahan katalis pada suhu tinggi.



Gambar 2.3 (a) struktur *corundum* dalam $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, (b) struktur *corundum* tampak atas, (c) struktur *octahedral* dari $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Sumber: Shirai, 2009:25)

2.2.4 Kaolin

Kaolin merupakan nama lain dari lempung putih yang memiliki komposisi berupa $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$. Partikel kaolin biasanya berupa lembaran heksagonal dengan diameter sekitar 0,05-10 μm . Kaolin terbentuk dari proses pelapukan dan proses hidrotermal alterasi pada batuan beku felspartik dan mika (Sunardi, dkk 2011: 59). Berdasarkan analisa kimia, analisa besar butir dan sifat fisiknya sebagai bahan baku, kaolin diklasifikasikan dalam 4 kelas (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi 2004: 4-5) :

- a) Kelas porselin
- b) Kelas saniter
- c) Kelas gerabah halus padat (*stoneware*)

d) Kelas gerabah halus tidak padat (*earthenware*)**Tabel 2.7** Syarat khusus kaolin tiap kelas (Sumber: BPPT, 2004)

Syarat khusus	Kelas			
	Porselin	Saniter	Stoneware	Earthenware
Analisa kimia:				
Fe ₂ O ₃ (%) maks	0,4	0,7	0,8	1,0
TiO ₂ (%) maks	0,3	0,7	-	-
CaO (%) maks	0,8	0,8	0,8	0,8
SO ₃ (%) maks	0,3	0,2	0,4	0,4
Analisa butir:				
Besar butir < 2 μm	80	80	80	80
Derajat putih (<i>brightness</i>) min.	90	90	80	8-
Kadar air (<i>moisture content</i>) (%) maks.	5	5	70	70

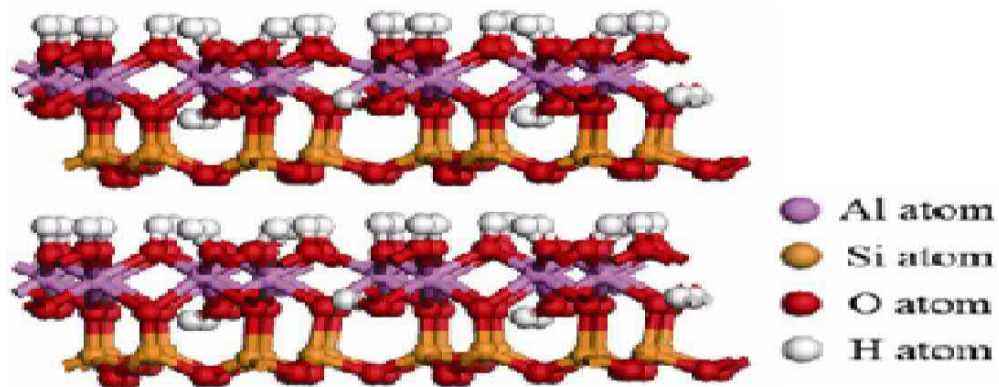
Kaolin berfungsi sebagai bahan pengikat yang dapat memudahkan pembentukan badan keramik pada kondisi mentah. Sifat fisik kaolin yang dimiliki kaolin, kekerasan antara 2-2,5 (skala Mohs), berat jenis 2,60-2,63, daya hantar panas dan listrik rendah serta kadar asam (pH) yang bervariasi (Daud 2015: 41).

Tabel 2.8 Karakteristik kaolin (Sumber: Jembise, dkk 2014)

No	Karakteristik	Nilai
1	Kadar air	0,3
2	Berat jenis	2,59
3	<i>Liquid limit</i>	88,47%
4	<i>Plastic limit</i>	43,08%
5	<i>Shrinkage limit</i>	6,37%
6	<i>Indeks platisitas</i>	45,40%

Berdasarkan sifat fisika dan sifat kimianya, kaolin banyak digunakan dalam berbagai industri, seperti industri kertas (45%), refraktori dan keramik (31%), fiberglass (6%), semen (6%), karet dan plastik (5%), cat (3%) dan lain sebagainya (4%) (Sunardi, dkk 2011: 60). Struktur kristal kaolin terdiri dari pasangan lapisan lembaran

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



Gambar 2.4 Struktur kaolin (sumber Sunardi, dkk 2011: 60)

2.2.5 Sintering

Sintering adalah suatu proses perlakuan panas terhadap *green compact* atau spesimen yang akan dilakukan pengujian untuk meningkatkan ikatan partikel sehingga porositas berkurang dan kekuatannya meningkat (Nurzal dan Antonio, 2013). Perlakuan panas dapat menyebabkan partikel bersatu sehingga kepadatan meningkat. Pada proses *sintering* terbentuk batas-batas butir yang menandai tahap awal rekristalisasi dan gas yang ada akan menguap. Pada proses sintering suhu yang digunakan berada dibawah titik lebur unsur utama.

