



**PENGARUH *THERMAL SHOCK*
RESISTANCE TERHADAP MAKRO STRUKTUR DAN
KETAHANAN *IMPACT* KOWI PELEBUR (*CRUSIBLE*)
BERBAHAN KOMPOSIT ABU SEKAM PADI/
GRAFIT/ KAOLIN**

SKRIPSI

skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin

Oleh

Desi Riana Sari
5201413001

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2017**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

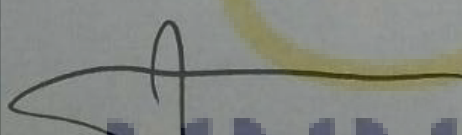
Nama : Desi Riana Sari
Nim : 5201413001
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengaruh *Thermal Shock Resistance* Terhadap Makro Struktur dan Katahanan *Impact* Kowi Pelebur (*Crusible*) Berbahan Komposit Abu Sekam Padi / *Grafit* / Kaolin

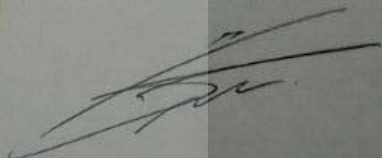
Skripsi ini telah disetujui pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, November 2017

Dosen Pembimbing 1,

Dosen Pembimbing 2,


Rusiyanto S.Pd., M.T.
NIP. 19740321 199903 1 002


Dr. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T.
NIP. 19750927 200604 1 002

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PENGESAHAN KELULUSAN

Skripsi dengan judul Pengaruh *Thermal Shock Resistance* Terhadap Makro Struktur dan Katahanan *Impact* Kowi Pelebur (*Crusible*) Berbahan Komposit Abu Sekam Padi / *Grafit* / Kaolin telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 17 November 2017.

Oleh

Nama : Desi Riana Sari
Nim : 5201413001
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

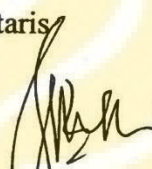
Panitia

Ketua

Sekretaris



Rusiyanto S.Pd., M.T.
NIP. 19740321 199903 1 002



Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., S.T., M.T.
NIP. 19690106 199403 1 003

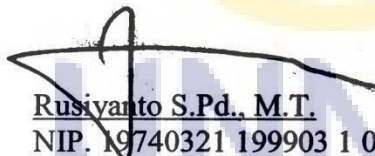
Dosen Penguji 1

Dosen Penguji 2/Pembimbing 1

Dosen Penguji 3/ Pembimbing 2



Drs. Pramono, M.Pd.
NIP. 19580910 198503 1 002



Rusiyanto S.Pd., M.T.
NIP. 19740321 199903 1 002



Dr. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T.
NIP. 19750927 200604 1 002

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Oudus, M.T.
NIP. 19691130 199403 1 001

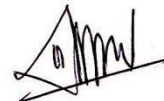
PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi/TA 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, November 2017

Yang membuat pernyataan



Desi Riana Sari
NIM. 5201413001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO *“Nothing is Easy but Nothing is impossible too”*

PERSEMBAHAN

Saya persembahkan skripsi ini untuk:

1. Kedua orang tua saya yang telah mendidik saya dari kecil.
2. Adik saya Anas Cahyono.
3. Mas Firman Yanuardi, S.Pi.
4. Keluarga Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.



RINGKASAN

Indonesia adalah salah satu negara agraris dimana pertanian menjadi salah satu komoditas terbanyak. Hasil pertanian yang mendominasi di antaranya yaitu padi. Salah satu sisa dalam penggilingan padi adalah sekam padi. Secara umum penggunaan sekam di Indonesia masih terbatas yaitu sebagai media tanaman hias, pembakaran bata merah, alas ternak untuk unggas, kuda, sapi, kambing, dan kerbau. Bahkan di kawasan industri pengolahan makanan seperti pabrik makanan sekam padi hanya digunakan sebagai bahan bakar dan abunya dibuang begitu saja. Oleh karena itu, dalam penelitian ini abu sekam padi akan digunakan sebagai bahan pembuatan kowi atau cawan lebur.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh *thermal shock resistance* terhadap hasil makro struktur kowi pelebur (*crusible*) berbahan komposit abu sekam padi/ *grafit*/ kaolin dan mengetahui pengaruh *thermal shock resistance* terhadap ketahanan *impact* kowi pelebur (*crusible*) berbahan komposit abu sekam padi/ *grafit*/ kaolin. Metode penelitian ini menggunakan metode statistika deskriptif. Metode ini digunakan untuk memberikan gambaran terhadap perubahan yang terjadi setelah dilakukan perlakuan tertentu dengan variabel bebas terhadap variabel terikat.

Hasil penelitian permukaan perpatahan pada temperatur 200 °C sampai dengan 600 °C, dimana kondisi ini material terjadi perpatahan getas yang ditandai dengan ciri pembelahan (*cleavage*) dan permukaan patahan terdapat batas butir yang lebih besar dan halus dengan memantulkan cahaya yang tinggi. Perpatahan getas ini juga dapat terjadi secara memecah butir kristal (*transgranular*) atau sering disebut perpatahan kristalin. Variasi suhu pada *thermal shock resistance* memiliki pengaruh yang berbeda terhadap tingkat ketangguhan *impact* pada spesimen uji *impact*. Ketangguhan terendah sebesar 0,0086 J/mm² pada suhu *thermal shock resistance* 600 °C, dan ketangguhan *impact* tertinggi sebesar 0,0170J/mm² pada spesimen tanpa perlakuan *thermal shock resistance*.

Simpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah pengaruh variasi suhu *thermal shock resistance* kowi berbahan arang sekam padi *grafit* paduan kaolin terhadap hasil struktur makro terlihat pada lebih besarnya bentuk perpatahan yang terjadi pada saat suhu tertinggi dan semakin tinggi variasi suhu *thermal shock resistance* kowi berbahan arang sekam padi *grafit* paduan kaolin, maka semakin rendah ketangguhan dan kekerasan pada bahan kowi pelebur, begitu juga sebaliknya.

Kata Kunci : *Thermal Shock Resistance*, *Impact*, Kowi Pelebur (*crusible*), Arang Sekam Padi, *Grafit*, Kaolin.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian ini dengan judul “Pengaruh *Thermal Shock Resistance* Terhadap Makro Struktur Dan Ketahanan Impact Kowi Pelebur (*Crusible*) Berbahan Komposit Abu Sekam Padi/ *Grafit*/ Kaolin” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Pendidikan Universitas Negeri Semarang. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan dapat selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Dr. Nur Qudus, M.T. Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
2. Rusiyanto, S.Pd., M.T. Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Dosen Pembimbing 1 skripsi yang telah meluangkan waktunya selama proses bimbingan.
3. Dr. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T. Dosen Pembimbing 2 skripsi yang telah meluangkan waktunya selama proses bimbingan.
4. Bapak Marsono dan Bapak Aziz Rivai yang telah memberikan ijin kepada penulis untuk melakukan observasi di Koperasi Batur Jaya Ceper.
5. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Pendidikan S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang, dan semua pihak yang tidak mungkin disebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada peneliti.

Akhirnya dengan menyadari terbatasnya kemampuan yang ada pada diri penulis, maka kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya maupun bagi pembaca umumnya.

Semarang, November 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN KELULUSAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
RINGKASAN	vi
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	5
1.3. Pembatasan Masalah	5
1.4. Rumusan Masalah	6
1.5. Tujuan Penelitian	7
1.6. Manfaat Penelitian	7
BAB II. KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	8
2.1. Kajian Pustaka.....	8
2.2. Landasan Teori.....	13
2.2.1. Kowi atau Cawan Pelebur.....	13
2.2.2. Arang Sekam Padi.....	16
2.2.3. <i>Grafit</i>	22
2.2.4. Lempung (Kaolin).....	24
2.2.5. <i>Thermal Shock Resistance</i>	26
2.2.6. Temperatur dan Ketahanan Panas.....	33
a. Pengujian Temperatur pada Kowi	33
b. Kekuatan pada Temperatur Tinggi	34
c. Kapasitas Panas.....	35
2.2.7. Pengujian <i>Impact</i>	35
BAB III. METODE PENELITIAN	40
3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan	40
3.2. Desain Penelitian.....	40

a. Studi Literatur.....	41
b. Persiapan Bahan Dasar.....	42
c. <i>Vibratory Ball Milling</i>	42
d. Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i>	42
e. Proses <i>Mixing</i>	42
f. Pembuatan Spesimen.....	43
g. Pengujian <i>Thermal Shock Resistance</i>	43
h. Pengujian Makro Struktur.....	44
i. Pengujian <i>Impact</i>	44
j. Hasil dan Pembahasan.....	44
k. Kesimpulan.....	45
3.3. Alat dan Bahan Penelitian.....	45
3.3.1. Alat Penelitian.....	45
3.3.2. Bahan Penelitian.....	52
3.4. Parameter Penelitian.....	52
3.5. Teknik Pengumpulan Data.....	54
3.6. Kalibrasi Instrumen.....	55
3.7. Teknik Analisis Data.....	57
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	58
4.1. Deskripsi Data.....	58
4.1.1. Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	59
4.1.2. Pengujian Makro Struktur.....	62
4.1.3. Pengujian ketangguhan <i>Impact</i> dengan variasi suhu <i>thermal shock resistance</i>	65
4.2. Analisis Data.....	67
4.2.1. Pengujian XRD Bahan Spesimen Kowi Pelebur Alumunium.....	67
4.2.2. Pengujian Ketangguhan <i>Impact</i> Dengan Variasi Suhu <i>Thermal Shock Resistance</i>	70
4.3. Pembahasan.....	71
BAB V. PENUTUP	73
5.1. Kesimpulan.....	73
5.2. Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	78

DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

Simbol	Arti
Fe	Ferro
°C	Derajat celcius
ΔT	Perubahan suhu
N	Newton
Ep	Energi Potensial
Em	Energi Mekanik
m	Berat Pendulum
g	Gravitasi $9,81 \text{ m/s}^2$
h_1	Jarak awal antara pendulum dengan benda uji
h_2	Jarak akhir antara pendulum dengan benda uji
λ	Jarak lengan pengayun
$\cos \alpha$	Sudut posisi awal pendulum
$\cos \beta$	Sudut posisi akhir pendulum
K	Nilai Impak
J	Energi Yang Diserap (Joule)
A	Luas penampang dibawah takikan
SiO ₂	Silikon dioksida
(2H ₂ O.Al ₂ O ₃ .2SiO ₂)	Hidrous aluminium silikat
(Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	Mineral kaolinit

Singkatan	Arti
HDPE	<i>High density polyethylene</i>
DTA	<i>Differential Thermal Analysis</i>
TGA	<i>The Thermogravimetric Analyzer</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
DC-IPB	<i>Doctor Students IPB</i>
XRD	<i>X-Ray Difrraction</i>
FT-IR	<i>Fourier Transform Infrared</i>

