PENGARUH PENAMBAHAN ALUMINA TERHADAP KEKUATAN, KONDUKTIVITAS TERMAL, DAN *THERMAL SHOCK RESISTANCE* KERAMIK *THERMAL JACKET*

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

FADIL OCTAROZA

NIM. 155060201111079

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2019

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, atas segala limpahan rahmat-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul "Pengaruh Penambahan Alumina Terhadap Kekuatan, Konduktivitas Termal, dan *Thermal Shock* Keramik *Thermal Jacket*". Dalam pembuatan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada:

1. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi,MT., PhD. Selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya, Malang
2. Bapak Teguh Widodo, ST., M.Eng. Ph. D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya, Malang
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Wahyono Suprapto, MT. Mete. Selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan menyusun skripsi ini.
4. Bapak Bayu Satria Wardana, ST ., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan menysun skripsi ini
5. Bapak Redi Bintarto, ST. M.Eng. Pract. Selaku Dosen Wali
6. Seluruh Dosen Pengajar Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan yang sangat mendukung selama penyusunan skripsi
7. Seluruh Staf Pengajar dan Staf Administrasi yang saya hormati
8. Ayah, Bunda, Bang Edwin, Bang Ossa, Kak Mutia yang telah memberikan dukungan dalam segala sisi untuk penyusunan skripsi ini
9. Seluruh sahabat KBMM dan KBMT Universitas Brawijaya khususnya M'15
10. Ojan, Reza, Asky, Yono, Wildan, Muty, Rere, Muty, Tera, Eluch, Ezer dan seluruh teman-teman seperjuangan di BEM TEKNIK.
11. Teman-teman kontrakan Taman Bunga Merak dan Saxophone
12. Teman-teman Explosion cabang Malang yang hampir selalu ada untuk saya
13. John "Clayton" Mayer, The Beatles, Snarky Puppy, Vulfpeck, Barasuara, dan seluruh idola saya dalam bermusik yang selalu mengisi kepala saya dan menemani pengerjaan skripsi saya dengan musik-musik indahnya.
14. Serta semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu

Tiada gading yang tak retak, begitu juga halnya dengan skripsi ini yang masih banyak ditemukan kekurangan. Oleh sebab itu, penulis menerima masukan, saran, ataupun kritik yang sifatnya membangun dari semua pihak untuk penyempurnaan skripsi ini.Penulis berhrap skripsi ini dapat bermanfaat bagi masyarakat khususnya para akademisi

Malang, November 2019

Penulis

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 27 Desember 2019

Mahasiswa

Fadil Octaroza

NIM. 155060201111079

repository.ub.ac.id

SUMMARY

Fadil Octaroza, Departement of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, October 2019, *The Effect of Addition on Aluminium Oxide on Thermal Jacket Ceramic Strength, Thermal Conductivity, and, Thermal Shock Resistance* , Advisor Lecturer : *Wahyono Suprapto and Bayu Satria Wardhana*.

Ceramic material is material that cannot be eliminated from time to time. Ceramic material seems to have been sticking to everyday life of humans since ancient times. However, ceramics continue to be attractive materials for developing mechanical functions or relating to their ability to be used in engineering products. Ceramics have physical properties that allow them to be used in the industrial world, such as: corrosion resistance, good heat capacity, low heat conductivity, strong but brittle, etc. This study aims to determine the effect of the addition of alumina elements to the mechanical and thermomechanical properties of thermal jacket ceramics. The characteristics of a good thermal jacket ceramic are ceramics that have high strength properties, are resistant to thermal shock treatment, and have low thermal conductivity values.

In this study the authors used an experimental method because the researchers directly observed to search for and obtain causal data in the process through experiments so that it can be seen the effect of adding alumina ceramics in thermal jacket ceramic alloys to the properties to be reviewed. In bending test with and without thermal shock treatment using variations in the addition of elements Al_2O_3 as much as 0% and 10%. For thermal conductivity test with variations in the addition of Al_2O_3 elements as much as 0%, 5%, 10%, and 15%. Furthermore, there are dependent variables, which are value of bending strength, the value of thermal shock resistance, and the value of thermal conductivity. The control variables in this study were the combustion temperature of 1100-1300 ^oC with 8 hours of combustion time, printing pressure of 100 kg / cm^2, and Al_2O_3 grain size of 0.045-0.125mm.

The results of data analysis of this study formulated the conclusion that in bending test of ceramic specimens with 10% Al_2O_3 alloys showed a value of 5.42 MPa which was higher than that of 0% Al_2O_3 ceramics valued at 3.819MPa. However, after the thermal shock treatment of 10% Al_2O_3 specimens experienced a higher decrease compared to Al_2O_3 0% by 50.43% for ceramics without alloys and ceramics with 10% Al_2O_3 alloys as much as 71.29%. And in the thermal conductivity test along with the increasing concentration of Al_2O_3 alloys, the value of thermal conductivity has a tendency to continue to increase.

Keywords : *Ceramics, Al_2O_3, Thermal Shock Resistance, Thermal Conductivity, Thermal Jacket*.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

repository.ub.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENAMBAHAN ALUMINA TERHADAP KEKUATAN, KONDUKTIVITAS TERMAL, DAN *THERMAL SHOCK RESISTANCE* KERAMIK *THERMAL JACKET*

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

FADIL OCTAROZA
NIM. 155060201111079

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada
tanggal 20 Desember 2019

Dosen Pembimbing I	a.n Dosen Pembimbing II
Prof. Dr. Ir. Wahyono Suprapto, MT.Met.	**Bayu Satriya Wardhana, ST., M.Eng.**
NIP. 19551117 198601 1 001	**NIP. 19841007 201212 1 001**

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

RINGKASAN

Fadil Octaroza, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, November 2019, Pengaruh Penambahan Alumina Terhadap Kekuatan, Konduktivitas Termal, dan *Thermal Shock Resistance* Keramik *Thermal Jacket*, Dosen Pembimbing : Wahyono Suprapto dan Bayu Satria Wardhana.

Material keramik adalah material yang tidak bisa dihilangkan penggunaannya dari masa ke masa. Material keramik seolah-oleh sudah lekat dalam kehidupan sehari-hari manusia sejak jaman dahulu. Namun keramik terus menjadi bahan yang menarik untuk dikembangkan fungsi mekaniknya atau yang berkaitan dengan kemampuannya untuk digunakan dalam produk teknik. Keramik mempunyai sifat fisik yang memungkinkan untuk digunakan dalam dunia industri, seperti: tahan korosi, kapasitas panas yang baik, konduktivitas panas yang rendah, sifat yang keras dan kuat namun rapuh atau *brittle*, dll. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari penambahan unsur alumina terhadap sifat mekanik dan termomekanik keramik *thermal jacket*. Sifat keramik *thermal jacket* yang baik adalah keramik yang mempunyai sifat kekuatan yang tinggi, tahan terhadap perlakuan *thermal shock*, dan memiliki nilai konduktivitas termal yang rendah.

Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode eksperimental karena peneliti langsung mengamati untuk mencari dan mendapatkan data sebab-akibat dalam proses melalui eksperimen sehingga dapat diketahui perngaruh penambahan keramik alumina dalam paduan keramik *thermal jacket* terhadap sifat yang ingin ditinjau. Dalam pengujian *bending* dengan dan tanpa perlakuan *thermal shock* menggunakan variasi penambahan unsur Al_2O_3 sebanyak 0% dan 10%. Untuk pengujian konduktivitas termal dengan variasi penambahan unsur Al_2O_3 sebanyak 0%, 5%, 10%, dan 15%. Selanjutnya terdapat variabel-variabel terikat yaitu nilai kekuatan *bending*, nilai *thermal shock resistance*, dan nilai konduktivitas termal. Dengan variabel kontrol dalam penelitian ini adalah suhu pembakaran 1100-1300 ^oC dengan waktu pembakaran 8 jam, tekanan pencetakan 100 kg/cm^2, dan ukuran butir Al_2O_3 sebesar 0,045-0,125mm.