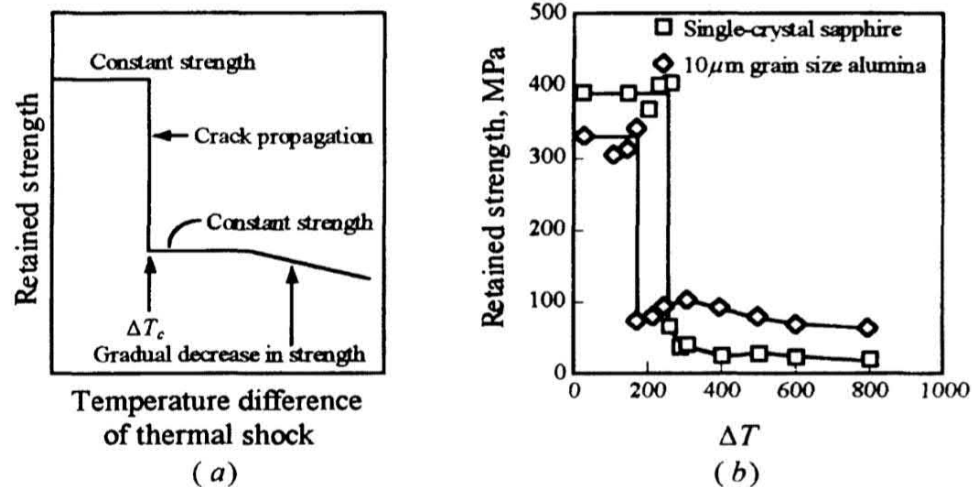
Jenis dapur yang biasa digunakan untuk proses *sintering* ada dua jenis yaitu, dapur satuan (*batch type furnace*) dan dapur kontinu. Perubahan dimensi berupa pengembangan atau penyusutan terjadi pada saat proses *sintering*. Perubahan tersebut

tergantung bentuk dan distribusi ukuran partikel serbuk, komposisi serbuk, prosedur *sintering* dan tekanan kompaksi. Ukuran yang tepat diperoleh berdasarkan perhitungan perubahan ukuran pada saat bahan belum disintering dan setelah dilakukan proses *sintering* (Budihartono, 2012).

2.2.6 Thermal Shock Resistance

Pengukuran umum *thermal shock resistance* adalah kemampuan suatu material dalam menerima penurunan suhu yang drastis tanpa mengalami suatu retakan. Perlakuan panas kejut atau disebut juga *thermal shock resistance* merupakan permasalahan utama dalam pemilihan keramik teknik untuk diaplikasikan dalam suhu tinggi seperti tungku dan komponen mesin. Masalah utama dalam merancang ketahanan dalam perlakuan *thermal shock resistance* adalah pemilihan bahan yang sesuai untuk digunakan dalam perlakuan kejutan panas yang diberikan (Lu dan Fleck, 1998: 4762).

Thermal shock merupakan salah satu bentuk *heat treatment* yang disebabkan oleh penurunan suhu yang sangat cepat. Proses ini terjadi ketika perambatan suhu pada suatu objek menyebabkan pemuaihan yang tidak seragam diasumsikan sebagai tegangan. Pada bagian tertentu tegangan yang terjadi melebihi kekuatan dari material sehingga terjadi keretakan. *Thermal shock resistance* dipengaruhi oleh beberapa faktor sifat dari material, yaitu kekuatan patah, konduktifitas termal, modulus elastisitas, koefisien ekspansi material, dimana semakin tinggi koefisien ekspansi yang dimiliki suatu material maka akan semakin rendah nilai *thermal shock resistance* suatu material (Setyarini dkk., 2012: 69-70).



(a) Grafik perubahan kekuatan akibat perlakuan *thermal shock* (b) Data aktual alumina *single-crystal* dan *polycrystalline* (Sumber: Barsoum, 2003: 448)

2.2.7 Pengujian Impact

Pengujian *impact* merupakan pengujian dengan cara memberikan beban secara cepat dan tiba-tiba kepada sebuah benda uji. Uji *impact* berfungsi untuk mengetahui ketangguhan suatu bahan terhadap pembebanan pukul/kejut. Pengujian *impact* dilakukan untuk mengukur energi yang dibutuhkan untuk merusak benda uji dengan cara sepotong spesimen ditabrak dengan ayunan pendulum (Hadi, 2016:79). Pada pengujian *impact* beban diberikan dengan kecepatan 5 m/s yang disebut sebagai pembebanan dinamis.