ASP

Abu sekam padi

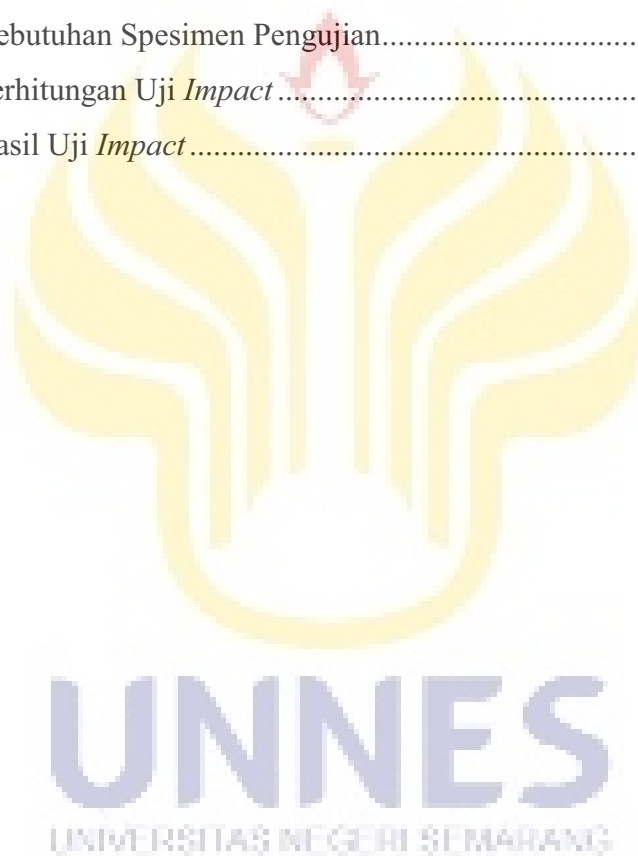
ICSD

Inorganic Crystal Structure Database



DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1. Kandungan Silika pada Padi	16
Tabel 2.2. Kandungan Sekam Padi	20
Tabel 2.3. Sifat Bahan Dasar Arang Sekam Padi.....	20
Tabel 2.4. Hasil Uji Kualitas Arang Sekam Padi.....	22
Tabel 3.1. Peralatan Penelitian.....	45
Tabel 3.2. Kebutuhan Spesimen Pengujian.....	53
Tabel 3.3. Perhitungan Uji <i>Impact</i>	54
Tabel 4.1. Hasil Uji <i>Impact</i>	65



DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1. Kowi dengan Bahan <i>Grafit</i>	14
Gambar 2.2. Dapur Kowi (Amstead, 1993)	15
Gambar 2.3. Sekam Padi	17
Gambar 2.4. Arang Sekam Padi	21
Gambar 2.5. Kaolin <i>Clay</i>	25
Gambar 2.6. (a) skema Perlakuan Kekerasan Akibat dari kekerasan <i>Quenching</i> ΔT . (b) Data Sebenarnya untuk <i>Single-Crystal</i> dan <i>Polycrystalline Alumina</i>	28
Gambar 2.7. Skema Penyusutan Pori Selama Proses <i>Sintering</i> (German , 1994)	30
Gambar 2.8. Jenis Termokopel Berdasarkan Warna	34
Gambar 2.9. Benda Uji <i>Impact Charpy</i> Bentuk “V”	36
Gambar 2.10. Alat Uji Impact	37
Gambar 3.1. Desain Penelitian	41
Gambar 3.2. Speseimen Uji Impact menurut ASTM E-23	44
Gambar 3.3. Skema Cetakan	46
Gambar 3.4. Skema Inti	46
Gambar 3.5. Skema Penumbuk	47
Gambar 3.6. Skema <i>Drawing Pot</i>	47
Gambar 3.7. Alat Uji Foto Makro	48
Gambar 3.8. Alat pengujian <i>impact</i>	48
Gambar 3.9. Mesin <i>Ball Milling</i>	49
Gambar 3.10. Timbangan Digital 4 Digit	49
Gambar 3.11. Mesin Uji Komposisi	50
Gambar 3.12. <i>Furnace</i>	50
Gambar 3.13. <i>Oven</i>	51
Gambar 3.14. Dapur Krusibel	51
Gambar 3.15. Bahan Bakar	52

Gambar 4.1. Grafik hasil XRD Serbuk Arang Sekam Padi.....	59
Gambar 4.2. Grafik hasil XRD <i>Grafit</i>	60
Gambar 4.3. Grafik hasil XRD <i>Kaolin Clay</i>	61
Gambar 4.4. Hasil makro struktur pada suhu 200 °C.....	62
Gambar 4.5. Hasil makro struktur pada suhu 300 °C.....	62
Gambar 4.6. Hasil makro struktur pada suhu 400 °C.....	63
Gambar 4.7. Hasil makro struktur pada suhu 500 °C.....	63
Gambar 4.8. Hasil makro struktur pada suhu 600 °C.....	63
Gambar 4.9. Grafik hasil XRD arang sekam padi	67
Gambar 4.10. Grafik hasil XRD <i>grafit</i>	68
Gambar 4.11. Grafik hasil XRD kaolin	69
Gambar 4.10. Grafik pengaruh <i>thermal shock resistance</i> terhadap ketangguhan <i>impact</i>	70



DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
Lampiran 1. Usulan Pembimbing	79
Lampiran 2. Surat Tugas Seminar Proposal.....	80
Lampiran 3. Halaman Persetujuan Proposal Skripsi.....	81
Lampiran 4. Surat Ijin Observasi	82
Lampiran 5. Surat Ijin Penelitian	83
Lampiran 6. Perhitungan Pengujian Impak.....	84
Lampiran 7. Surat Tugas Panitia Ujian Sarjana	92
Lampiran 8. Lembar Pernyataan Selesai Revisi	93
Lampiran 9. Surat Keterangan Penelitian Payung	94
Lampiran 10. Dokumentasi Penelitian.....	96



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi pada saat ini, banyak industri yang berkembang di Indonesia. Serta tuntutan untuk mewujudkan pembangunan berwawasan lingkungan, maka pengolahan sisa abu sekam padi secara efisien dan efektif menjadi salah satu alasan yang sangat penting. Indonesia adalah salah satu negara agraris dimana pertanian menjadi salah satu komoditas terbanyak. Hasil pertanian yang mendominasi di antaranya yaitu padi. Salah satu sisa dalam penggilingan padi adalah abu sekam padi. Secara umum penggunaan sekam di Indonesia masih terbatas yaitu sebagai mediananaman hias, pembakaran bata merah, alas ternak untuk unggas, kuda, sapi, kambing, dan kerbau. Bahkan di kawasan industri pengolahan makanan seperti pabrik makanan sekam padi hanya digunakan sebagai bahan bakar dan abunya dibuang begitu saja.

Berkaitan dengan bidang keteknikan, pemanfaatan abu sekam padi masih sangat kurang. Oleh karena itu, dalam penelitian ini abu sekam padi akan digunakan sebagai bahan pembuatan kowi atau cawan lebur. Dalam industri pengecoran logam yang bergerak di bidang teknik mesin. Cawan lebur adalah tempat berbentuk menyerupai pot atau mangkuk, digunakan untuk peleburan bahan bukan logam. Benda tersebut berbentuk krus atau diameter bawah lebih

kecil dibandingkan dengan diameter bagian atas, maka sering disebut krusibel. Pembuatan cawan lebur tersebut berasal dari bahan yang berbeda-beda.

Pada umumnya peleburan logam, khususnya logam *non ferro* yang tidak mengandung unsur besi (Fe) seperti aluminium, tembaga, dan timah hitam menggunakan cawan pelebur yang membutuhkan panas yang tidak begitu tinggi. Cawan lebur atau kowi tersebut biasanya terbuat dari bahan *grafit* dan tanah liat, ada juga yang menggunakan bata tahan api. Sehingga banyak industri pengecoran logam *non ferro* yang menggunakannya. Menurut beberapa *home industry* yang sudah disurvei, yaitu di daerah Ceper Klaten banyak yang menggunakan cawan pelebur aluminium berupa kowi. Pembuatan kowi di daerah Ceper banyak menggunakan bahan semen tahan api dan serbuk batu bata api, dimana komposisinya adalah 40 % semen tahan api sedangkan 60 % serbuk batu bata dan dicampur dengan air untuk bisa menjadi adonan.

Biasanya kowi tersebut tahan sampai dengan 160 kali pemakaian, untuk dapat digunakan kembali harus diperbaiki dengan menggunakan pasir *lining* dengan cara mengoleskan pada permukaannya. Kowi tersebut dapat melebur aluminium dengan waktu kurang lebih 2 jam, tetapi tergantung jumlah aluminium yang dilebur. Selain dengan bahan tersebut, ada juga yang menggunakan bahan *grafit* atau disebut pot atau kowi *grafit*, kowi dengan bahan *grafit* ini biasanya dicampur dengan lempung sebagai bahan perekatnya. Kowi dengan bahan *grafit* sangat baik digunakan karena memiliki ketahanan suhu yang tinggi dan tidak terjadi reaksi antara cairan yang dilebur dengan bahan kowi tersebut.

Takaran untuk dua bahan tersebut lebih banyak penggunaan *grafitnya*. Akan tetapi kowi dengan bahan *grafit* akan cepat retak maupun bocor apabila perawatannya kurang. Misalnya, pemuatan bahan yang akan dilebur *horizontal* sehingga pemuaiannya akan mendesak krusibel atau cawan leburnya. Kemudian jika cawan dalam keadaan panas diletakkan pada alas yang dingin akan menyebabkan alas cawan pecah. Alas cawan semakin meruncing apabila landasannya terlalu kecil, sehingga api peleburan yang memanaskan tepian alas cawan terlalu kuat. Selain itu apabila cawan panas yang berisi cairan diangkat dari dalam tanur dan diletakkan di atas alas berpasir, maka akan terjadi reaksi antara pasir (SiO_2) dengan *grafit* sehingga tepian alas cawan meleleh. Oleh karena itu, perlu diperhatikan untuk menjaga cawan agar tahan lama di antaranya adalah penyimpanan yang baik, pemanasan awal sebelum pengoperasian, landasan cawan, dan teknik yang benar dalam mengeluarkan cawan dari tungku. Selain itu bisa dengan penambahan sekam padi yang sudah diolah menjadi abu dan dihaluskan sebagai bahan pembuatan cawan agar lebih tahan lama dan tidak mudah retak.

Penggunaan kowi secara berkelanjutan dan dengan pengoperasiannya yang berkaitan dengan perubahan suhu, maka dalam penelitian ini kowi dari bahan abu sekam padi akan diberikan perlakuan panas. Teknik *sintering* yaitu suatu reaksi yang terjadi pada proses pembakaran dengan suhu yang terkontrol dan densifikasi padatan serbuk dapat diperoleh sekaligus sehingga tingkat porositas berkurang dan densitas relatif, kekerasan serta kekuatan tarik (*mechanical strength*) bertambah.

Ditinjau dari pemanfaatannya, sekam padi yang berasal dari proses penggilingan padi akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Sekam padi yang dihasilkan dengan prosentasi sekitar 20-30% dari berat awal gabah dapat menimbulkan masalah lingkungan. Sekam padi terdiri unsur organik seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Selain itu, sekam padi juga mengandung unsur anorganik, berupa abu dengan kandungan utamanya adalah silika 94-96%. Selain itu, juga terdapat komponen lain seperti Kalium, Kalsium, Besi, Fosfat, dan Magnesium (Hsu dan Luh, 1980). Keunikan lain dari silika sekam padi adalah berdasarkan pembentukan struktur, sifat fisis (kestabilan termal dan kekerasan) dan tingkat homogenitas tinggi dapat diperoleh sifat yang dikehendaki seperti ketahanan termal, transparansi optik dan porous.