Hasil analisa data penelitian ini merumuskan kesimpulan bahwa dalam pengujian *bending* spesimen keramik dengan paduan Al_2O_3 10% menunjukkan nilai 5,42 MPa yang lebih tinggi dibandingkan kepada keramik Al_2O_3 0% senilai 3,819MPa. Namun setelah dilakukan perlakuan *thermal shock* spesimen Al_2O_3 10% mengalami penurunan yang lebih tinggi dibandingkan Al_2O_3 0% sebanyak 50,43% untuk keramik tanpa paduan dan keramik dengan paduan Al_2O_3 10% sebanyak 71,29%. Dan pada uji konduktivitas termal seiring dengan meningkatnya konsentrasi paduan Al_2O_3, nilai konduktivitas termalnya memiliki kecenderungan yang terus meningkat.

Kata Kunci : *Keramik, Al_2O_3, Thermal Shock Resistance, Konduktivitas Termal, Thermal Jacket*.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i
DAFTAR ISI ii
DAFTAR TABEL iv
DAFTAR GAMBAR vi
DAFTAR LAMPIRAN vii
RINGKASAN viii
SUMMARY ix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 2
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 BatasanMasalah 2
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Penelitian Terkait 5
2.2 Keramik 5
2.2.1 Jenis-Jenis Keramik 5
2.2.2 Komposisi Keramik 6
2.2.3 Sifat-Sifat Keramik 8
2.2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sifat Keramik 8
2.3 Proses Pembuatan Keramik 9
2.4 Alumina 12
2.5 *Thermal Jacket* 15
2.6 Pengujan Kekuatan 15
2.7 Pengujian Konduktivitas Termal 18
2.8 Pengujian *Thermal Shock* 19
2.9 SEM (*Scanning Electron Microscope*) 21
2.10 Hipotesis 22
BAB III METODE PENELITIAN 23
3.1 Metode Penelitian 23
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian 23
3.3 Variabel Penelitian 23
3.4 Alat dan Bahan 24

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
Universitas Brawijaya

3.4.1 Alat yang Digunakan 24
3.4.2 Bahan yang Digunakan 27
3.5 Prosedur Penelitian 28
3.5.1 Proses Pembuatan Spesimen 28
3.5.2 Pengujian Kekuatan *Bending* 28
3.5.3 Prosedur Pengujian *Thermal Conductivity* 29
3.5.4 Pengujian *Thermal Shock* 30
3.6 Rancangan Tabel dan Grafik Penelitian 30
3.6.1 Rancangan Tabel Penelitian 30
3.6.2 Rancangan Grafik Penelitian 32
3.7 Diagram Alir Penelitian 33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 35
4.1 Data Hasil Penelitian 35
4.2 Data Hasil Uji Bending 35
4.3 Data Hasil Uji Bending dengan Perlakuan Thermal Shock 37
4.4 Data Hasil Uji Konduktivitas Termal 37
4.5 Hasil Perhitungan 39
4.5.1 Data Hasil Perhitungan 39
4.5.2 Contoh Perhitungan 39
4.6 Grafik dan Pembahasan 40
4.6.1 Pengaruh Penambahan Al_2O_3 terhadap Kekuatan Bending 40
4.6.2 Pengaruh Penambahan Al_2O_3 terhadap Kekuatan Bending dengan Perlakuan *Thermal Shock* 42
4.6.3 Pengaruh Penambahan Al_2O_3 terhadap Nilai Konduktivitas Termal 43
BAB V PENUTUP 45
5.1 Kesimpulan 45
5.2 Saran 45
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Material keramik adalah material yang tidak bisa dihilangkan penggunaannya dari masa ke masa. Material keramik sudah lekat dalam kehidupan sehari-hari manusia sejak jaman dahulu. Barang-barang dibuat dari keramik yang biasanya kita ketahui adalah pot bunga, bata, dll. Namun keramik terus menjadi bahan yang mnarik untuk dikembangkan fungsi mekaniknya atau yang berkaitan dengan kemampuannya untuk digunakan dalam produk teknik. Para peneliti material mulai giat untuk membahas dan meneliti terhadap bahan-bahan yang terbuat dari non-metal, salah satu contohnya adalah keramik.

Keramik mempunyai sifat fisik yang memungkinkan untuk digunakan dalam dunia industri, seperti: Tahan korosi, kapasitas panas yang baik, konduktivitas panas yang rendah, sifat yang keras dan kuat namun rapuh atau *brittle*, dll. Ketahanan panas yang sangat baik dan ketngguhan material ini memungkinkan untuk digunakan rem pada pesawat.

Sifat termal yang penting dalam bahan keramik adalah kapasitas panas, koefisien ekspansi termal, dan konduktivitas termal. Namun kekurangan dari keramik tersendiri adalah kerapuhannya, bahan keramik memiliki kecenderungan patah secara tiba-tiba dengan deformasi plastis yang sedikit.

Dalam industri otomotif modern misalnya, keramik telah digunakan dalam proses pembakaran salah satunya. Ini dikarenakan keramik memiliki sifat yang kuat dan dapat menahan keausan pada temperatur yang tinggi. Pengaplikasian dalam dunia otomotif misalnya, untuk komponen-komponen mesin, contohnya untuk klep, kepala piston. Disamping itu keramik mempunyai sifat seperti kerapatan yang rendah, dengan itu berat mesin dapat dikurangi sehingga performa mesin dapat ditingkatkan.

Memiliki ketersediaan bahan baku dan sumber gas yang melimpah tampak terus menjadi keunggulan dan potensi yang cukup besar bagi Industri Keramik Indonesia. Namun itu juga didukung dengan deposit tambang sebagai bahan keramik yang cukup besar dan tersebar di berbagai daerah seperi *ball clay*, *feldspar*, alumina, dan zircon. Selama berpuluh-puluh tahun tahun terakhir, perkembangan industri keramik nasional menjadi salah satu industri unggulan dalam negeri dan prospek industri keramik nasional

memiliki peluang cukup besar untuk jangka waktu yang cukup panjang, ungkap Kemenperin Indonesia.

PT Industri Kereta Api dan PT Kereta Api Indonesia pun telah bekerja sama dengan koperasi lokal. Koperasi Batur Jaya sejak tahun 1990-an yang menaungi kurang lebih sebanyak 165 Industri Kecil Menengah (IKM) Logam di Ceper untuk memasok kebutuhan produk komponen kereta api. Dalam kebutuhan untuk pembuatan komponen kereta api dalam bahan logam dibutuhkan keramik pada tungku peleburan yang efisien, yaitu yang bisa menginsulasi panas dengan baik sehingga dapat dihasilkan logam yang sesuai. Selain itu pula, kurang lebih sekitar 6 IKM lainnya dapat menembus pasar untuk memasok langsung kebutuhan komponen PT INKA secara mandiri. PT INKA pun mengatakan bahwa omset yang berputar pada tahun 2015 tersendiri sudah mencapai Rp. 22,5 miliar dan berharap kerjasama yang semakin sinergis pada kedua BUMN tersebut, yang mana dapat mengharumkan nama bangsa serta menghargai produk-produk milik bangsa.