Pendulum bersumbu pada sebuah poros dan ketika akan menabrak benda uji pendulum tersebut memiliki ketinggian awal h_0 dan setelah menabrak benda uji pendulum akan terus mengayun hingga mencapai ketinggian h , sehingga energi yang digunakan untuk merusak benda uji dapat dihitung dengan rumus :

$$E = m \cdot g \cdot h_0 - m \cdot g \cdot h$$

$$= m \cdot g \cdot (h_0 - h) \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

E = Jumlah energi yang diserap material (Joule)

m = Berat pendulum (kg)

g = Kecepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

h_0 = Ketinggian awal pendulum (m)

h = Ketinggian pendulum setelah menabrak benda uji (m)

dari rumus diatas didapatkan persamaan rumus untuk menghitung harga *impact* yaitu :

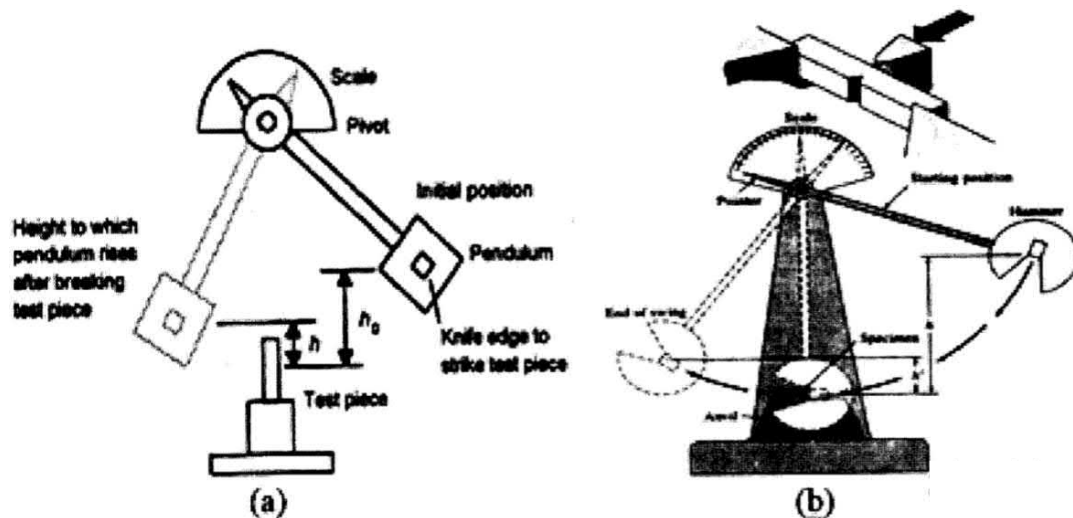
$$HI = E/A \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

HI = Harga *impact* (Joule/mm²)

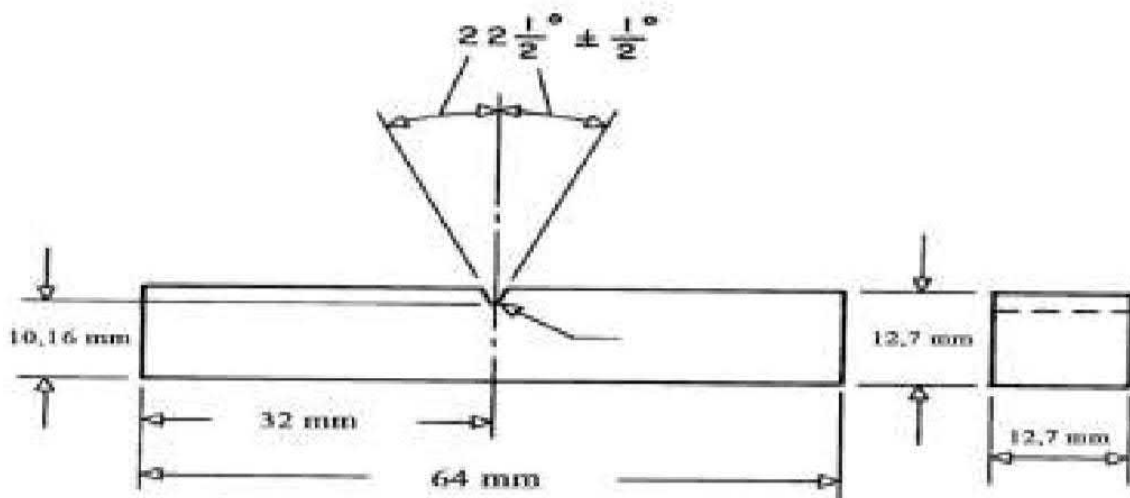
E = Energi yang diserap material (Joule)