Adanya penambahan bahan cawan lebur atau kowi dengan komposisi arang sekam padi karena menurut DC-IPB (*Doctor Students IPB*) sekam padi mengandung unsur silika di dalamnya yaitu sekitar 16,98%. Seperti halnya silikon dioksida (SiO_2) di dalam *grafit*, silikon dioksida ini merupakan bahan baku utama pada *glass industry*, keramik, industri refraktori, dan bahan baku yang penting untuk produksi larutan silikat, silikon, dan *alloy*. Silika yang dihasilkan dari sekam padi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan silika mineral, dimana silika sekam padi memiliki butiran halus, lebih reaktif, dapat diperoleh dengan cara mudah dengan biaya yang relatif murah, serta didukung oleh ketersediaan bahan baku yang melimpah dan dapat diperbaharui. Dengan kelebihan tersebut, silika berpotensi cukup besar sebagai bahan material yang memiliki aplikasi yang cukup luas penggunaannya. Belum adanya pengaplikasian

arang sekam padi sebagai bahan pembuat kowi, menjadi awalan dalam penelitian ini, maka penulis mengambil judul “Pengaruh *Thermal Shock Resistance* terhadap Makro Struktur dan Ketahanan *Impact* Kowi Pelebur (*Crusible*) Berbahan Komposit Abu Sekam Padi / *Grafit*/ Kaolin”. Penelitian ini dapat mendukung serta meningkatkan pengetahuan praktikan tentang bahan dalam pembuatan dapur pelebur.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, identifikasi masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Perancangan kowi pelebur dengan bahan abu sekam padi/ *grafit*/ kaolin;
- b. Senyawa yang terkandung dalam komposit berbahan abu sekam padi/ *grafit*/ kaolin;
- c. Bentuk makro struktur bahan kowi pelebur dipengaruhi oleh *Thermal shock resistance* komposit berbahan abu sekam padi/*grafit*/ kaolin;
- d. Ketahanan *impact* bahan kowi pelebur dipengaruhi oleh *Thermal shock resistance* komposit berbahan abu sekam padi/ *grafit*/ kaolin.

1.3. Pembatasan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Kowi pelebur dengan bahan arang sekam padi *varietas* Kabupaten Sukoharjo;
- b. Kowi pelebur dengan bahan *grafit* hitam serbuk baterai dari Ceper Klaten;

- c. Kowi pelebur dengan bahan kaolin *powder* warna putih dari Belitung;
- d. Komposisi perbandingan bahan pembuat kowi pelebur dalam satuan berat di antaranya *grafit* 15%, arang sekam padi 40%, kaolin 30%, air 15%.
- e. Pengaruh *thermal shock resistance* terhadap sifat fisik bahan kowi pelebur berupa titik lebur dengan variasi temperatur $750^{\circ}\text{C} - 1050^{\circ}\text{C}$;
- f. Pengujian makro struktur menggunakan alat mikroskop optik metalurgi tipe *Meiji techno IM 7200* di laboratorium Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang;
- g. Pengujian XRD menggunakan alat uji *PANalytical X'Pert³ Powder* dengan sinar *X-Ray Diffraction* Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang;
- h. Pengaruh *thermal shock resistance* terhadap sifat mekanik bahan kowi pelebur dengan pengujian *impact* dengan metode *charpy*.
- i. Alat Uji *impact* yang digunakan adalah alat uji *impact Gotech* Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Apa saja senyawa yang terkandung pada komposit abu sekam padi/*grafit*/kaolin?
- b. Bagaimana pengaruh *thermal shock resistance* terhadap hasil makro struktur kowi pelebur (*crusible*) berbahan komposit abu sekam padi/*grafit*/kaolin?

- c. Bagaimana pengaruh *thermal shock resistance* terhadap ketahanan *impact* kowi pelebur (*crusible*) berbahan komposit abu sekam padi/*grafit*/ kaolin.

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang akan diteliti di atas, tujuan khusus dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui fasa senyawa yang terkandung pada bahan komposit abu sekam padi/*grafit*/ kaolin dengan pengujian *X-Ray Diffraction*;
- b. Mengetahui pengaruh *thermal shock resistance* terhadap hasil makro struktur kowi pelebur (*crusible*) berbahan komposit abu sekam padi/*grafit*/ kaolin;
- c. Mengetahui pengaruh *thermal shock resistance* terhadap ketahanan *impact* kowi pelebur (*crusible*) berbahan komposit abu sekam padi/*grafit*/ kaolin.

1.6. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- a. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan rekomendasi untuk perusahaan yang menggunakan cawan kowi atau krusibel pada peleburan aluminium.
- b. Data hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi awal ataupun data pembandingan untuk pengembangan penelitian berikutnya.
- c. Memberikan sumbangsih dan untuk memperkaya kasanah ilmu pengetahuan dan teknologi.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Ngatijo, dkk, (2011) dengan judul penelitian “Pemanfaatan Abu Sekam Padi (Asp) Payo Dari Kerinci Sebagai Sumber Silika dan Aplikasinya Dalam Ekstraksi Fasa Padat Ion Tembaga (II)”. Karakterisasi adsorben dilakukan sebelum dan sesudah proses adsorpsi menggunakan FT-IR. Struktur kristal dianalisis dengan XRD apabila sekam padi dibakar pada temperatur 500-700°C akan dihasilkan struktur kristal abu sekam yang amorf (Bhagiya lakshmi dkk., 2009). Pengayakan dan penggerusan dilakukan untuk menghomogenkan ukuran abu dan memperluas permukaan sehingga sintesis natrium silikat efektif. Setelah diayak abu sekam didestruksi dengan 200 mL larutan NaOH. Sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai sumber silika dalam pembuatan adsorben, hasil karakterisasi abu sekam padi (ASP) diperoleh puncak sudut $2^\theta = 23$, dengan intensitas 67 serta spektro fotometer IR pada bilangan gelombang 1087, 85 cm^{-1} untuk rentangan Si – O dan 794,67 cm^{-1} dari Si – O pada Si – OH, hasil adsorpsi ini ion logam tembaga 203,40 mg/g.

Rusiyanto, (2005) dengan judul penelitian “*Thermal Shock Resistance* pada Keramik Kaolin”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui *thermal shock resistance* pada keramik kaolin. Spesimen yang dibuat dari serbuk kaolin yang dikompaksi dengan tekanan 25 MPa secara *uni-axial*. Spesimen disinter pada temperatur 1400 °C, 1450 °C, dan 1500 °C. Densitas dengan menggunakan teori

Archimedes. Kekuatan *bending* spesimen yang telah di *thermal shock* diuji dengan metode *three point bending*. *Densitas* aktual meningkat dengan naiknya temperatur sinter, pada temperatur 1400 °C sebesar 2,357 gr/cm³ dan pada temperatur sinter 1450 °C sebesar 2,484 serta pada temperatur sinter 1500 °C sebesar 2,624 gr/cm³. Berdasarkan pengujian *bending*, kekuatan untuk temperatur sinter 1400 °C pada $\Delta T = 0$ °C sebesar 40,47 MPa, $\Delta T = 200$ °C sebesar 50,31 MPa dan kekuatan menurun drastis pada $\Delta T = 300$ °C menjadi 19,50 MPa. Kekuatan untuk temperatur sinter 1450 °C pada $\Delta T = 0$ °C sebesar 59,94 MPa, $\Delta T = 200$ °C sebesar 42,01 MPa dan kekuatan menurun drastis pada $\Delta T = 300$ °C menjadi 17,62 MPa. Kekuatan untuk temperatur sinter 1500 °C pada $\Delta T = 0$ °C sebesar 109,76 MPa, $\Delta T = 200$ °C sebesar 98,14 MPa dan kekuatan menurun drastis pada $\Delta T = 300$ °C menjadi 24,47 MPa. Semua spesimen mengalami penurunan kekuatan secara drastis antara $\Delta T = 200$ °C sampai $\Delta T = 300$ °C.

Berdasarkan jurnal Sayidatul Ummah, dkk, (2010) dengan judul penelitian “Kajian Penambahan Abu Sekam Padi dari Berbagai Suhu Pengabuan terhadap Plastisitas Kaolin”. Indeks plastisitas kaolin semakin turun dengan penambahan abu sekam padi yang diabukan pada variasi suhu 600⁰C, 700⁰C, dan 800⁰C. Hasil dari penelitian tersebut yaitu tingkat kecerahan warna dari abu sekam padi semakin tinggi seiring kenaikan suhu pengabuan. Kadar karbon dan kadar air dari masing-masing abu sekam padi sebesar 0,045%; 0,048%; 0,03% jumlah kualitatif SiO₂ dari abu sekam padi hasil pengabuan 600⁰C < 700⁰C < 800⁰C, untuk komposisi kimia dari abu sekam padi yang dominan yaitu Si hingga mencapai 91,2%.

Simon Sembiring dan Pulung Karo-Karo (2007) dengan judul penelitian “Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Karakteristik Termal Dan Mikro Struktur Silika Sekam Padi”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan mengkaji pengaruh suhu sintering terhadap sifat sifat silika sekam padi seperti sifat termal, mikrostruktur, dan pembentukan struktur atau komposisi fasa. Sehingga dapat diperoleh informasi kelayakan silika sekam padi sebagai bahan baku material berbasis silika. Silika yang diperoleh dengan metode ekstraksi, sampel tanpa dan dengan *sintering* dikarakterisasi dengan DTA (*Differential Thermal Analysis*)/ TGA (*The Thermogravimetric Analyzer*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan XRD (*X-Ray Diffraction*). Sampel yang dikarakterisasi adalah sampel tanpa *sintering* dan *disintering* pada suhu 750 °C dan 1050 °C. Selanjutnya sampel bentuk serbuk dikarakterisasi dengan DTA/TGA untuk melihat karakteristik termal. Sampel bentuk pellet dikarakterisasi dengan SEM untuk melihat karakteristik perubahan mikrostruktur yang dipolis terlebih dahulu dengan tahapan 15µm, 9 µm dan terakhir 1 µm, serta dietsa dengan metode termal pada suhu 1350 °C selama 15 menit. Dari hasil serangkaian percobaan dan karakterisasi sampel silika sekam padi menunjukkan bahwa karakteristik silika sekam padi yang diperoleh dengan metode ekstraksi mempunyai fasa amorph tanpa *sintering* dan awal perubahan struktur *amorph* ke kristal pada suhu *sintering* 750 °C, dan dengan meningkatnya suhu *sintering* 1050 °C mengakibatkan tranformasi *amorph* membentuk fasa kristal *crystoballite* dan *trydimite*. Di samping itu, karakteristik termal silika sekam padi menunjukkan peningkatan stabilitas termal, dan pembentukan fasa *crystoballite*, *trydimite* meningkat seiring dengan naiknya suhu

sintering, serta tingkat persentasi kemurnian silika meningkat dengan kenaikan suhu *sintering* sebesar 98,85% pada suhu *sintering* 1050 °C.

Henok Siagian dan Martha Hutabalian, (2012) dengan judul penelitian “Studi Pembuatan Keramik Berpori Berbasis *Clay* dan Kaolin Alam dengan Aditif Abu Sekam Padi”. Variasi campuran komposisi abu sekam padi berpengaruh terhadap karakteristik keramik berpori, dimana penambahan persentase komposisi abu sekam padi dari 0%, 5%, 10% dan 15% mengakibatkan meningkatnya porositas dan sifat mekanik keramik, sedangkan densitas dan susut bakar mengalami penurunan. Temperatur *sintering* dalam pembuatan keramik berpori berpengaruh terhadap sifat fisis keramik.