Pengaplikasian keramik thermal jacket pada tungku peleburan adalah salah satu cara untuk menginsulasi panas. Pemilihan material keramik untuk insulasi adalah karena sifat tahan panasnya yang tinggi. Sifat-sifat lain dari keramik adalah tahan korosi, tahan terhadap reaksi kimia tertentu, getas, rapuh, dan memiliki sifat-sifat listrik dan mekanik yang istimewa. Keramik pada dasarnya terbuat dari *clay*, kaolin, dan silikat.

Maka dari itu peneliti ingin mengetahui bagaimana pengaruh penambahan unsur Alumina pada campuran keramik *thermal jacket* berbahan koulin, silikat, dan *feldspar* pada tungku peleburan terhadap sifat mekanik dan termomekaniknya. Keramik diproses dan saat proses selesai kemudian spesimen akan diuji sifat mekanik dan termomekaniknya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan sebelumnya, maka rumusan masalahnya adalah bagaimana pengaruh penambahan unsur serbuk Alumina (Al_2O_3) terhadap nilai konduktivitas termal, kekuatan bending dan ketahanan *thermal shock* keramik.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Campuran unsur secara merata pada spesimen
2. Suhu pembakaran dianggap terdistribusi secara merata pada semua spesimen

3. Pengujian yang dilakukan adalah pada sifat termomekanik (berupa konduktivitas *thermal* dan *thermal shock resistance*), sifat mekanik (berupa kekuatan kekuatan tekan)
4. Tekanan pada saat proses pencetakan cetakan dijaga konstan

1.4 Tujuan Masalah

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah dapat menganalisa sifat termomekanik dan mekanik yang dihasilkan dari penambahan unsur serbuk Alumina (Al_2O_3), untuk meningkatkan kualitas dengan memadukan unsur berupa serbuk Alumina (Al_2O_3), mencari produk keramik yang mempunyai nilai konduktivitas *thermal*, koefisien muai yang tinggi dan *thermal shock* yang baik.

1.5 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini diharapkan bisa memberikan manfaat berupa mendapatkan hasil sifat termomekanik dan fisik yang dihasilkan dari penambahan unsur serbuk Alumina (Al_2O_3), bisa meningkatkan kualitas dengan memadukan unsur serbuk Alumina (Al_2O_3)Mendapatkan produk keramik yang diharapkan mempunyai nilai konduktivitas *thermal*, koefisien muai yang tinggi dan *thermal shock* yang baik.

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
Universitas Brawijaya

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Nesya Tamalia (2017), meneliti pengaruh penambahan alumina sebesar 0% dan 10% terhadap konduktivitas termal pada bahan keramik kordierit dan menunjukkan bahwa kandungan alumina 10% memiliki nilai konduktivitas termal yang paling tinggi, hal ini disebabkan mikrostruktur yang terdapat pada sampel tidak homogenya dalam bentuk dan ukuran, serta adanya rongga udara.

Moh Ilfan J (2015), melakukan penelitian tentang prediksi sifat mekanik keramik Al_2O_3 berdasar penambahan presentase dan suhu sintering menggunakan jaringan saraf tiruan, dengan menggunakan variasi 0%, 10%,15%,20%, dan 25% dalam grafik penelitiannya menunjukkan seiring dengan bertambahnya nilai konsentrasi maka didapatkan kecendrungan kekuatan yang meningkat yaitu pada konsentrasi 25% dengan suhu *sintering* 1630°C sebesar 315,7 MPa.

2.2 Keramik

Dalam penelitian ini bahan keramik yang digunakan adalah fireclay, samot, dan alumina. Keramik mempunyai sifat rapuh, keras, dan kaku. Keramik adalah semua bahan bukan logam dan anorganik dari alam yang kemudian dibentuk dan dibakar sehingga menjadi bentuk padat yang memiliki sifat permanen. Keramik secara umum memiliki nilai kekuatan tekan yang tinggi, dan dalam penelitian ini ditambahkan unsur alumina yang bisa meningkatkan nilai kekuatan tersebut. Keramik sendiri mempunyai sifat kerapuhan, atau *brittleness*. Alasan mengapa sebagian besar keramik rapuh adalah ikatan ion-kovalen campuran yang menyatukan atom-atom penyusunnya. (Barry, 2007)

2.2.1 Jenis-Jenis Keramik

1. Keramik tradisional yaitu keramik yang dibuat dengan menggunakan bahan alam, seperti kuarsa, kaolin, fieldspar, dan lain-lain. Pembuatan keramik tradisional menggunakan alat-alat sederhana dan pembentukan keramik biasa dilakukan dengan tangan langsung. Keramik tradisional tahan sampai dengan suhu 1200°C (Zainal, 2010)

2. Keramik modern atau biasa disebut keramik teknik, *advanced ceramic*, *engineering ceramic*, *technical ceramic*) adalah keramik yang dibuat dengan menggunakan oksida-oksida logam atau logam.Alumina adalah pelopor yang disintesis dari rekayasa keramik modern. Ilmu sains, teknik, dan teknologi dipelajari untuk alumina selama paruh pertama abad kedua puluh yang di pergunakan untuk berbagai aplikasi untuk komposisi keramik lainnya. (Joelianingsih, 2004)

2.2.2 Komposisi Keramik

Berdasarkan sifatnya komposisi keramik dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Keramik Plastis

a. Kaolin ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$)

Kaolin seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 dikenal dengan nama batu lempung. Formula kimia untuk kaolinit yang digunakan dalam mineralogi adalah $Al_2Si_2O_5(OH)_4$.Kaolin memiliki karakteristik seperti berikut:

- Berbutir kasar
- Berwarna putih karena kandungan besi rendah
- Penyusutan dan kekuatan kering relatif rendah
- Ketahanan panasnya tinggi dengan memiliki titik leleh hingga 1800℃
- Plastis
- Mempunyai daya hantar termal dan listrik yang rendah.

b. *Ball Clay*

Ball Clay merupakan jenis tanah liat dengan komponen utama berupa mineral kaolinit. Umumnya ini digunakan dalam banyak pembuatan keramik, dimana peran utamanya adalah baik untuk memberikan plastisitas, tanah liat tahan, dan lain-lain. Ball clay memiliki karakteristik:

- Sangat plastis
- Susut kering dan susut bakar yang tinggi

c. *Fire Clay*

Fireclay seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1 biasanya ditemukan pada daerah batubara. *Fireclay* mempunya karakteristik:

- sangat tahan panas
- berstuktur kasar

d. Bentonite ($Al_2H_2Na_2O_{13}Si_4$)

Bentonit adalah salah satu jenis mineral yang bisa bermanfaat sebagai bahan baku pembuatan semen, keramik. Dengan memiliki karakteristik partikel-partikel yang halus, komposisinya mengandung banyak silika, dan memiliki plastisitas yang tinggi. Bentonit sangat baik untuk menambah keplastisan tanah liat.