A = Luas penampang dibawah takik (mm²)



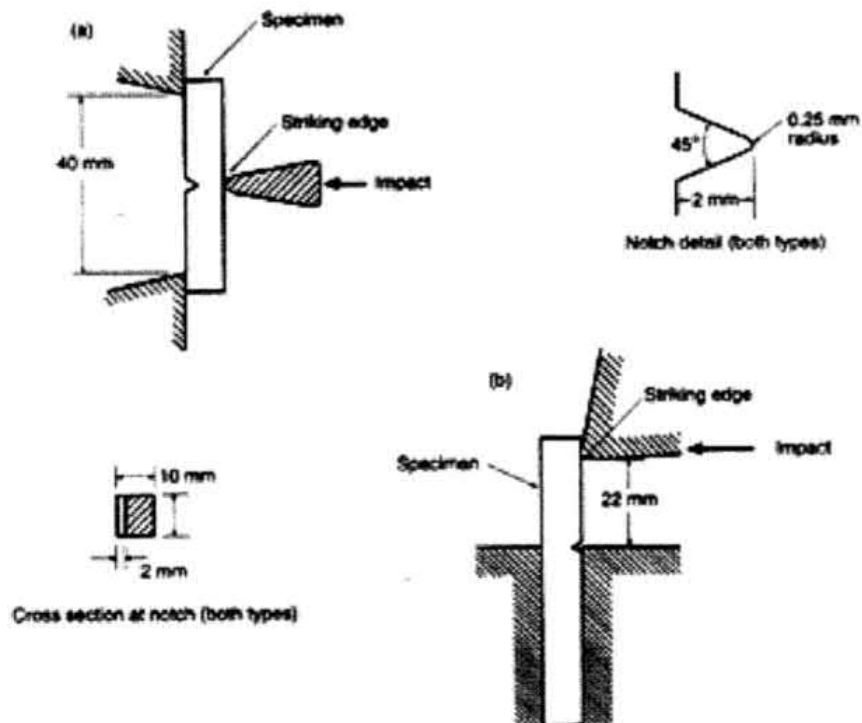
Gambar 2.5 Mesin uji *impact* (a) Izod dan (b) Charpy (Sumber: Hadi, 2016: 80)

Terdapat dua jenis pengujian *impact* yaitu pengujian *impact* Charpy dan Izod. Kedua pengujian *impact* tersebut menggunakan menggunakan tipe pendulum dengan pukulan tunggal yang sama, perbedaan utama dalam kedua pengujian terletak pada spesimen dan dimensi spesimen (Sofyan, 2010: 38-39).



Gambar 2.6 Spesimen uji *impact*

Ukuran spesimen uji *impact* berdasarkan standar ASTM D 256 mempunyai luas penampang 12,7 mm x 12,7 mm dan panjang spesimen 64 mm. Kedalaman takik V adalah 2,54 mm dengan sudut 45° (Hariyanto, 2015). Celah antar jepitan pada mesin uji Charpy berjarak 40 mm dan untuk uji Izod jarak tepi penjepit dengan tepi pisau adalah 22 mm.



Gambar 2.7 Konfigurasi dan pembebanan uji *impact* (a) Charpy dan (b) Izod
(Sumber: Hadi, 2016: 82)

Pada uji Charpy spesimen ditumpu pada kedua ujungnya dan ditakik pada bagian tengahnya. Posisi takikan pada uji Charpy searah terhadap ayunan pendulum, sedangkan untuk uji Izod posisi takikan berlawanan terhadap ayunan pendulum. Pada uji Charpy pukulan pendulum sejajar dengan dasar takikan, sedangkan pada uji Izod takikan dijadikan sebagai tepi penjepitan spesimen.

2.2.8 Pengujian struktur makro

Pengujian struktur makro adalah pengamatan struktur dari benda uji yang dilakukan setelah diberikan perlakuan, penambahan unsur atau pengujian mekanis dengan perbesaran tertentu. Pengujian struktur makro bersifat tidak merusak benda uji atau spesimen. Pengamatan struktur makro dilakukan dengan menggunakan kamera