Heri Hardiyanti (2016) dengan judul penelitian “Karakterisasi Densitas *Grafit* Sebagai Kandidat Bahan Reaktor Temperatur Tinggi”. Penelitian ini dilakukan dengan karakterisasi densitas *grafit* dengan menganalisis pola difraksi sinar-X menggunakan metode *Rietveld* yang dibandingkan dengan pengukuran densitas dengan ASTM C373 dan ASTM C559. Pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik dilakukan untuk memperkuat karakteristik densitas elektroda *grafit* yang akan diuji. Hasil yang diperoleh menunjukkan sampel *grafit* merupakan alotropi *grafit* 2H dengan sistem Kristal heksagonal dan grup kisinya adalah P 63 m c. Parameter kisi hasil analisis *Rietveld* diperoleh $a = 2,4627 \text{ \AA}$ dan $c = 6,7215 \text{ \AA}$, dengan densitas yang diperoleh sebesar $2,26 \text{ g/cm}^3$. Hasil pengukuran densitas dengan ASTM C373 diperoleh sebesar $2,41 \text{ g/cm}^3$, sedangkan pengukuran densitas dengan ASTM C559 sebesar $2,28 \text{ g/cm}^3$. Hasil pengamatan struktur mikro memperkuat hasil pengukuran densitas yang diperoleh

dengan menunjukkan sampel *grafit* memiliki kepadatan yang lebih tinggi dan elektroda *grafit* telah memenuhi salah satu kriteria agar dapat digunakan pada reaktor temperatur tinggi

Isman, Ign. (2000) dengan judul “Penentuan Komposisi Bahan Mineral Penyusun Keramik Untuk Immobilisasi Limbah Radioaktif”. Pada penelitian ini menjelaskan bahwa semakin tinggi kandungan kaolin yang ada dalam monolit keramik semakin besar susut tingginya setelah dilakukan pemanasan. Terjadinya penyusutan tinggi maka secara otomatis akan terjadi penyusutan volume blok monolit. Penyusutan ini terjadi kemungkinan disebabkan selama proses pemanasan dari keadaan awal sampai diperoleh produk keramik yang kuat adalah adanya perubahan bentuk dan ukuran pori. Kaitannya dengan akan digunakan untuk immobilisasi limbah maka penyusutan volume tidak begitu berpengaruh terhadap hasil immobilisasi. Penyusutan volume hanya digunakan untuk menentukan ukuran monolit. Dari hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa monolit keramik dengan komposisi mineral penyusun kaolin, feldspar (dengan komposisi feldspar mulai dari 5 % sampai 75 %) *clan* kaolin, *clay* (dengan komposisi *clay* mulai dari 2,5 % sampai 10 %) maka karakteristik monolit yang diperoleh tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan ditinjau dari sifat serap terhadap air, berat jenis serta kekuatan tekan.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Kowi atau Cawan Pelebur

Paduan *non ferrous* seperti paduan Aluminium, paduan tembaga, paduan timah hitam, dan paduan ringan lainnya biasanya dilebur dengan menggunakan dapur peleburan jenis krusibel, sedangkan untuk besi cor menggunakan dapur induksi frekuensi rendah atau kupola. Dapur induksi frekuensi tinggi biasanya digunakan untuk melebur baja dan material tahan temperatur tinggi.

Jenis dapur yang paling banyak digunakan dalam pengecoran logam ada lima jenis yaitu; Dapur jenis kupola, dapur pengapian langsung, dapur krusibel, dapur busur listrik, dan dapur induksi. Dalam memproduksi besi cor dapur yang paling banyak digunakan industri pengecoran adalah krusibel dan dapur induksi. (Akuan, 2009:17)

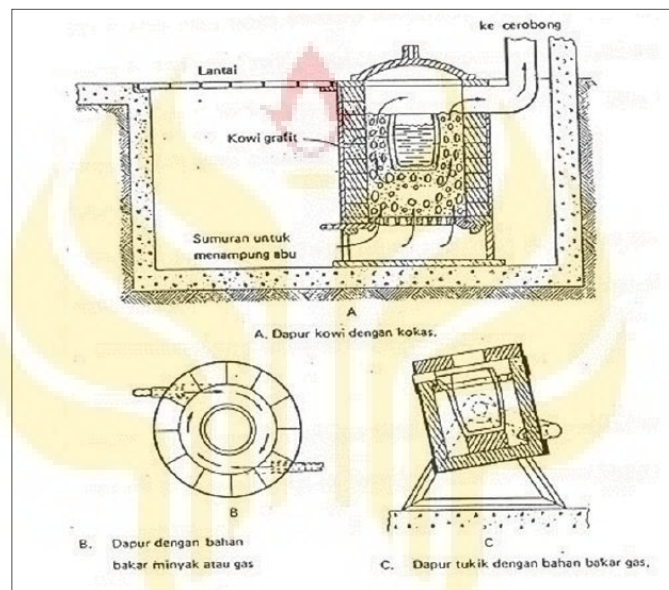
Dapur peleburan yang digunakan untuk melebur bahan non logam, umumnya terdapat cawan atau tungku di dalamnya yang disebut dengan kowi. Kowi ataupun krusibel adalah tempat yang berbentuk menyerupai pot atau mangkuk digunakan untuk peleburan bahan bukan logam. Nama krusibel diambil dari bentuk benda tersebut yang krus (diameter bagian bawah lebih kecil dibanding dengan bagian atas). Pembuatan kowi dapat berasal dari bahan-bahan yang berbeda, ada yang terbuat dari *grafit*, tanah liat, silikon karbid, ataupun dengan besi tuang atau baja. Tungku tersebut banyak dipakai dalam industri pengecoran karena murah dan cukup memadai. Kowi berfungsi untuk menampung logam yang akan dilebur (Polman, 2012:17).

Krusibel atau kowi dengan bahan *grafit* merupakan cawan kowi yang paling baik karena dengan penggunaan bahan tersebut memiliki ketahanan suhu yang tinggi dan tidak terjadi reaksi antara cairan yang dilebur dengan bahan cawan tersebut. Cawan kowi dengan bahan *grafit* lebih sering digunakan untuk peleburan tembaga dan kuningan yang memiliki titik lebur mulai dari 950°C sampai dengan 1050°C . Dalam proses penggunaannya, setelah kowi dipasang dalam tungku dengan pemakaian yang terus menerus akan mengalami penipisan dan yang tertinggal hanyalah lempung, yaitu bahan pengikatnya, sehingga ketahanan panasnya pun menurun. Hal tersebut dapat dilihat dari perubahan warnanya. Kowi yang baru berwarna hitam kelabu, semakin lama pemakaian warna menjadi semakin muda kemudian menguning dan akhirnya coklat kemerahan. Kowi ini harus selalu kering dan disimpan di tempat yang hangat dan tidak lembab. Kowi *grafit* yang lembab akan kehilangan lapisan gelasnya saat digunakan, sehingga cepat menjadi aus (Polman, 2012:17).



Gambar 2.1. Kowi dengan bahan *grafit*

Dapur kowi adalah dapur tertua yang digunakan untuk melebur baja, kowi terbuat dari *grafit* dan tanah liat. Kowi mudah pecah dalam keadaan bisa, tetapi mempunyai kekuatan yang cukup kuat dalam keadaan panas. Kowi dapat dipanaskan dengan kokas, minyak tanah, atau gas alam. Kapasitas kowi bervariasi antara ± 50 Kg. (Amstead:1986).



Gambar 2.2. Dapur Kowi (Amstead, 1993)

Cawan kowi dengan bahan silikon karbid memiliki ketahanan suhu lebih rendah dibandingkan dengan kowi *grafit*, tetapi untuk penggunaan peleburan aluminium bisa berusia lebih panjang tergantung dari penanganannya (2 sampai 4 kalinya). Selain itu kowi ini memiliki daya hantar panas lebih baik sehingga peleburan dapat berlangsung lebih cepat (penghematan energi). Belakangan dengan bahan *grafit* pada penggunaannya di peleburan, pemanasan kowi dengan bahan silikon karbid harus dilakukan secepat mungkin. Kekurangan dari kowi ini adalah sangat peka terhadap bahan peleburan yang mengandung *kryolith* dan *natrium fluorid*, demikian pula terhadap garam pemurni maupun pencuci

(pembersih cairan) (Polman, 2012:18). Jadi, kowi dapat dibuat dengan campuran *grafit* dan lempung yang dalam hal ini penelitian kami dengan menggunakan bahan tambahan limbah sekam padi.

2.2.2. Arang Sekam Padi

Sekam padi merupakan sisa dari penggilingan padi. Sekam yang dihasilkan dari penggilingan tersebut cukup banyak yaitu diantara 20-30% jumlah berat keseluruhan dari padi. Sekam padi sangat potensial dimanfaatkan sebagai alternatif media tumbuh. Bahan organik diketahui memiliki peranan penting dalam menentukan kesuburan tanah, baik secara fisik, kimiawi maupun secara biologis. Secara fisik, bahan organik berperan memperbaiki struktur tanah menjadi lebih remah, meningkatkan kemampuan menahan air sehingga *drainase* tidak berlebihan, serta kelembaban dan temperatur tanah menjadi stabil (Hanafiah, 2007). Sekam padi (*rice husk/ rice hull*) atau kulit gabah adalah bagian terluar dari bulir padi dan memiliki kandungan silika terbanyak dibandingkan dengan hasil samping pengolahan padi lainnya seperti dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kandungan Silika pada Padi

Komponen	Silika
Sekam	18,0-22,3%
Dedak	0,2-0,3%
Bekatul	0,6-1,1%
Jerami	4,0-7,0%

Menurut Nugraha (2008:53) sekam padi merupakan lapisan keras yang menutupi kariopsis terdiri dari dua belahan yang saling bertautan disebut *lemma* dan *palea*. Pada proses penggilingan padi terdapat antara 16%-26% sekam. Ukuran sekam padi dipengaruhi oleh model atau *tipe* penggilingannya dan dengan penggilingan *tipe roll* karet sekam yang dihasilkan tidak hancur dan masih

mempunyai nilai kalor yang tinggi. Jadi sekam padi sering disebut dengan buangan atau bahan sisa dari proses penggilingan padi. Pada setiap penggilingan padi akan selalu kita lihat tumpukan atau gunung sekam yang banyak dan mengganggu lingkungan. Sekam padi dianggap sebagai bahan yang kurang bermanfaat dan bernilai gizi rendah karena menurut Houston (1972), sekam padi mengandung abu yang cukup tinggi. Sekam padi merupakan bagian terluar beras dan beratnya rata-rata menyumbang 20 % dari berat yang dihasilkan. Karakteristik utama dari sekam padi adalah memiliki nilai kalor 16,3 MJ/kg, kandungan zat terbang 74,0 % dan 12,8 % abu. (L. Armesto, dkk, 2002:172)



Gambar 2.3. Sekam Padi.

Menurut Mittal (1997) sekam padi merupakan salah satu sumber penghasil silika terbesar setelah dilakukan pembakaran sempurna. Abu sekam padi hasil

pembakaran yang terkontrol pada suhu tinggi (500 – 600°C) akan menghasilkan abu silika yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai proses kimia (Putro, 2007). Houston (1972) mengatakan bahwa abu sekam padi mengandung silika sebanyak 86% - 97% berat kering, dan Mittal (1997) mengatakan abu sekam padi mengandung silika sebanyak 90 – 98% berat kering.