2. Keramik Non-Plastis

a. Silika (SiO_2)

Silika seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 mengisi ruang kosong yang ditingalkan akibat penguapan dari proses pembakaran hinga produk akan lebih rapat. Unsur ini pula mempunyai sifat untuk menambah kekuatan lentur dan kekuatan produk keramik. (Hanafi dan Nandang, 2010)

b. Feldspar

Sebagian besar produk yang digunakan sehari-hari terbuat dari feldspar: gelas untuk minum, fiberglas untuk isolator, dan lantai keramik. Ketika keramik dibakar, feldspar akan meleleh dan membentuk leburan gelas yang akan melekatkan partikel tanah dan bahan lainnya.

c. Samot

Samot atau grog seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1 adalah bahan yang dipakai dalam campuran claybody keramik. Samot sendiri adalah tanah liat yang telah dibakar sebelumnya lalu dihancurkan dan dihaluskan. Samot dalam dibuat dalam berbagai warna yang didapat tergantung dari hasil suhu pembaran dan ukuran tergantung pada mesh saringannya.

d. Alumina

Alumina atau aluminium oksida jarang ditemukan dalam bentuk yang murni. Dalam bahan keramik ini terdapat bahan-bahan seperti kaolin, *ballclay*, dan feldspar. Alumina berperan untuk mengontrol dan mengimbangi peleburan dan juga meningkatnkan kekuatan. Alumina memiliki titik lebur 2000°C. Namun bila 5% alumina dipadukan dengan silika murni titik leburnya menjadi 1545°C. Selain sebagai bahan tahan panas.

a b c d

Gambar 2.1 Bahan Baku Keramik a) Kaolin b) *Fireclay* c) Samot d) Silika

2.2.3 Sifat-Sifat Keramik

1. Sifat Mekanik

Keramik mempunyai sifat material yang kuat dan keras. Namun keramik memiliki kekurangan pada kerapuhannya yaitu kecenderungan untuk patah secara mendadak akibat deformasi plastis yang sedikit. Ini dikarenakan ikatan ion, dan partikel-partikelnya yang tidak mudah bergeser, unsur alumina dapat meningkatkan sifat kekerasan pada keramik itu sendiri (Subiyanto & Subowo, 2003).

2 Sifat Termal dan Termomekanik

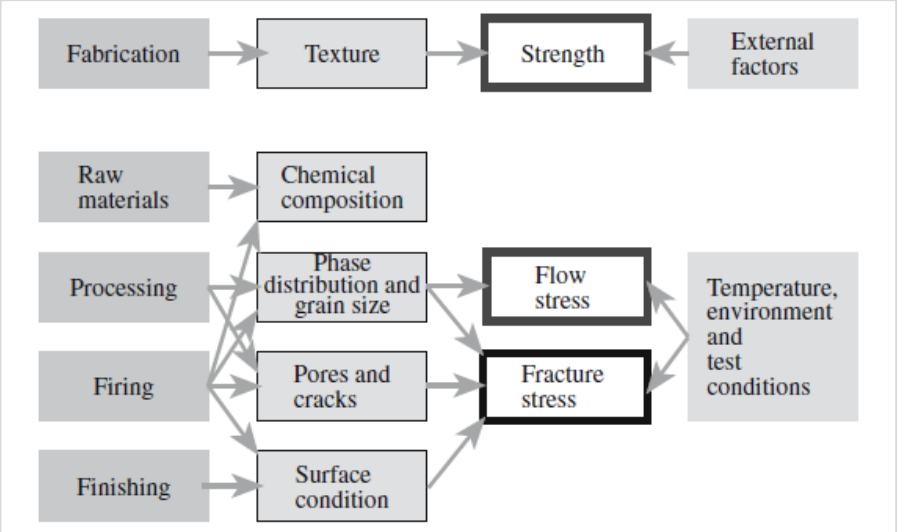
Koefisien termal berbanding terbalik dengan densitas suatu keramik. Semakin kecil nilai koefisien termal ekspansinya makan benda keramik akan semakin kuat terhadap kejut suhu. Dan keramik pula mempunyai nilai konduktivitas termal yang rendah. Salah satu poin dalam sifat Termomekanik yang diuji dalam penelitian ini adalah konduktivitas termal dan *thermal shock*, alumina memiliki nilai konduktivitas termal yang cenderung lebih tinggi dibanding dengan material yang lain, walaupun dalam jurnal Nesya (2017) terjadi penuruan seiring dengan bertambahnya kadar alumina dalam keramik namun nilai tersebut masih tergolong tinggi. Dalam penelitian ini juga ingin meneliti apakah dengan naik atau turunnya nilai konduktivitas termal sebanding dengan naiknya nilai kekuatan pada keramik. Dan pengujian yang berfungsi unuk menuji sifat termalnya adalah *thermal shock*, *thermal shock* adalah kontraksi akibat adanya perubahan suhu secara tiba-tiba yang membuat keramik pecah.

2.2.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sifat Keramik

Secara umum sifat keramik dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu jenis ikatan atom, struktur kristal, komposisi kimia, ukuran butir bahan keramik, pori-pori, dan fase distribusi pada keramik. Seperti pada Gambar 2.2 faktor faktor tersebut mempengaruhi sifat kekuatan keramik.

Inpurity atau ketidakmurnian dalam suatu komposisi material dapat berpengaruh pada sifat keramik yang mana dapat menyebabkan pemusatan tegangan. Pemusatan tegangan dapat menurunkan kekuatan pada material keseluruhan. Namun penambahan komposisi tertentu juga bisa disengaja diaplikasikan untuk memunculkan sifat-sifat yang diinginkan, besarnya efek *impurity* bergantung pada besarnya jumlah ketidakmurnian, intersisi, subtitusi, vakansi, ukuran inklusi atau porositas yang dihasilkan (Richerson, 2002)

Ukuran butir bahan keramik dapat mempengaruhi sifat keramik. Semakin kecil ukuran serbuk maka memperkecil terjadinya porositas pada keramik. Hal ini dapat mempengaruhi kekuatan pada keramik. Semakin kecil ukuran serbuk maka semakin kecil porositas karena semakin banyak bidang kontak yang terjadi, hal ini menyebabkan peningkatan nilai kekuatan keramik (Richerson, 2002). Kemurnian suatu material juga dapat mempengaruhi sifat dari suatu komposisi, namun penambahan komposisi pada keramik juga bisa digunakan untuk mencari suatu sifat-sifat tertentu.



Gambar 2.2 Faktor yang mempengaruhi Sifat dari Keramik
Sumber: Barry (2007)

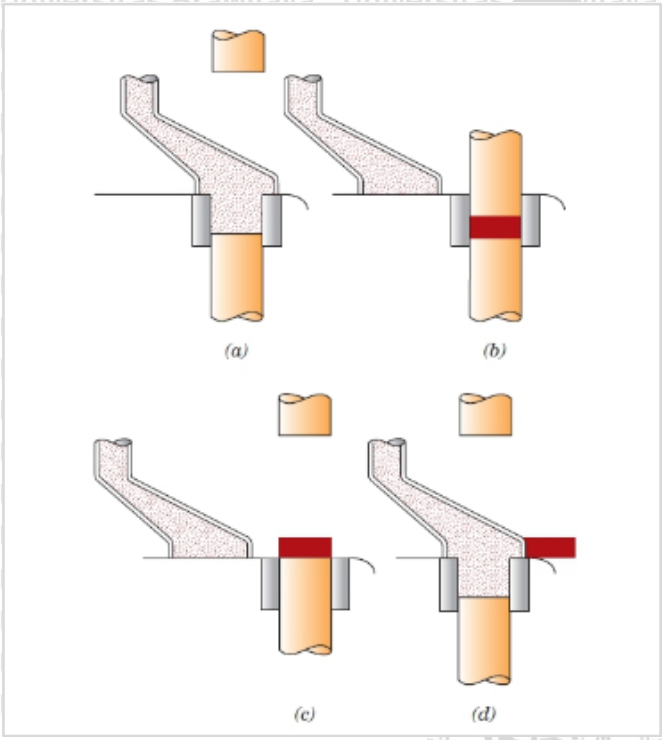
2.3 Proses Pembuatan Keramik

1 Pembuatan Adonan

Bahan harus dicampur dengan air dengan komposisi 1:4 dari bahan dasar dan mungkin bahan-bahan lain untuk memberikan karakeristik tertentu yang sesuai dengan teknik pembentukan tertentu. Adonan harus memiliki kekuatan mekanis yang cukup agar tetap utuh selama pembentukan, pengeringan, dan pembakaran (Callister,2007).