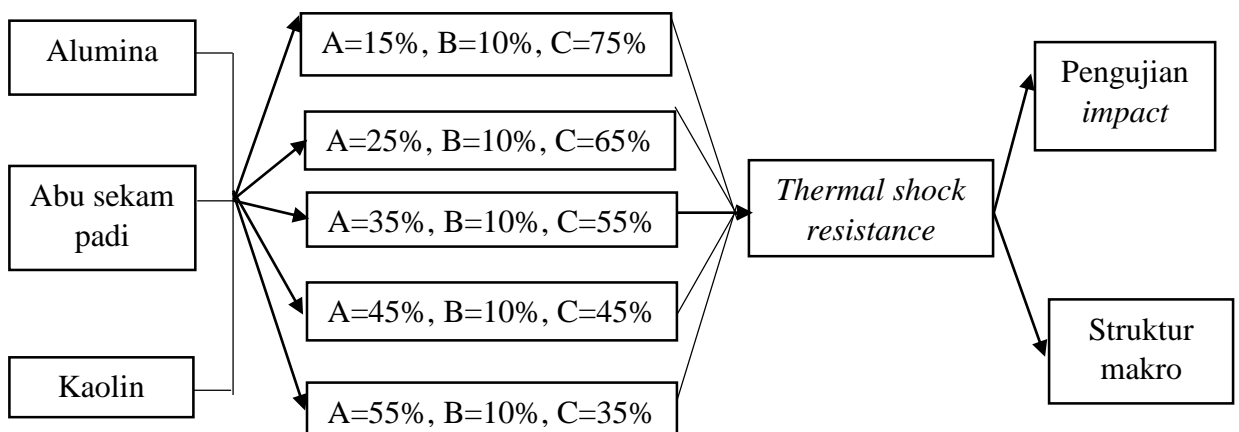
dengan lensa pembesar. Angka perbesaran struktur makro berkisar antara 0,5 sampai 50 kali. Pengamatan struktur makro dilakukan untuk mengamati bahan-bahan yang memiliki butiran kristal yang kasar dan mengamati perubahan struktur yang terjadi setelah dilakukan perlakuan. Perubahan struktur diperoleh dengan perlakuan panas, untuk material dengan komposisi yang sama dapat diperoleh sifat-sifat yang berbeda dengan cara mengubah strukturnya, untuk memperbaiki sifat-sifat material dapat dilakukan dengan mengubah strukturnya (Susita dkk, 1996)

2.3 Kerangka Pikir

Pengecoran merupakan proses manufaktur dengan cara mencairkan logam, proses peleburan logam membutuhkan suhu yang tinggi. Tungku peleburan logam dirancang agar tahan terhadap suhu tinggi, sehingga bahan yang digunakan dalam pembuatan tungku peleburan harus tahan terhadap panas dan memiliki titik lebur yang tinggi. Bahan yang tahan terhadap panas dan memiliki titik lebur yang tinggi disebut dengan bahan refraktori. Sekam padi yang telah melalui proses pembakaran akan menjadi abu sekam padi. Abu sekam padi tersebut mengandung silika yang memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi dengan titik lebur 1710°C (Sofyan B. 2010: 140). Alumina merupakan bahan non logam yang memiliki kekerasan cukup tinggi dan tahan terhadap panas dengan titik lebur tinggi $\pm 2050^{\circ}\text{C}$ (Vlack 1992: 309). Berdasarkan sifat mekanik dan sifat termal yang dimiliki oleh kedua material tersebut, maka material tersebut dapat diaplikasikan sebagai bahan refraktori pada dinding tungku peleburan logam. Penggunaan refraktori yang terpapar panas secara terus-menerus dan mengalami perubahan suhu menyebabkan refraktori memiliki waktu penggunaan yang

terbatas dan harus dilakukan penggantian, sehingga bahan refraktori harus memiliki sifat fisik dan mekanik yang baik.

Perlakuan *thermal shock resistance* dilakukan untuk mengetahui ketahanan bahan refraktori dalam mengalami perubahan suhu secara mendadak. Perubahan suhu secara mendadak yang dialami oleh refraktori dapat menyebabkan keretakan. Pengujian *impact* digunakan untuk mengetahui ketahanan refraktori terhadap beban kejut yang dibenturkan setelah melalui perlakuan *thermal shock resistance*. Pada pengujian *impact*, spesimen diletakkan mendarat dan kedua ujung spesimen ditumpu pada suatu landasan. Posisi *notch* tepat di tengah dengan arah ayunan pendulum dari belakang takikan. Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh dapat diketahui dan ditarik kesimpulan perbedaan kekuatan *impact* dan struktur makro tiap spesimen dengan variasi suhu *thermal shock* dan komposisi bahan refraktori.