Kandungan silika dalam sekam padi yang cukup tinggi sangat prospektif untuk pengembangan produk-produk berbasis silika. Silika banyak digunakan sebagai bahan dasar pembuatan gelas, keramik, silika refraktori, *soluble silicate*, silika karbida, dan bahan-bahan kimia lainnya berbasis silika (Kirk-Othmer, 1984; Sun, 2001). Sekitar 20% dari bobot padi adalah sekam padi dan kurang lebih 15% dari komposisi sekam adalah abu sekam yang selalu dihasilkan setiap kali sekam dibakar (Hara, 1986). Nilai paling umum kandungan silika dari abu sekam adalah 94% - 96%, dengan *Pozzolan Activity Index* 87% dan apabila nilainya mendekati atau di bawah 90% kemungkinan disebabkan oleh sampel sekam yang telah terkontaminasi dengan zat lain yang kandungan silikanya rendah. Silika yang terdapat dalam sekam ada dalam bentuk *amorf* terhidrat (Houston, 1972).

Silika dinotasikan sebagai senyawa silikon dioksida (SiO_2), yang dalam penggunaannya dapat berupa berbagai macam bentuk, contohnya *amorphous* yang dalam variasi bentuknya. Silika sering digunakan sebagai *dessicant*, adsorben, media *filter*, dan komponen katalisator. Silika merupakan bahan baku utama pada *glass industry*, keramik, industri refraktori dan bahan baku yang penting untuk produksi larutan silikat, silikon dan *alloy* (Kirk-Othmer, 1967).

Silika yang dihasilkan dari sekam padi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan silika mineral, dimana silika sekam padi memiliki butiran halus, lebih reaktif, dapat diperoleh dengan cara mudah dengan biaya yang relatif murah, serta didukung oleh ketersediaan bahan baku yang melimpah dan dapat diperbaharui. Dengan kelebihan tersebut, menunjukkan silika sekam padi berpotensi cukup besar untuk digunakan sebagai sumber silika, yang merupakan bahan material yang memiliki aplikasi yang cukup luas penggunaannya. Menurut Soepardi (1982), kandungan silika tertinggi pada padi terdapat pada sekam bila dibandingkan dengan bagian tanaman pada lain seperti helai daun, pelepah daun, batang dan akar.

Harsono (2002) melakukan penelitian pembuatan silika *amorf* dengan melakukan pembakaran sekam padi dalam tangki. Menurutnya untuk mendapatkan silika yang reaktif temperatur pembakaran harus terkontrol. Pembuatan silika amorf ini dilakukan dengan terlebih dahulu melalui proses pengeringan yang bertujuan untuk mengeliminasi kandungan air dalam bahan dengan menguapkan air dalam dari permukaan bahan. Adanya sisa kandungan air dalam abu sekam padi dapat menghalangi proses difusi komponen kimia yang terkandung dalam sekam padi saat dipanaskan pada kemurnian sekam. Pembakaran sekam padi di tempat terbuka tidak hanya menghasilkan kualitas abu yang buruk tetapi juga dilarang di banyak negara karena menyebabkan polusi. Pembakaran yang tidak terkontrol menghasilkan struktur yang kristalin yang memiliki tingkat kereaktifan rendah. Pembakaran dengan industrial tungku pembakaran sering kali dilakukan dalam industri demi kepentingan ekonomi.

Pembakaran dalam industrial tungku pembakaran lebih mudah dikendalikan dan lebih mudah menghasilkan silika dalam bentuk yang *amorf* dengan kemurnian yang tinggi.

Tabel 2.2. Kandungan Sekam Padi

Komponen	Presentase Kandungan (%)
A. Menurut Suharno (1979)	
1. Kadar Air	9,02
2. Protein Kasar	3,03
3. Lemak	1,18
4. Serat Kasar	35,68
5. Abu	17,71
6. Karbohidrat Kasar	33,71
B. Menurut DTC-IPB	
1. Karbon (Zat Arang)	1,33
2. Hidrogen	1,54
3. Oksigen	33,64
4. Silika	16,98

Arang sekam padi sebagai media tumbuh dipercaya dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara, memperbaiki struktur tanah, memperbesar kemampuan tanah menahan air, meningkatkan drainase dan aerasi tanah. Penggunaan sekam padi, arang sekam padi dan limbah teh yang digunakan sebagai campuran media tumbuh merupakan salah satu upaya pemanfaatan limbah untuk mengurangi pencemaran lingkungan. (Sylvia, 2014:62).

Tabel 2.3. Sifat bahan dasar arang sekam padi

Sifat	Arang sekam padi
<i>Moisture (%)</i>	2,67
<i>Ash (%)</i>	39,06
<i>Volatile Matter (%)</i>	42,92
<i>Fixed Carbon (%)</i>	15,35
<i>Calor Value (kal/g)</i>	2789

Sumber: Patabang (2012: 291)

Adsorben arang aktif sekam padi yang dihasilkan dianalisis dengan standart industri indonesia (SII No. 0258-79) yaitu kadar air, kadar abu, kadar zat

mudah hilang pada pemanasan 950°C dan daya serap terhadap iod serta diidentifikasi gugus fungsionalnya dengan menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared*). Spektrofotometer infra merah terutama ditujukan untuk senyawa organik yaitu menentukan gugus fungsional yang dimiliki senyawa tersebut. Pola pada daerah sidik jadi sangat berbeda satu dengan yang lain, karenanya hal ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi senyawa tersebut.



Gambar 2.4. Arang Sekam Padi

Penetapan secara kualitatif dapat dilakukan dengan membandingkan tinggi transmitansi pada panjang gelombang tertentu yang dihasilkan oleh zat yang diuji dan zat yang standar. Dalam ilmu material analisa ini digunakan untuk mengetahui ada tidaknya reaksi atau interaksi antara bahan-bahan yang dicampurkan. Selain itu, nilai intensitas gugus yang terdeteksi dapat menentukan jumlah bahan yang bereaksi atau yang terkandung dalam suatu campuran. Karakterisasi arang aktif sekam padi menurut (SII No. 0258-79) diambil dari *UNESA Journal of Chemistry* Vol. 2, No. 1, Januari 2013 adalah sebagai berikut:

Tabel 2.4. Hasil Uji Kualitas Arang Sekam Padi.

No.	Jenis Uji	Syarat	Hasil
1.	Kadar air	Maks 10%	5,022
2.	Kadar abu	Maks 25%	34,042
3.	Bagian yang hilang pada pemanasan 950 °C	Maks 15 %	19,734
4.	Daya serap terhadap larutan I ₂	Min 20%	83,07

Menurut beberapa sifat unsur yang terkandung dalam sekam padi dari beberapa penelitian terdahulu menjelaskan bahwa pencampuran sekam padi dalam pembuatan kowi memiliki kekerasan lebih dan ketahanan terhadap suhu tinggi seperti halnya dengan *grafit*. Arang sekam padi yang digunakan sebagai pengganti *grafit* dalam pembuatan kowi sebelumnya akan digiling terlebih dahulu sesuai dengan ukuran mesh *grafit* maupun bahan perekatnya.

2.2.3. *Grafit*

Grafit merupakan *demorphiesme* dari intan, tetapi memiliki tingkat kekerasan yang rendah. *Grafit* tidak terbakar dan larut dengan mudah dalam lelehan logam. *Grafit* terbentuk pada metamorfosa tingkat tinggi dari batuan yang mengandung zat organik dapat terjadi pula karena proses magmatisme. *Grafit* memiliki koefisien gesek yang rendah, material ini dapat digunakan sebagai *solid lubrication* atau pelumas padat. *Grafit* adalah bentuk kristal karbon lunak dan getas, memiliki kekerasan Brinell H_b kira-kira 1, kekuatan tarik 2 kgf/mm² dan berat jenisnya 2,2kg/mm³ (Surdia, 1986).

Grafit adalah bentuk alotrop karbon, karena kedua senyawa ini mirip namun struktur atomnya mempengaruhi sifat kimiawi dan fisiknya. *Grafit* terdiri

atas lapisan atom karbon, yang dapat menggelincir dengan mudah. Artinya, *grafit* sangat lembut, dan dapat digunakan sebagai minyak pelumas untuk membuat peralatan mekanis bekerja lebih lancar. Pada umumnya digunakan sebagai "timbal" pada pensil. *Grafit* berwarna kelabu akibat delokalisasi elektron antar permukannya, dan dapat berfungsi sebagai konduktor listrik. *Grafit* juga disebut sebagai timbal hitam, mineral *grafit* dapat di temukan di batuan metamorf yaitu sabak, filit, sekis, gneiss.

Saat ini telah dibuat berbagai bentuk karbon berupa *grafit* sintetis dan intan sintetis, karbon adsorban, kokas, karbon hitam, serat *grafit* dan karbon, karbon gelas, karbon serupa intan yang akan digunakan dalam berbagai aplikasi seperti kontak elektrik dan elektroda, pelumas, pemoles sepatu, batu permata, pisau potong, penyerap gas, dan lain-lain (Sengupta, dkk, 2011). *Grafit* pada komposit berfungsi sebagai penguat dan memperkecil gesekan serta meningkatkan ketahanan aus. *Grafit* juga berfungsi sebagai pelumasan (*self lubricating*). Material dengan kandungan *grafit* di bawah 0,3% dikategorikan sebagai *grafit* ber Kandungan rendah. Sedangkan pada kadar menengah *grafit* berkisar antara 0,5 - 1,8%. *Grafit* ber Kandungan tinggi dengan kadar antara 3-5%.

Grafit memiliki struktur berupa jaringan dimana kristal C_{60} sebagai molekul padat dimana setiap molekulnya terikat dengan ikatan Van der Waals. Pada *grafit*, anisotropik terjadi terhadap nilai *Modulus Young*-nya dimana komponen yang tegak lurus dengan bidang dasar akan memiliki lebih rendah dibandingkan yang paralel dengan bidang dasar. Hal ini juga menyebabkan adanya sifat anisotropik pada konduktivitas termal (Wissler, 2006). Selain bahan

grafit, dalam pembuatan kowi juga diperlukan bahan perekat yaitu lempung. Pada hal ini kami menggunakan lempung kaolin.

2.2.4. Lempung (Kaolin)

Lempung adalah material yang memiliki ukuran diameter partikel lebih kecil dari 2 μm dan dapat ditemukan dekat permukaan bumi. Karakteristik umum dari lempung mencakup komposisi kimia, struktur lapisan kristal dan ukurannya. Lempung merupakan suatu bahan yang mengandung senyawa alumino silikat hidrat dengan ukuran butir kurang dari 2 mikron. Lempung akan menjadi sangat keras dalam keadaan kering, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Tanah liat atau lempung mempunyai sifat permeabilitas sangat rendah dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Contoh mineral lempung adalah mineral kaolinit dan mineral haloisit (Nuryanto, 1999).

Pada umumnya ada 2 jenis lempung, yaitu:

1. *Ball clay*, ini digunakan pada keramik putih karena memiliki plastisitas tinggi dengan tegangan patah tinggi serta tidak pernah digunakan sendiri. Tanah jenis ini disebut tanah liat sedimen, memiliki butir halus dan berwarna abu abu. Titik lelehnya lebih kurang 1800°C. Kaolin digunakan untuk membuat gerabah, porselin dan tegel.
2. *Fire clay*, jenis tanah ini biasanya berwarna terang ke abu-abu gelap menuju hitam. *Fire clay* diperoleh di alam dalam bentuk bongkahan yang menggumpal dan padat. Tanah jenis ini tahan dibakar pada suhu tinggi tanpa mengubah bentuknya. Ada 3 jenis *fire clay*, yaitu *flin fire clay* yang memiliki struktur

kuat, *plastic fire clay* yang memiliki kemampuan kerja yang baik serta *high alumina clay* yang sering digunakan sebagai refraktori dan bahan tahan api.