2 Pembentukan

Terdapat beberapa proses pembentukan yaitu *slip casting*, *powder pressing*, *tape casting* dll. Namun, pada penelitian ini proses pembentukan menggunakan *powder pressing*. Proses *powder pressing* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 sendiri adalah a) ruang cetakan diisi oleh serbuk keramik b). Serbuk kemudian dikompaksi dengan tekanan tertentu c). Setelah penekanan spesimen diangkat dengan cara cetakan bagian bawah didorong keatas (d). Spesimen yang sudah terbentuk dikeluarkan dari cetakan (Callister, 2007).



Gambar 2.3 Proses *powder pressing*
Sumber: Callister (2007)

3 Pengeringan

Setelah tahap pembentukan keramik, tahap selanjutnya adalah pengeringan, tujuan utama pada tahap ini adalah untuk menghilangkan kadar air plastis yang terikat pada badan keramik. Ketika keramik plastis dikeringkan akan terjadi 3 proses penting: (1) Air pada lapisan antarpartikel lempung mendifusi ke permukaan, menguap, sampai akhirnya partikel-partikel saling bersentuhan dan penyusutan berhenti; (2) Air dalam pori hilang tanpa terjadi susut; dan (3) Air yang terserap pada permukaan partikel hilang. Pada proses ini menjelaskan secara tidak langsung mengapa harus dilakukan proses pengerinan secara lambat, yaitu untuk menghindari retak terlebih pada tahap 1. Proses yang terlalu cepat akan mengakibatkan keretakan karena hilangnya air secara

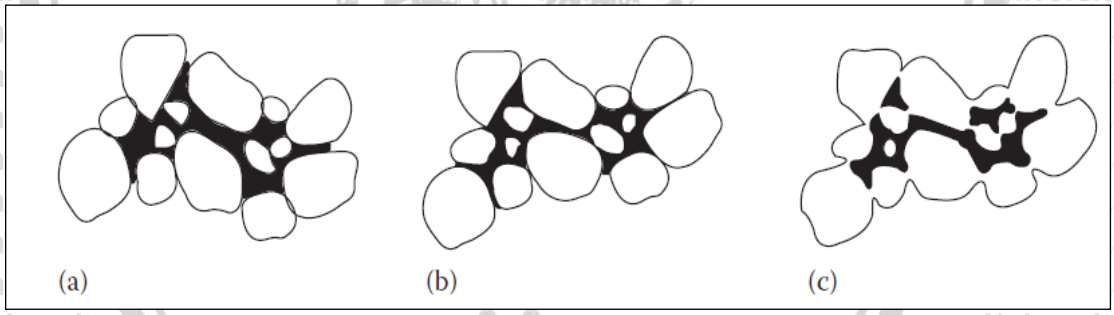
tiba-tiba tanpa diimbangi penataan partikel tanah liat secara semputna, yang mengakibatkan penyusutan secara mendadak. Keramik dianggap kering setidaknya tersisa 1% kandungan air seblum masuk ke dalam tahap pembakaran. Presentase air yang hilang dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Penurunan kadar air (\%)} = \frac{\text{Berat Awal - Berat Akhir}}{\text{Berat Awal}} \text{ x } 100\% \quad \text{(2-1)}$$

Sumber: Richerson (2002)

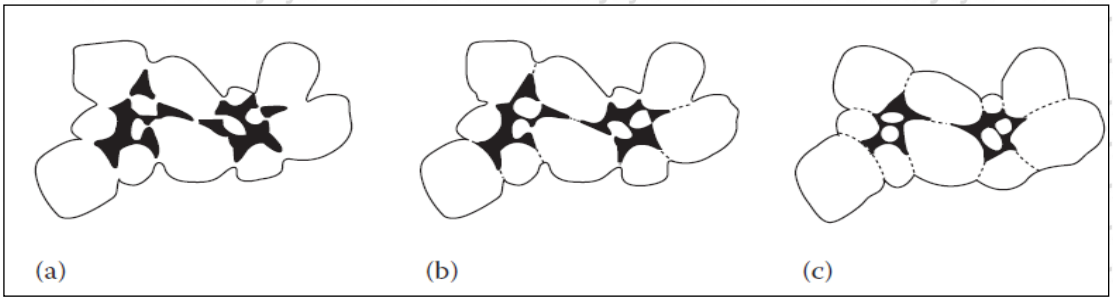
4 Densifikasi

Perubahan selama proses pembakaran (*sintering*) pada keramik dari ikatan yang renggang, dari partikel padat yang berpori hingga ikatan yang kuat mengikat, struktur tidak berpori. (Barry, 2002) Yang mana terdiri dari proses sintering, dan lain-lain. Tujuan dari proses pemanasan ini adalah untuk memaksimalkan kekerasan keramik dengan mendapatkan struktur internal yang tersusun rapih dan sangat padat dengan cara pembakaran pada tungku dengan suhu 1000 sampai 1700°C. (Richerson, 1992). Pada tahap awal *sintering* pada Gambar 2.4 menunjukkan bahwa pada tahap awal *sintering* terjadi penataan partikel dan pembentukan leher awal pada sudut kontak antar partikel. Penataan ulang terjadi akibat sedikit gerakan pada partikel yang berdekatan untuk meningkatkan jumlah sudut kontak.



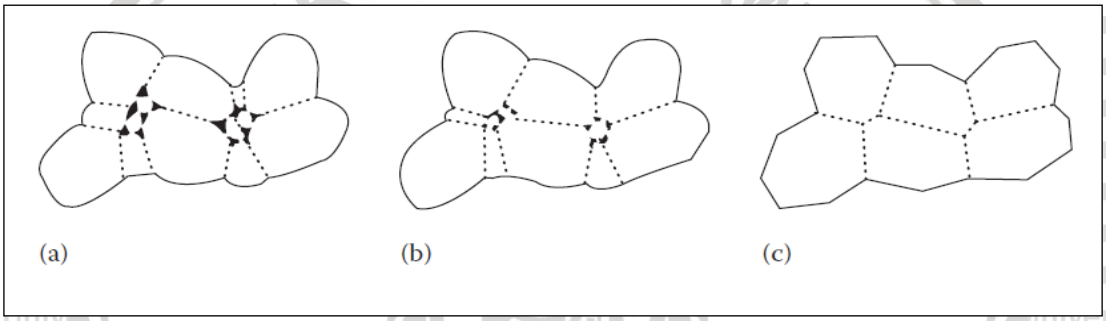
Gambar 2.4 Tahap pertama sintering a) Partikel awal b) Penataan ulang dan c) Pembentukan leher awal pada sudut kontak antar partikel
Sumber: Richerson (2002)

Selanjutnya pada Gambar 2.5 menunjukkan tahap kedua sintering yang disebut dengan *sintering* menengah. Pada tahap ini perubahan fisik yang terjadi adalah ukuran leher antar partikel mulai bertambah, porositas pun berkurang dan pusat partikel bergerak lebih mendekat. Banyaknya penyusutan sebanding dengan jumlah penurunan porositas.