Gambar 2.8 Kerangka Pikir

Keterangan :

A = Alumina

B = Abu sekam padi

C = Kaolin

2.4 Hipotesis

Berdasarkan landasan teori dan kerangka pikir yang telah dijelaskan, dalam penelitian ini dirumuskan hipotesis sebagai berikut :

1. Terdapat pengaruh *thermal shock resistance* dan komposisi bahan refraktori terhadap ketahanan *impact*.
2. Terdapat pengaruh *thermal shock resistance* dan komposisi bahan refraktori terhadap struktur makro.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang pengaruh *thermal shock* dan komposisi bahan refraktori terhadap kekuatan *impact* dan struktur makro maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1 Terdapat pengaruh *thermal shock* dan komposisi bahan refraktori terhadap kekuatan uji *impact*, semakin tinggi suhu *thermal shock* (ΔT) kekuatan *impact* yang diperoleh semakin menurun. Setiap variasi komposisi bahan memiliki kekuatan *impact* yang berbeda-beda, penambahan persentase berat alumina dapat meningkatkan kekuatan *impact* pada spesimen uji.
- 2 Terdapat pengaruh *thermal shock* dan komposisi bahan refraktori terhadap struktur makro, patahan spesimen memiliki permukaan yang datar dan memantulkan cahaya yang mengkilap. Semakin tinggi suhu *thermal shock*, pada patahan spesimen terlihat memiliki warna yang semakin gelap.

5.2 Saran

Saran dalam penelitian ini adalah :

- 1 Dalam membuat cetakan untuk spesimen ukurannya dilebihkan dari ukuran standar karena spesimen akan mengalami penyusutan pada saat dilakukan proses sintering.
- 2 Penelitian selanjutnya diharapkan menambah variasi suhu *thermal shock* (ΔT) dan melakukannya dengan beberapa siklus untuk mengetahui

ketahanan bahan terhadap suhu kejut dan data yang didapatkan lebih banyak.

- 3 Diharapkan penelitian selanjutnya dapat menggunakan tekanan kompaksi yang lebih besar pada saat pembuatan spesimen supaya spesimen lebih padat dan penyusutannya tidak terlalu besar.
- 4 Penelitian selanjutnya dapat menggunakan abu sekam padi sebagai variabel bebas untuk mengetahui pengaruh dari penambahan abu sekam padi sebagai bahan refraktori
- 5 Bagi industri peleburan logam dapat menggunakan komposisi bahan 55% alumina, 10% abu sekam padi dan 35% kaolin untuk dijadikan sebagai bahan refraktori tungku peleburan logam.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, F.G., M.R. Hanafie, dan P. Mardina. 2013. Ekstraksi Silika dari Abu Sekam Padi dengan Pelarut KOH. *Jurnal Konversi* 2(1): 28-31.
- Akrom, M., P. Marwoto dan Sugianto. 2010. Pembuatan MMC Berbasis Teknologi Metalurgi Serbuk dengan Bahan Baku Aluminium dari Limbah Kaleng Minuman dan Aditif Abu Sekam Padi. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia* 6(2010): 14-19.
- Amin, M. dan B. Irawan. 2008. Pengaruh Tekanan Kompaksi terhadap Karakterisasi Keramik Kaolin yang Dibuat dengan Proses Pressureless Sintering. *Jurnal Traksi* 8(1): 40-54.
- Aminur, Sudarsono, Kadir dan Samhuddin. 2018. *Komposit Matriks Aluminium Silikon Berpenguat Alumina dengan Proses Metalurgi Serbuk*. Artikel disajikan pada Seminar Nasional Teknologi Terapan Berbasis Kearifan Lokal. Universitas Halu Oleo Kendari. 1 Desember 2018 pukul 17.21 WIB.
- Auerkari, P. 1996. *Mechanical and Physical Properties of Engineering Alumina Ceramics*. Espoo: Valtion Teknillinen Tutkimus Keskus (VTT).
- Badan Penelitian Pascapanen Pertanian. 2001. *Peluang Agribisnis Arang Sekam*. Jakarta: Balitpasca Jakarta.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2004. *Analisa Kimia dan Identifikasi Mutu Kaolin Bangka Berdasarkan Syarat Mutu Kaolin sebagai Bahan Baku Keramik Halus*. Juni. Bali: UPTP_PSTKP Bali.
- Badan Pusat Statistik (BPS) diakses dari <http://www.bps.go.id/>, diakses pada tanggal 15 Desember 2018 (13:49).
- Bakri. 2009. Komponen Kimia dan Fisik Abu Sekam Padi sebagai SCM untuk Pembuatan Komposit Semen. *Jurnal Perennial* 5(1): 9-14.
- Balai Penelitian Pascapanen Pertanian. 2001. *Peluang Agribisnis Arang Sekam*. Jakarta: Balitpasca Jakarta.
- Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP). 2011. *Teknologi Briket Sekam Padi*. Pekanbaru: BPTP Riau.
- Bayuseno, A.P. 2009. Pengembangan dan Karakterisasi Material Keramik Untuk Dinding Bata Tahan Api Tungku Hoffman KI. *Jurnal Rotasi* 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.