Kaolin merupakan massa batuan yang tersusun dari material lempung dengan kandungan besi yang rendah, dan umurnya berwarna putih dan agak keputihan. Kaolin mempunyai komposisi hidrous aluminium silikat ($2\text{H}_2\text{O}\cdot\text{AlO}_3\cdot 2\text{SiO}_2$), dengan disertai mineral penyerta. Kaolin dapat digunakan dalam pembuatan keramik, bahan obat, pelapis kertas, cat bangunan, sebagai adiktif pada makanan dan pada pasta gigi (Saintika, 2012).

Kaolin adalah jenis lempung yang mengandung mineral kaolinit dan terbentuk melalui proses pelapukan. Kaolin merupakan jenis tanah liat primer digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan keramik putih, dan mengandung mineral kaolinit ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) sebagai bagian yang terbesar, sehingga kaolin biasanya disebut sebagai lempung putih.



Gambar 2.5. Kaolin Clay

David O. Obada (2016), menggunakan kaolin-styrofoam, serbuk gergaji, dan *high density polyethylene* untuk menghasilkan badan keramik berpori

eksperimental diselidiki. Porositas disinter dihitung dan memberi berikut: jelas porositas: 28,63% -67,13% untuk semua sampel diselidiki. Sampel dengan *high density polyethylene* (HDPE) pembentuk pori menunjukkan retakan permukaan kecil setelah cincin, tapi dipamerkan tingkat porositas tertinggi sementara sampel dengan styrofoam dan karakteristik permukaan seragam dengan pori-pori, stabilitas termal dan tidak ada retak permukaan terlihat. Dapat disimpulkan bahwa formulasi yang mengandung 80% kaolin dapat digunakan untuk produksi keramik dengan porositas setinggi 67% jika pembentuk pori yang tepat digunakan.

Menurut Das (1985), lempung (*clay*) adalah bagian dari tanah yang sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung (*clay minerals*), dan mineral-mineral yang sangat halus lain. Paduan dari beberapa bahan kowi pelebur seperti arang sekam padi, *grafit*, dan kaolin nantinya akan diuji ketahanan *thermalnya*. Pengaruh panas mendadak atau *thermal shock* pada saat penggunaan kowi pelebur sangat diperhitungkan. Hal itu karena kowi dari bahan sebelumnya yaitu *grafit* dapat retak dalam waktu tertentu. Pada saat suhu yang diterima saat peleburan dan suhu pada saat kowi pelebur dalam keadaan dingin, begitu juga bahan lainnya.

2.2.5. Thermal Shock Resistance

Thermal shock resistance biasanya disebut dengan suhu yang bertekanan tinggi, kemudian mendapatkan perlakuan secara mendadak sehingga suhu komponen menurun. Pada saat situasi yang luar biasa, sebuah bagian dapat secara

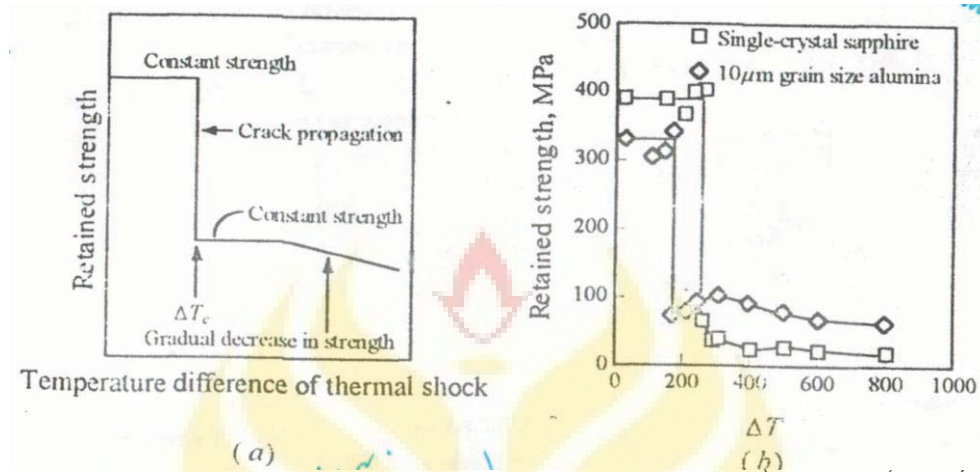
spontan hancur atau rusak selama pendinginan. Menurut penelitian terdahulu, pemanasan atau pendinginan dengan cepat dari sebuah keramik akan sering mengalami kegagalan. Kegagalan material ini diketahui dari panas kejut dan terjadi ketika panas tinggi dan posisi panas bertekanan melebihi kekuatan dari bagian material tersebut. Misalnya, seperti sebuah komponen yang dengan cepat didinginkan dari temperature T ke T_0 , permukaannya akan cenderung menyusut, tapi bagian terbesar komponen pada temperatur T akan terhindar dari hal yang sama. Pada penjelasan serupa untuk salah satu pembuatan tersebut, itu mudah untuk dipahami, demikian juga pada situasi permukaan tegangan tarik akan menyebabkan pengaruh keseimbangan oleh salah satu tekanan di bagian terbesar material (Barsoum,1997).

Keterangan percobaan: mengukur *thermal shock resistance*.

Thermal shock resistance biasanya diukur dari pemanasan sampel untuk variasi temperatur T_{max} . Sampel dengan cepat didinginkan dengan *quenching* dari T_{max} sampai dengan sedang, biasanya sampai suhu air. Kekuatan dalam mempertahankan *postquench* yang diukur dan diplot berbanding terbalik dengan tingkat keparahan *quench*, atau $\Delta T = T_{max} - T_{ambient}$. Hasil dari percobaan menghasilkan grafik seperti ini ditunjukkan pada Gambar 2.7. (a), dimana ciri-ciri utamanya adalah terjadinya penurunan secara cepat dalam ketahanan kekuatan di sekitar area kritis perubahan temperature ΔT_c bawah, yang mana kekuatan semula ditahan. Seperti suhu *quenching* yaitu pertambahan lebih cepat, kekuatan berkurang tapi secara berangsur-angsur. Data sebenarnya untuk *single-crystal* dan

polycrystalline bahan dasar pembuat aluminium dapat dilihat pada Gambar 2.7.

(b).



Gambar 2.6. (a) skema perlakuan kekerasan akibat dari perlakuan *quenching* ΔT .
(b) data sebenarnya untuk *single-crystal* dan *polycrystalline alumina*.

Dilihat dari segi kegunaan, itu sangat penting untuk mengetahui ΔT_c . Selanjutnya, hanya pemahaman variasi parameter yang mempengaruhi keberhasilan desain *thermal shock* yang mana berlawanan dengan *thermal shock* yang suhunya tinggi. Penggunaannya akan membutuhkan cara dengan parameter tertentu yang membuat keramik dapat menahan *thermal shock*. Untuk memperkirakan ΔT_c , menggunakan beberapa asumsi berikut:

- Material mengandung N sama, bagiannya sama, volume kerusakan per unit.
- Kerusakan lingkaran dengan radius c_i .
- Material didinginkan secara seragam dengan permukaan luar yang dibatasi secara paksa untuk memberi keadaan tegangan triaksial yang diperoleh dari rumus

$$\sigma_t = - \frac{\alpha Y \Delta T}{(1-2\nu)} \dots \dots \dots (2.1)$$

d) Perambatan retakan terjadi karena reaksi bersama dari retakan N, interaksi dapat diabaikan di antara arah tegangan dari retakan yg berlawanan.

Bermula dari permasalahan dan berikut salah satu rumus total energi dari sistem dengan suhu yang dapat meningkat dengan cepat.

$$U_{tot} = U_0 - U_{strain} + U_{surf} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana U_0 adalah energi dari tegangan dan keretakan bebas kristalnya dengan V_0 . U_{surf} dan U_{strain} secara berturut-turut di permukaan dan energi tegangan dari sistem. Selama itu maka di area regangan tidak dapat berinteraksi, di depan keretakan N, U_{tot} diubah menjadi berikut ini

$$U_{tot} = U_0 + \frac{V_0 \sigma^2_{ther}}{2Y} - \frac{N \sigma^2_{ther}}{2Y} - \frac{4\pi c_i^3}{3} + N G_c \pi c_i^2 \dots \dots \dots (2.3)$$

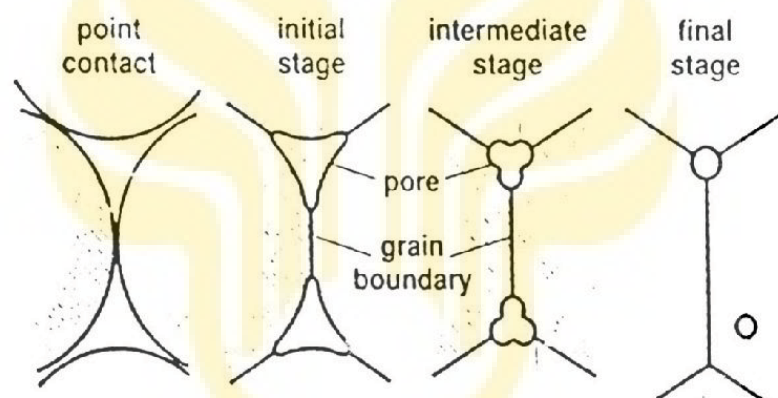
Dimana suhu ketiga dari sebelah kanan menunjukkan energi bebas tegangan dari adanya retakan dan suhu terakhir adalah energi yang dibutuhkan untuk seluruh tegangan. Perbedaan tanda dengan reaksi ke c_i , menyamakan hasil menjadi nol, dan menyusun kembali suhu, salah satu dapat dengan mudah terlihat. Maka $\Delta T > \Delta T_c$, dimana ΔT_c diperoleh dari:

$$\Delta T_c \geq \sqrt{\frac{G_r(1-2\nu)^2}{\alpha^2 Y c_i}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Retakan akan meluas dan membutuhkan tegangan energi dari sistem. Sebaliknya, untuk $\Delta T > \Delta T_c$ energi tegangan yang berkembang dalam sistem tidak cukup untuk memperpanjang retakan, yang pada gilirannya menyatakan bahwa kekuatan tetap tidak berubah, seperti pengamatan secara eksperimental.

Thermal shock resistance atau ketahanan material terhadap perubahan temperatur secara mendadak adalah salah satu sifat dari bahan keramik. Sifat

thermal shock resistance ini sangat penting untuk material refraktori dengan beberapa tahapan di antaranya spesimen harus dicetak dan dikompaksi dengan tekanan tertentu kemudian dilakukan proses *sintering* dengan variasi suhunya. *Sintering* yaitu pengikatan antara partikel partikel serbuk pada suhu tinggi. Seperti pada gambar memperlihatkan skema penyusutan pori-pori antar partikel serbuk selama proses *sintering*. Pada kondisi awal adalah kondisi setelah kompaksi, yaitu masih terdapat pori-pori antar partikel serbuk. Awal proses *sintering* dimulai dari pengikatan antar partikel serbuk sehingga pori-pori mulai mengecil.



Gambar 2.7. Skema penyusutan pori selama proses *sintering* (German, 1994).