Gambar 2.5 Tahap kedua sintering a) Ukuran antar leher bertambah dan volume menyusut b) Pemanjangan batas butir, dan c) Pemanjangan kembali leher dan batas butirpun memanjang
Sumber: Richerson (2002)

Dan tahap ketiga *sintering* ini termasuk penghapusan akhir porositas seperti pada gambar 2.6. Porositas dihilangkan dengan difusi di sepanjang batas butir. Penghilangan poti ini disebabkan pergerakan oleh batas butir, namun jika pertumbuhannya terlalu cepat, batas butir akan bergerak lebih cepat dari pori-pori dan membiarkannya terisolasi di dalam butir. (Richerson, 2002)



Gambar 2.6 Tahap terakhir sintering a) Penumbuhan butir b) Butir tumbuh dengan porositas mengurang c) Butir tetap tumbuh tetapi porotitas menghilang (ASM International, Material Park)
Sumber: Richerson (2002)

5 Pendinginan

Pada fase ini material pada umumya dalam kondisi fase plastis dan dapat didinginkan dengan cukup cepat karena kontraksi termal tidak menyebabkan banyak tegangan. Dalam rentang suhu dimana transformasi fase disertai dengan perubahan volume terjadi, laju pendinginan yang terlalu cepat dapat menyebabkan retakan. Semakin lambar laju pendinginan semakin baik struktur kristal yang terbentuk. Pendinginan dilakukan didalam tungku atau bisa pada -100ºC/Jam hingga temperatur tungku dibawah 300ºC (Richerson, 2002).

2.4 Alumina

Alumina (Al_2O_3) merupakan material keramik nonsilikat yang paling penting. Alumina mempunyai ketahanan listrik yang tinggi dan tahan terhadap kejutan termal dan

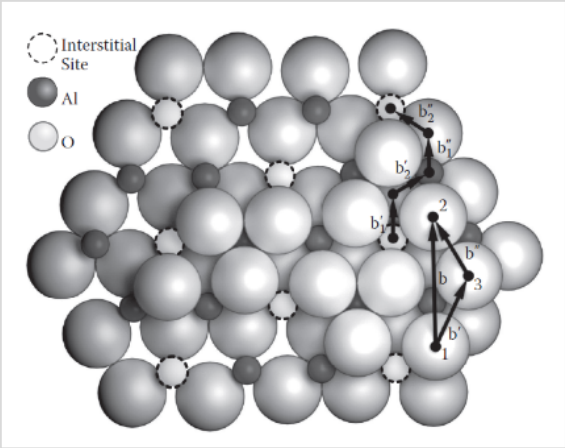
korosi. Aluminium bereaksi dengan oksigen membentuk aluminium oksida yang terbentuk sebagai lapisan tipis yang dengan cepat menutupi permukaan aluminium. Senyawa ini diketahui merupakan insulator listrik yang baik, sehingga digunakan secara luas sebagai bahan isolator suhu tinggi. (Xu X, *et al.,* 1994).

Alumina seperti yang dijelaskan pada tabel 2.1 memiliki nilai ketangguhan yang tinggi, densitas yang tergolong tinggi, koefisien termal ekspansi yang tinggi, dan titik lebur yang tinggi. Nilai kekerasan Al_2O_3 pun tergolong tinggi yaitu 9 pada suatuan Mohs dimana nilai 10 adalah nilai tertinggi yang dimiliki oleh berlian. Dengan ditambahkan Al_2O_3 pada paduan keramik maka akan membuat paduan mempunyai ukuran butir yang heterogen sehingga ketika saat ukuran molekul atau atom yang lebih kecil akan mengisi rongga antar atom saat proses pembakaran atau proses *sintering*. Saat rongga heterogen dan atom yang mempunyai ukuran yang lebih kecil mengisi rongga maka fenomena tersebut akan mengurangirongga dan bisa menyebabkan meningkatnya kekuatan suatu paduan keramik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.

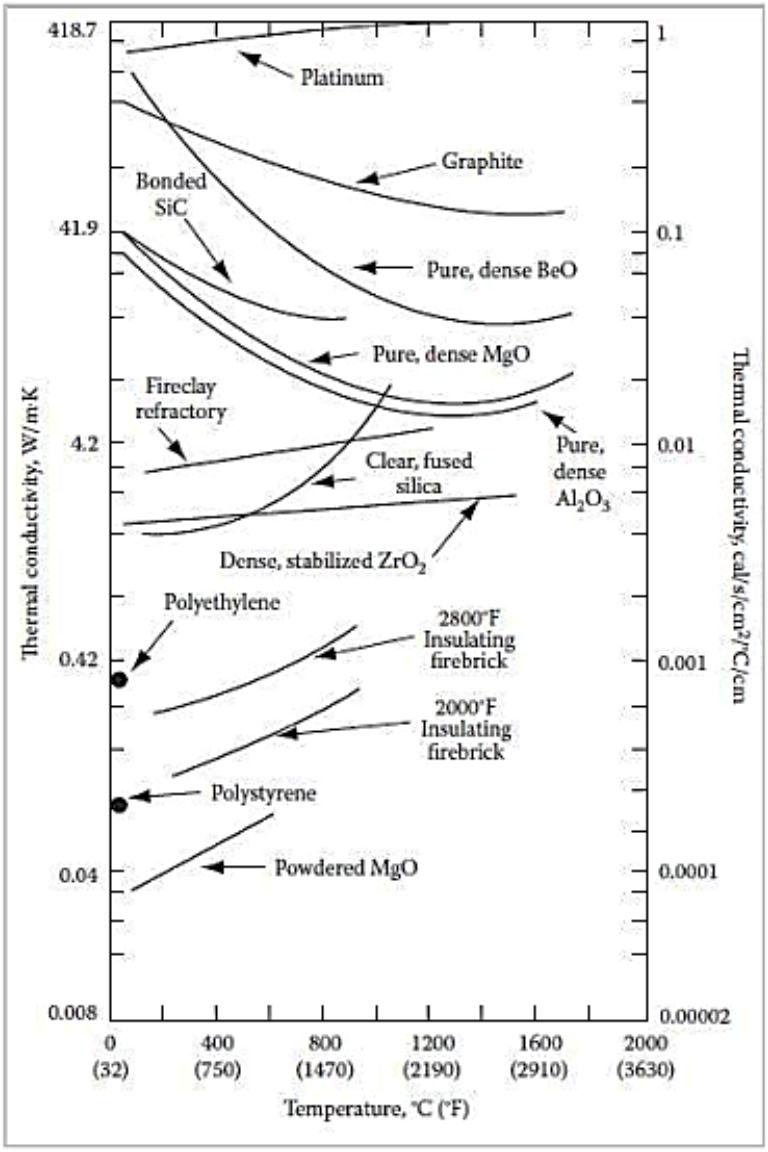
Pada penelitian ini digunakan ukuran butir pada Al_2O_3 sebesar 0,045mm-0125mm dengan menggunakan mesin pengguncang rotap. Pertama-tama atur besar ayakan dari bawah ke atas dengan tingkatan mesh semakin ke atas semakin besar, kemudian letakkan pada mesin pengguncang rotap. Selanjutnya masukkan 100 gram Al_2O_3 pada ayakan paling atas lalu tutup. Hidupkan alat mesin pengguncang rotap selama 15 menit dengan frekuensi getar 50Hz. Setelah selesai, timbang berat pasir yang berada pada masing-masing mesh. Pada pengujian ini dilakukan beberapa kali percobaan karena peneliti ingin mencari berat sisa dari pengujian rotap ini yang paling sedikit, yaitu sebesar 0,045mm-0,125mm.