- Chopra, D., R. Siddique dan Kunal. 2015. Strength, Permeability and Microstructure of Self-compacting Concrete Rice Husk Ash. *Jurnal Elsevier* 130: 72-80.
- 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.
- Fahmi, H. 2015. Analisa Kekerasan dan Fracture Toughness Alumina Diperkuat Serbuk Aluminium dan Tembaga. *Jurnal Teknik Mesin* Vol. 5(1): 42-48.
- Garinas, W. 2009. 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.
- Hadi, S. 2016. *Teknologi Bahan*. Edisi I. Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- Hamzah, M.S. 2017. Kekuatan Impak Komposit Clay dan Alumina untuk Aplikasi Fire Brick. *Jurnal Mekanikal* 8(2): 716-720.
- _____ dan A.Sam. 2013. Kekuatan Bending Komposit Clay Diperkuat dengan Alumina untuk Aplikasi Fire Brick. *Jurnal Mekanikal* 4(2): 403-409.
- Hariyanto, A. 2015. Peningkatan Kekuatan Tarik dan Impak pada Rekayasa dan Manufaktur Bahan Komposit *Hybrid* Berpenguat Serat *E-glass* dan Serat Kenaf Bermatrik Polyester untuk Panel *Interior Automotive*. Prosiding SNST ke-6. Univeristas Wahid Hasyim. Semarang. 1-6.
- Hidayat, D. dan Rahmat. 2011. Sifat Fisik dan Kekuatan Bending pada Komposit Feldspar-Kaoline Clay. *Jurnal Saintekmol* 9(2): 89-94.
- Hossain, S.K.S., L. Mathur, P. Singh dan M.R. Majhi. 2017. Preparation of Forsterite Refractory Using Highly Abundant Amorphous Rice Husk Silica for Thermal Insulation. *Journal of Asian Ceramic Societies* Vol. 5: 82-87.
- Jembise, R.A., O.B.A. Sompie, F. Jansen. 2014. Penambahan Campuran Bentonit dan Kaolin pada Tanah Pasir terhadap Koefisien Permeabilitas dengan Kondisi Plastisitas Berbeda pada Tingkat Kepadatan Maksimum. *Jurnal Ilmiah Media Engineering* 4(2): 127-134.
- Jin Z dan Y. Feng. 2014. Thermal Shock Resistance Behavior of a Functionally Graded Ceramic: Effects of Finite Cooling Rate. *The Chinese Society of Theoretical and Applied Mechanics* 4(4): 1-5.

- Karso, T., W.W. Raharjo dan H. Sukanto. 2012. Pengaruh Variasi Suhu Siklus Termal terhadap Karakteristik Mekanik Komposit HDPE-Sampah Organik. *Jurnal Mekanika* 11(1): 9-13.
- Krishnarao, R.V., J. Subrahmanyam dan T.J. Kumar. 2001. Studies on the Formation of Black Particles in Rice Husk Silica Ash. *Journal of the European Ceramic Society* 21: 99-104.
- Kumar, A., K. Mohanta, D. Kumar dan O. Parkash. 2012. Properties and Industrial Applications of Rice Husk: A review. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 2(10): 86-90.
- Lu, T. J. dan N. A. Fleck. 1998. The Thermal Shock Resistance of Solids. *Jurnal Actamater* 46(13): 4755-4768.
- Marlina, P. dan H.A. Prasetya. 2017. Pengaruh Abu Sekam Padi dan Copling Agent terhadap Ketahanan Usang Vulkanisat Bantalan Dermaga. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri* 28(1): 67-75.
- Nurzal dan A.E. Saputra. 2013. Pengaruh Komposisi Fly Ash dan Suhu Sinter terhadap Kekerasan pada Manufacture Keramik Lantai. *Jurnal Teknik Mesin* 3(1): 25-28.
- Patabang, D. 2012 Karakteristik Termal Briket Arang Sekam Padi dengan Variasi Bahan Perekat. *Jurnal Mekanikal* 3(2): 286-292.
- Rahmat, M. R. 2015. Perancangan dan Pembuatan Tungku *Heat Treatment*. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 3(2): 133-148.
- Sadik, C., I.E.E. Amrani dan A. Albizane. 2014. Recent Advance in Silica-Alumina Refractory: A review. *Journal of Asian Ceramic Societies* 76(14): 1-14
- Sari, D.R., Rusiyanto, R.D. Widodo dan Pramono. 2017. Pengaruh *Thermal Shock Resistence* terhadap Makro Struktur dan Ketahanan Impact Kowi Pelebur (Crusible) Berbahan Komposit Abu Sekam Padi/ Grafit/ Kaolin. *Jurnal Kompetensi Teknik* 9(1): 53-59.
- Sebayang, P., A.P. Tetuko, D.S. Khaerudini., Muljadi dan M. Ginting. 2007. Efek aditif $3\text{Al}_2\text{O}_3$, SiO_2 dan Suhu Sintering terhadap Karakteristik Keramik $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya* 3(2): 1-6.
- Setiawan, F., L. Arifani, A. Yulianto dan M. P. Aji. 2017. Analisis Porositas dan Kuat Tekan Campuran Tanah Liat Kaolin dan Kuarsa sebagai Keramik. *Jurnal MIPA* 40(1): 24-27.
- Setyarini, P. H., H. Andya dan I. Farid. 2012. *Perlakuan Panas Thermal Shock*