Kontak antara partikel serbuk akan membesar jika proses *sintering* terus berlanjut karena adanya tekanan selama proses kompaksi dan partikel serbuk mulai mengalami perubahan fase menjadi lebih lunak, dan ketika material sudah pada kondisi suhu ruang akan menghasilkan ikatan yang lebih kuat (Triono Karso, 2012). Variasi suhu yang semakin meningkat pada siklus termal dapat menurunkan kekuatan mekanik komposit, hal ini sesuai dengan penelitian Cao S., dkk (2009).

Peningkatan jumlah siklus termal yang diberikan pada komposit dengan matrik *epoxy* dapat menyebabkan kerusakan ikatan antar muka yang dapat menyebabkan terjadinya *crack* (retakan), hal ini sesuai dengan penelitian Papanicolaou G.C., dkk (2009) yang mengkaji tentang pengaruh perlakuan panas kejut (*thermal shock*) dengan variasi jumlah siklus 6, 12, 24, 36 dan 48 kali, hasil penelitiannya menunjukkan perlakuan *thermal shock* menyebabkan kegagalan *debonding* pada matrik karena pengaruh *thermal fatigue*, sedangkan untuk variasi jumlah siklus ditemukan adanya kerusakan *micro crack* yang meningkat pesat dengan bertambahnya jumlah siklus.

Perlakuan panas pada keramik, *sintering* merupakan salah satu tahap terpenting dalam pembuatan keramik. Selama *sintering* terjadi dua fenomena utama yaitu penyusutan (*shrinkage*) sehingga terjadi proses eliminasi porositas dan penggabungan antar dua permukaan partikel atau lebih. Semakin tinggi temperatur *sintering* mengakibatkan berkurangnya porositas dan semakin besar luasan ikatan permukaan antar partikel.

Thermal shock resistance atau perlakuan panas kejut merupakan masalah utama dalam proses pemilihan pembuatan keramik untuk mengaplikasikan suhunya, seperti tanur listrik dan suku cadang mesin. Masalah utamanya dalam pengaruh perancangan terhadap perlakuan panas kejut adalah mengidentifikasi pemilihan bahan yang sesuai kriteria untuk memilih bahan yang paling tahan untuk aplikasi perlakuan panas kejut yang diberikan. Material yang signifikan ini dibagi menjadi dua *strength-controlled failure* dan *toughness-controlled failure* (LU & Fleck, 1998:4762).

- a) Tingkat indeks kekuatan kegagalan yang dikendalikan (*strength-controlled failure*)

Sebuah tegangan dasar keretakan untuk kejutan dingin adalah bahwa $\sigma_{max}(\pm H, t)$ menunjukkan kekuatan patahan zat padat σ_f ; sedangkan untuk kejutan panas $\sigma_{max}(0, t)$ menunjukkan nilai σ_f . Suhu maksimum yang naik secara bergantian dengan ΔT dalam perpindahan panas yang sempurna dengan *Biot Number* ($Bi = \infty$) berikut adalah rumusnya.

$$\Delta T = A_1 \frac{\sigma_f}{E\alpha} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana $A_1 = 1$ untuk kejut dingin (*cold shock*), dan $A_1 = 3,2$ untuk panas kejut (*hot shock*).

- b) Tingkat indeks kekerasan kegagalan yang dikendalikan (*toughness-controlled failure*).

Strategi yang sama dapat digunakan untuk memperbaiki kegagalan material dari sebuah retakan dominan yang disebabkan oleh kejutan termal. Sementara temperatur pembakarannya kriteria untuk kejutan panas dan dingin yaitu $K_{max}(a, t)$; sedangkan patahan akibat kekerasan K_{IC} . Kenaikan Suhu maksimum (ΔT) mengalami perpindahan panas ($Bi = \infty$) berikut adalah rumusnya.

$$\Delta T = A_3 \frac{K_{IC}}{E\alpha\sqrt{\pi H}} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana $A_3 = 4,5$ untuk kejut dingin; dan $A_3 = 5,6$ untuk panas kejut.

2.2.6. Temperatur dan ketahanan panas

a. Pengujian Temperatur pada Kowi

Dilihat dari perancangan kowi sebagai cawan pelebur, ketahanan panas menjadi salah satu faktor utama yang mempengaruhi waktu lebur dan banyaknya logam yang dilebur. Khususnya logam *non ferro*, contohnya alumunium yang membutuhkan suhu minimal 660°C , jadi ketahanan suhu dari cawan lebur harus melebihi titik lebur alumunium. pada hal ini digunakan alat instrumentasi elektrik yang berfungsi sebagai sensor suhu yaitu termokopel. Termokopel adalah sensor suhu yang banyak digunakan yang berfungsi untuk mengubah perbedaan panas dalam benda yang diukur temperaturnya menjadi perubahan potensial atau tegangan listrik.

Termokopel adalah salah satu peralatan instrumentasi yang berfungsi sebagai sensor temperatur. Termokopel terdiri dari berbagai jenis dengan perbedaan bahan pembuatan, rentang pengukuran, serta sensitivitasnya. Termokopel tipe K terdiri dari bahan *Chromel (Ni-Cr alloy)* dan *Alumel (Ni-Al alloy)* yang memiliki rentang pengukuran temperatur dari -270°C hingga 1350°C dengan sensitivitas $40,6 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ (Kiswanta, 2011).

Termokopel adalah sensor suhu yang banyak digunakan untuk mengubah perbedaan suhu dalam benda menjadi perubahan tegangan listrik. Termokopel yang sederhana mudah dipasang, dan memiliki jenis konektor standar yang sama, serta dapat mengukur suhu dalam jangkauan suhu yang cukup besar. Tipe K terbuat dari (*Chromel (Ni-Cr alloy)* / *Alumel (Ni-Al alloy)*) dengan rentang suhu -200°C hingga $+1200^{\circ}\text{C}$.

Untuk menentukan sistem skala temperatur, digunakan titik acuan bawah dan titik acuan atas. Titik acuan bawah yaitu titik lebur es pada tekanan 1 atm, sedangkan titik acuan atas adalah suhu titik didih air pada tekanan 1 atm. Skala Celcius adalah skala yang paling sering digunakan di dunia. Pada skala Celsius saat tekanan 1 atmosfer, titik dimana air membeku adalah suhu 0 °C dan titik didih air adalah 100 °C.

Pada dasarnya terdapat 8 jenis tipe termokopel. Perbedaannya terdapat pada bahan dan aplikasi penggunaannya. Mulai dari tipe K, tipe E, tipe J, tipe N, tipe B, tipe R, tipe S, dan tipe T. Sebagai penandanya adalah perbedaan warna pembungkus konduktor yang digunakan. Dapat dilihat pada gambar di bawah :

INDIA ISI-8784	USA ANSI-MC- 96-1	GERMANY DIN 43710-4	BRITISH BS-1843	FRENCH NFE C-42-324	JAPAN JIS C-1610- 1981
THERMOCOUPLE EXTENSION / COMPENSATING TYPE					
EXTENSION :					
K					
J					
T					
E					
N					
COMPENSATING :					
V					
R/S					
B					

Gambar 2.8. Jenis termokopel berdasarkan warna

b. Kekuatan pada Temperatur Tinggi

Pemanasan pada temperatur tinggi akan mempengaruhi sifat- sifat dasar yang meliputi titik cair, kapasitas kalor, pemuaian termal, hantaran termal, tegangan termal dan tekanan kejut termal sering disebut dengan perubahan sifat termal akibat temperatur tinggi.

c. Kapasitas Panas

Energi yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur 1°K dari bahan disebut kapasitas panas. Kapasitas panas pada temperatur tinggi dapat diperkirakan untuk hampir semua bahan kecuali gelas, karena atom dalam gelas tidak tersusun secara teratur seperti halnya dalam kristal. (Surdia Tata, 2000)

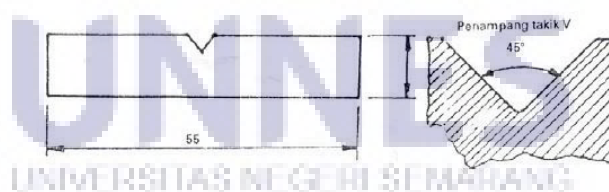
Kowi menjalani perlakuan panas bertujuan untuk memperbaiki struktur dan untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik yang lebih besar. Sehingga perlakuan panas dapat pula diartikan suatu proses perubahan struktur dari suatu benda dengan cara pemanasan benda tersebut sampai suhu yang ditentukan, *holding* pada suhu tersebut selama periode waktu tertentu dan dilanjutkan pendinginan dengan kecepatan pendinginan tertentu. Setelah pengujian temperatur untuk mengetahui sifat fisis dari bahan-bahan yang terkandung pada kowi, dilakukan pengujian lengkung untuk mengetahui sifat mekaniknya, dalam hal ini adalah bentuknya. Pembuatan spesimen dengan skala laboratorium.

2.2.7 Pengujian *Impact*

Pengujian *impact* menurut Malau (2008: 189), bertujuan untuk mengetahui kemampuan spesimen dalam menyerap energi yang diberikan. Pengujian *impact* merupakan salah satu proses pengukuran terhadap sifat kerapuhan bahan. Sifat keuletan atau *toughness* dari suatu bahan yang tidak dapat terdeteksi oleh pengujian lain, jika dua buah bahan akan memiliki sifat yang mirip sama namun jika diuji dengan *impact test* itu akan berbeda. Pengujian ini dilakukan pada mesin uji yang dirancang dengan memiliki sebuah pendulum dengan berat tertentu yang mengayun dari suatu ketinggian untuk memberikan beban kejut, dalam pengujian

ini terdapat dua macam cara pengujian yakni cara “*Izod*” dan cara “*Charpy*” yang berbeda menurut arah pembebanan terhadap bahan uji serta kedudukan bahan uji (Sudjana, 2008: 453).

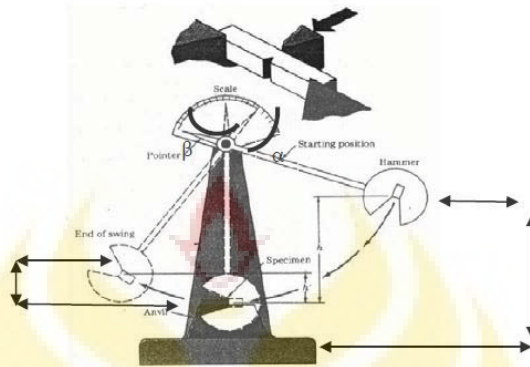
Pengujian *impact charpy* banyak dipergunakan untuk menentukan kualitas bahan. Benda uji takikan berbentuk V yang mempunyai keadaan takikan 2 mm banyak dipakai. Ukuran spesimen standar biasa digunakan pada pengujian metode *Charpy*. Dimensinya mempunyai luas penampang bujur sangkar 10 mm x 10 mm dan panjang spesimen 55 mm. Tepat pada tengah spesimen ditakik V-45°. Takik V mempunyai kedalam 2 mm dan jari-jari dasar 0,25 mm. Benda uji diletakkan mendatar dan bagian yang tak bertakik diberi pembebanan impact dengan ayunan bandul (kecepatan impact sekitar 3 m/s – 6 m/s). Kemudian benda uji ASTM E 23 akan melengkung kearah takik dan patah pada laju regangan tinggi, kira-kira 10^3 detik^{-1} . (*Standard test methods for notched bar impact testing of metallic materials 1, ASTM E 23*)



Gambar 2.9. Benda uji *Impact Charpy* bentuk “V”.

Hasil uji impact juga tidak dapat membaca secara langsung kondisi perpatahan batang uji, sebab tidak dapat mengukur komponen gaya-gaya tegangan tiga dimensi yang terjadi pada batang uji. Hasil yang diperoleh dari pengujian

impak ini, juga tidak ada persetujuan secara umum mengenai interpretasi atau pemanfaatannya (Dieter, George E 1988).