Tabel 2.1
Karakterisasi alumina

Densitas	3,96 g/cm^3
Koefisien Termal Ekspansi	8 x 10^{-6}/C – 9 x 10^{-6}/ C
Kekuatan Patah	350 MPa
Titik Lebur	2050°C
Ketangguhan	4,9 MPa



Gambar 2.7 Strukur Kristal dari Al_2O_3 yang menunjukkan jalur kompleks oleh O_2- dan Al_3+ yang harus dilalui untuk memungkinkan terjadinya slip sesuai dengan tekanan yang diberikan

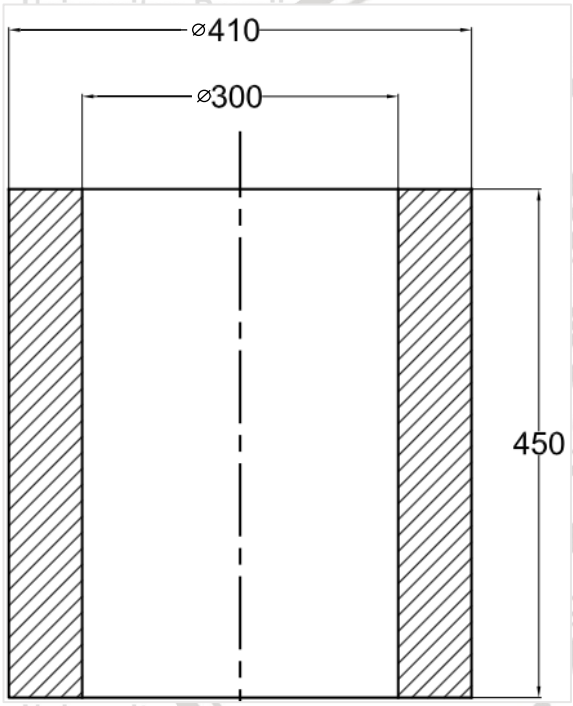


Gambar 2.8 Konduktivitas termal material keramik
Sumber: Barry (2007)

2.5 *Thermal Jacket*

Thermal jacket, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9 berfungsi untuk menjaga panas dan mengurangi pembuangan panas dalam tungku peleburan. Maka dari itu *thermal jacket* membutuhkan material yang mampu menahan suhu tinggi. Disaat material tersebut dapat menahan suhu tinggi, menjaga panas, dan mengurangi pembuangan panas maka akan menghemat bahan bakar yang antara lain dapat meningkatkna efisiensi tungku pembakaran.

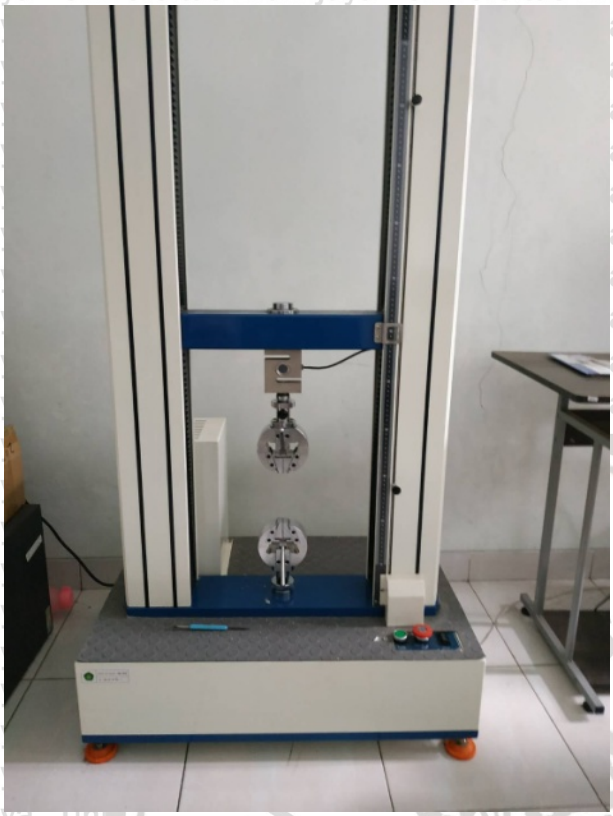
Selain penggunaannya dalam tungku untuk pengolahan keramik, refraktori merupakan sektor yang penting dalam industri keramik karena banyak digunakan pada sebagian besar proses manufaktur suhu tinggi. Maka dari itu, kestabilan termal, titik lebur, dan konduktivitas termal adalah sifat-sifat yang penting untuk diperhatikan dalam pemilihan material *thermal jacket*.



Gambar 2.9 Dimensi *thermal jacket*

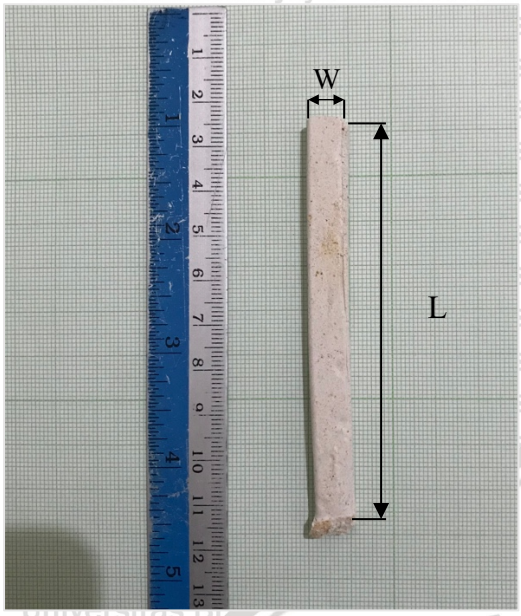
2.6 Pengujian Kekuatan

Untuk menguji suatu kekuatan material dapat diuji dengan berbagai metode. Namun untuk mengukur kekuatan pada material keramik biasanya tidak menggunakan metode pengujian tarik, dikarenakan kemungkinan terjadinya tegangan geser yang cukup tinggi saat spesimen tersebut patah. Kesalahan bentuk spesimen akan menimbulkan *bending* dan ketidaksempurnaan permukaan spesimen dapat menyebabkan konsentrasi tegangan pada tempat yang tidak diinginkan (Richerson, 2018). Kekuatan keramik bisa diukur dengan metode pengujian *bending* (*bend strength* atau *flexure test*). Pengujian ini dapat dilakukan dengan alat *Universal Testing Machine* seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Universal testing machine
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2019)

Pada pengujian ini dilakukan 4 *point bending test* dengan spesimen seperti pada gambar 2.11 , dengan 4 titik pembebanan. Kekuatan *bending* sendiri didefinisikan saat spesimen diberikan gaya hingga spesimen tersebut patah dan nilai dari kekuatannya sendiri bisa dicari dengan rumus MOR (*Moudulus of Rupture*) Perbedaannya adalah pada jumlah pembebannya, alasan memakai metode ini adalah karena menyesuaikan dengan material yang digunakan, keramik dengan paduan alumina. Uji Kekuatan tekan biasanya digunakan untuk mencari nilai *ductile* atau elastisitas suatu material. (Richerson, 1992) Pengujian ini sangat penting, karena sudah digunakan secara luas dan mungkin ini adalah pengujian kekuatan untuk keramik terbaik yang telah dipelajari, geometri ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.11 Spesimen untuk pengujian kekuatan
Sumber: Dokumentasi Pribadi

$$\sigma = \frac{3PD}{BW^2} \quad \text{(2-2)}$$

Sumber: Barry (2007)

$$\sigma = \frac{M.c}{I} \quad \text{(2-3)}$$

Sumber: Ferdinand (2009)

Keterangan:

σ / MOR (Modulus of Rupture) = tegangan maksimum di permukaan balok saat putus (MPa)

P = gaya beban (N)

D = jarak dari tumpuan ke gaya beban (mm)