Sebagai Inovasi Teknologi Optimasi Produksi Komponen Piringan Rem Cakram dengan Menggunakan Baja ST 37. Artikel disajikan pada Seminar Nasional Teknik Mesin 7. Universitas Brawijaya. 21 Juni 2012.

- Shirai, T., H. Watanabe., M. Fuji dan M. Takahashi. 2009. Structural Properties and Surface Characteristic on Aluminium Oxide Powders. *Jurnal Pusat Penelitian Teknik Pondasi Keramik* 9: 23-31.
- Siagian, H. dan M. Hutabalian. 2012. Studi Pembuatan Keramik Berpori Berbasis Clay dan Kaolin Alam dengan Bahan aditif Abu Sekam Padi. *Jurnal Sainika* 12(1): 14-23.
- Sidabutar, T.E. 2017. Pembuatan dan Karakterisasi Keramik Magnesium Alumina Silika dari Abu Vulkanik Gunung Sinabung. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)* 6(1): 28-35.
- Sobrosa, F.Z., N.P. Stochero, E. Marangon dan M.D. Tier. 2017. Development of Refractory Ceramics from Residual Silica Derived from Rice Husk Ash. *Journal Ceramics International* 147(2): 1-21.
- Sofyan, B.T. 2010. *Pengantar Material Teknik.* Jakarta: Salemba Teknika.
- Suarsana, K., I.M. Astika dan L. Suprpto. 2017. Karakterisasi Konduktivitas Termal dan Kekerasan Komposit Aluminium Matrik Penguat Hibrid SiCw/Al₂O₃. *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan* 1(2): 108-116.
- Sugiyono. 2015. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D.* Bandung: Alfabeta
- Sukma, H., R. Prasetyani, D. Rahmalina dan R. Imanuddin. 2015. *Peran Penguat Partikel Alumina dan Silikon Karbida terhadap Kekerasan Material Komposit Matriks Aluminium.* Artikel disajikan pada Seminar Nasional Sains dan Teknologi. 2015. Universitas Muhammadiyah Jakarta. 17 November 2015.
- Sunardi, U. Irawati. dan T. Wianto. 2011. Karakterisasi Kaolin Lokal Kalimantan Selatan. *Jurnal Fisika Flux* 8(1): 59-65.
- Suprpto, I.W.L., K. Suarsana dan N. Santhiarsa. 2017. Efek Komposisi dan Perlakuan Sintering pada Komposit Al (SiCw + Al₂O₃) terhadap Sifat Fisik dan Keausan. *Jurnal Muara* 1(1): 124-131.
- Surdia, Tata dan S. Shinroku. 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik.* Cetakan kedua. Jakarta: Pradnya Paramita.

- Susita, L., Sudjatmoko, Tjipto, Darsono, S. Sulamdari. dan Supardjono. Karakterisasi Struktur Mikro Stainless-Steel Hasil Implantasi Ion Nitrogen. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah. PPNY-BATAN. Yogyakarta. 50-56.
- Thummler, F. 1990. Engineering Ceramic. *Journal of the European Ceramic Society* 6: 139-151.
- Vlack, L.H.V. 1985. *Elements of Materials Science and Engineering*. Edisi kelima. Addison-Wesley Publishing Company. Michigan. Djaprie, S. 1994. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Edisi kelima. Jakarta: Erlangga.
- Widyastuti, E.S. Siradj, D. Priadi dan A. Zulfia. 2008. Kompaktibilitas Komposit Isotropik Al/Al₂O₃ dengan Variabel Waktu Tahan Sinter. *Jurnal Makara Sains* 12(2): 113-119.