Gambar 2.10. Alat Uji *Impact*.

Fungsi akhir pada ketinggian h_2 yang juga hampir sama dengan tinggi semula h_1 dimana pendulum mengayun bebas. Usaha yang dilakukan pendulum waktu memukul benda uji atau energi yang diserap benda uji sampai patah didapat rumus yaitu :

Energi yang Diserap (*Joule*) = $E_p - E_m$

$$= m \cdot g \cdot h_1 - m \cdot g \cdot h_2$$

$$= m \cdot g (h_1 - h_2)$$

$$= m \cdot g (\lambda (1 - \cos \alpha) - \lambda (\cos \beta - \cos \alpha))$$

$$= m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$$

Energi yang diserap = $m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ (2.7)

Keterangan :

E_p = Energi Potensial

E_m = Energi Mekanik

m = Berat Pendulum (Kg)

g = Gravitasi $9,81 \text{ m/s}^2$

h_1 = Jarak awal antara pendulum dengan benda uji (m)

h_2 = Jarak akhir antara pendulum dengan benda uji (m)

λ = Jarak lengan pengayun (m)

$\cos \alpha$ = Sudut posisi awal pendulum

$\cos \beta$ = Sudut posisi akhir pendulum

dari persamaan rumus diatas didapatkan besarnya harga impact yaitu :

$$K = \frac{\text{Energi yang Diserap (J)}}{\text{Luas Penampang (A)}}$$

dimana , K = Nilai Impact (J/mm^2)

J = Energi Yang Diserap (Joule)

A = Luas penampang dibawah takikan (mm^2)

Takik (*notch*) dalam benda uji standar ditunjukkan sebagai suatu konsentrasi tegangan sehingga perpatahan diharapkan akan terjadi di bagian tersebut. Selain berbentuk V dengan sudut 45° , takik dapat pula dibuat dengan bentuk lubang kunci (*key hole*). Pengukuran lain yang biasa dilakukan dalam pengujian impact Charpy adalah penelaahan permukaan perpatahan untuk menentukan jenis perpatahan yang terjadi. Secara umum sebagaimana analisis perpatahan pada benda hasil uji tarik maka perpatahan impact digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Perpatahan berserat (*fibrous fracture*), yang melibatkan mekanisme pergeseran bidang-bidang kristal di dalam bahan (logam) yang ulet (*ductile*). Ditandai

dengan permukaan patahan berserat yang berbentuk dimpel yang menyerap cahaya dan berpenampilan buram.

2. Perpatahan granular/ kristalin, yang dihasilkan oleh mekanisme pembelahan pada butir-butir dari bahan (logam) yang rapuh (*brittle*). Ditandai dengan permukaan patahan yang datar yang mampu memberikan daya pantul cahaya yang tinggi (mengkilat).
3. Perpatahan campuran (berserat dan *granular*). Merupakan kombinasi dua jenis perpatahan di atas.



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian berjudul “Pengaruh *Thermal Shock Resistance* terhadap Makro Struktur dan Ketahanan *Impact* Kowi Pelebur (*Crusible*) Berbahan Komposit Abu Sekam Padi / *Grafit* / Kaolin” adalah sebagai berikut:

1. Fasa senyawa yang terkandung pada bahan komposit abu sekam padi/*grafit*/kaolin berdasarkan pengujian *X-Ray Diffraction* yaitu abu sekam padi dengan kandungan 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%;
2. Pengaruh variasi suhu *thermal shock resistance* kowi pelebur (*crusible*) berbahan komposit abu sekam padi/ *grafit*/ kaolin terhadap hasil makrostruktur terlihat pada butiran warna hitam yang mendominasi pada saat perlakuan *thermal shock* dengan suhu 600°C mempunyai densitas rendah atau ketahanan *impact* yang kecil, begitu juga sebaliknya;
3. Semakin tinggi variasi suhu *thermal shock resistance* kowi pelebur (*crusible*) berbahan komposit abu sekam padi/ *grafit*/ kaolin, maka semakin rendah ketangguhan dan kekerasan pada bahan kowi pelebur, begitu juga sebaliknya.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian berjudul “Pengaruh *Thermal Shock Resistance* terhadap Makro Struktur dan Ketahanan *Impact* Kowi Pelebur (*Crusible*) Berbahan Komposit Abu Sekam Padi / *Grafit* / Kaolin” adalah sebagai berikut:

1. Memperhatikan kompaksi atau tekanan yang diberikan pada saat proses pembuatan spesimen berbahan komposit abu sekam padi / *grafit* / kaolin;
2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk bisa menggunakan pengujian mikro struktur atau menggunakan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*) agar mendapatkan hasil yang lebih valid;
3. Hendaknya lebih diperhatikan tentang persiapan ujispesimen, seperti pada saat tahap poles sehingga akan memberikan foto makro struktur yang lebih jelas;
4. Pembuatan cetakan spesimen dengan sistem hidrolik sehingga hasil spesimen bisa mempunyai ukuran yang seragam.

DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, B. H., Ostwald, F. dan Begeman M. L. 1997. *Teknologi Mekanik Jilid 1*. Jakarta: Erlangga (Diterjemahkan oleh Djaprie, S.).
- Agung M. G. F. M. R. Hanafie dan P. Mardina. 2013. *Ekstraksi Silika Dari Abu Sekam Padi Dengan Pelarut Koh* Konversi 2 (1): 28-31.
- Armesto, L, dkk. 2002. Combustion Behaviour of Rice Husk in A Bubbling Uidised Bed. *Biomass and Bioenergy*, 23: 171-179.
- Barsoum, M., M.W. Barsoum. 2002. *Fundamentals of Ceramics*. CRC Press.
- Houston, D.F., 1972. *Rice Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemist, Inc. Minnesota.
- Hardiyanti, H., Pribadi, S. dan Setiawan, J. 2016. *Karakterisasi Densitas Grafit Sebagai Kandidat Bahan Reaktor Temperatur Tinggi*. ISSN 1979-2409.
- Isman MT, dkk. 2000. *Kismolo Penentuan Komposisi Bahan Mineral Penyusun Keramik untuk Immobilisasi Limbah Radioaktif*. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir P3TM-BATAN Yogyakarta. 35-38.
- Karso T., Wijang W. Raharjo, H. Sukanto. 2012. *Pengaruh Variasi Suhu Siklus Termal Terhadap Karakteristik Mekanik Komposit HDPE–Sampah Organik*. Jurnal Mekanika 11 (1): 8-13.
- Kirk, R.E., and Othmer, 1967. *Encyclopedia of Chemical Engineering Technology*, Third Edition, Vol 18, John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Lokantara, P. dan N. P. G. Suardana. 2007. *Analisis Arah dan perlakuan serat tapis serta rasio epoxy hardener terhadap sifat fisis dan mekanis komposit tapis/epoxy*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram 1 (1): 15-21.
- LU T. J. and N. A. Fleckthe. 1998. Thermal Shock Resistance of Solids. *Acta mater*. 46(13) : 4755-4768.
- Mittal.Davinder, 1997. *Silica from Ash: A Valuable Product from Waste Material*. Resonance.Vol. 2 (7), hal.64-66.
- Ningsih T, R. Chairunnisa dan S. Miskah. 2012. *Pemanfaatan Bahan Additive Abu Sekam Padi pada Cement Portland PT. Semen Baturaja (Persero)*. Jurnal Teknik Kimia 18 (4): 59-66.
- Ngatijo, F. Faried, dan I. Lestari. 2011. *Pemanfaatan Abu Sekam Padi (ASP) Payo dari Kerinci sebagai Sumber Silika dan Aplikasinya dalam Ekstraksi Fasa Padat Ion Tembaga (II)*.13(2): 47-52.

- Patabang, D. 2012. *Karakteristik Termal Briket Arang Sekam Padi dengan Variasi Bahan Perekat*. Jurnal Mekanikal. 3: 286-291.
- Polman. 2012. *Panduan Praktikum Peleburan 1*. Klaten: Politeknik Manufaktur Ceper.
- Prastiwi, A. D. *Pengaruh Penggunaan Lumpur Lapindo Terhadap Struktur Mikro Genteng Keramik*. Jurnal Skripsi.1-15.
- Pratiwi, D. K. dan N. Paramitha. 2013. *Kajian Eksperimental Pengaruh Variasi Ukuran Cetakan Logam Terhadap Perubahan Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Produk Cor Aluminium*. Jurnal Rekayasa Mesin 13(1): 9-14.
- Rizkyta, A. G. dan H. Ardhyanta. 2013. *Pengaruh Penambahan Karbon terhadap Sifat Mekanik dan Konduktivitas Listrik Komposit Karbon /Epoksi sebagai Pelat Bipolar Polimer Elektrolit Membran Sel Bahan Bakar (Polymer Exchange Membran (PEMFC))*. Jurnal Teknik Pomits 2 (1): 2337-3539.
- Rusiyanto. 2005. *Thermal Shock Resistance pada Keramik Kaolin*. Tesis. Program Pasca Sarjana Universitas Gajah Mada.
- R.Sengupta, M. Bhattacharya, S. Bandyopadhyay, and A. K. Bhowmick. 2011. *A review on the mechanical and electrical properties of graphite and modified graphite reinforced polymer composites*. Prog.Polym.Sci. vol. 36, no.5, 638–670.
- Sembiring, S. dan P. Karo-Karo. 2007. *Pengaruh Suhu Sintering Terhadap Karakteristik Termal Dan Mikro Struktur Silika Sekam Padi*. Jurnal J. Sains MIPA 13(3): 233 – 239.
- Siahaan, S., Hutapea, M. danHasibuan, R. 2013. *Penentuan Kondisi Optimum Suhu dan Waktu Karbonisasi pada Pembuatan Arang dari Sekam Padi*. Jurnal Teknik Kimia USU. 2:26-30.
- Sofyan, S. E., Riniarti, M. dan Duryat. 2014. *Pemanfaatan Limbah Teh, Sekam Padi, dan Arang Sekam Padi sebagai Media Tumbuh Bibit Trembesi (Samaea Saman)*. Jurnal Sylva Lestari. 2:61-70.
- Surdia, T., Saito. 1986. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramitha.
- Van Vlack, L. H. 1992. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Jakarta: Erlangga (Diterjemahkan oleh Djaprie, S.).

- Wigayati E.M. 2009. *Pembuatan dan Karakterisasi Lembaran Grafit untuk Bahan Anoda pada Baterai Padat Lithium*. Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia. 9(1): 39-45.
- Wisnu G. Wardana dan H. Ardhyanta. 2014. *Pengaruh Penambahan Grafitter hadap Sifat Tarik, Stabilitas Termal dan Konduktivitas Listrik Komposit Vinil Ester / Grafit sebagai Pelat Bipolar Membran Penukar Proton Sel Bahan Bakar (PEMFC)*. Jurnal Teknik Pomits 3(1) 2337-3539.
- Yusuf, M. A. dan Tjahjani, S. 2013. *Adsorpsi Ion Cr (VI) oleh Arang Aktif Sekam Padi*. UNESA Journal of Chemistry. 2: 84-88.
- Zainuri, A. 2011. *Kekakuan Bending Eksperimen Komposit Sandwich Serat Sabut Kelapa-Matrik Polyester Dengan Core Kertas Kardus*. Jurnal Momentum, 7(1): 30-35.