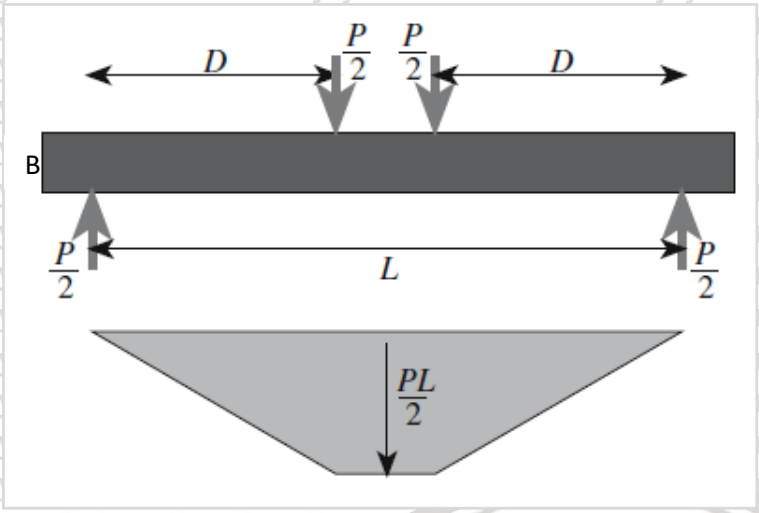
W = tebal spesimen (mm)

B = tinggi spesimen (mm)

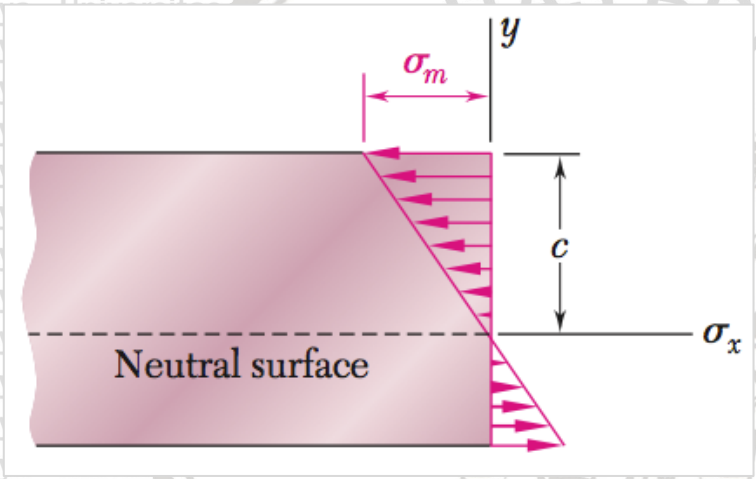
M = momen lentur pada penampang (N.mm)

c = jarak dari sumbu netral ke tegangan normal (mm)

I = momen inersia ($kg.m^2$)



Gambar 2.12 Geometri untuk *four-point bending test*
Sumber: Barry (2007)

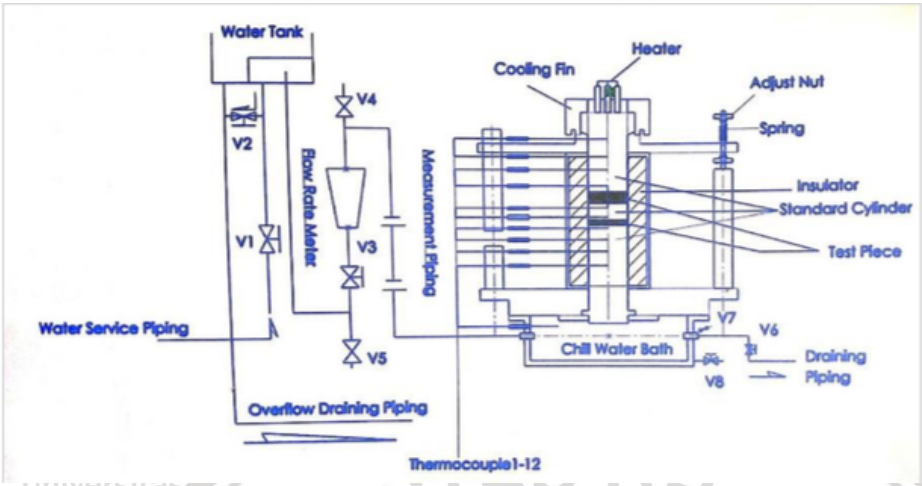


Gambar 2.13 Formula *elastic flexure*
Sumber: Ferdinand (2009)

2.7 Pengujian Konduktivitas Termal

Pengujian konduktivitas termal ini menggunakan alat *Thermal Conductivity Experiment Apparatus* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.13 dengan skema yang ditunjukkan pada gambar 2.12. Konduktivitas termal adalah nilai yang menunjukkan besarnya kalor yang dihantarkan pada material dalam satuan waktu. Konduktivitas termal mempengaruhi transfer panas suatu material logam, semakin tinggi konduktivitas termalnya maka semakin cepat transfer panas pada logam tersebut. Dan Al_2O_3 memiliki sifat konduktivitas termal yang ditinggi yaitu sebesar 8 x 10^{-6}/C – 9 x 10^{-6}/ C, Al_2O_3 pula mempunyai nilai yang tergolong tinggi jika dibandingkan dengan unsur lain sesuai dengan penjelasan pada subbab 2.4. Dengan tingginya nilai konduktivitas termal maka

akan menaikkan nilai konduktvitas termalnya seiring dengan bertambahnya konsentrasi Al_2O_3 pada paduan keramik.



Gambar 2.14 Skema *thermal conductivity experiment apparatus*
Sumber: *Thermal conductivity experiment apparatus manual book*

Gambar 2.15 Thermal conductivity experiment apparatus
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2019)

2.8 Pengujian *Thermal Shock*

Thermal shock adalah tegangan termal yang terjadi dalam suatu komponen akibat dari paparan perbedaan suhu antara permukaan dan bagian dalam atau antara berbagai daerah komponen. Menurunnya nilai kekuatan akibat perlakuan *thermal shock* terjadi karena

adanya perubahan suhu secara mendadak yang menyebabkan timbulnya ekspansi termal yang tidak seragam pada material. Hal ini yang dapat menyebabkan timbulnya tegangan dan menyebabkan *micro* crack, dan jika tegangan yang terjadi melebihi kekuatan material maka material akan mengalami kegagalan.

Sedangkan *thermal shock resistance* adalah kemampuan suatu material untuk tahan terhadap kegagalan karena perubahan suhu yang cepat. Keramik lebih memungkinkan untuk terjadi tegangan termal daripada logam karena keramik cenderung memiliki konduktivitas termal yang rendah dan banyak termasuk material yang getas.

Pengujian ini menggunakan standar penguijan ASTM E228 dengan spesimen seperti pada gambar 2.15 dan dilakukan *water quenching* untuk memberikan efek *thermal shock* pada spesimen. Kemudian dilakukan pengamatan pada kekuatannya sebelum dan setelah dilakukan perlakuan *water quenching*. Pengujian *thermal shock* ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan material terhadap perubahan temperatur secara tiba-tiba yang dapat menghasilkan tegangan pada material. Ketahanan *thermal shock* dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$R_{TS} = MOR.\, k/(E.\, \propto) \quad \text{.....(2-3)}$$

Sumber: Barry (2007)

Diketahui:

R_{TS} = Nilai *thermal shock resistance*

MOR = Tegangan maksimum saat tegangan maksimum di permukaan balok saat putus (MPa)

k = konduktivitas termal (Kcal/cmh^{o}C)

E = modulus young (N/mm^2)

$\propto$ = koefisien termal (W/mK)

Dalam rumus berikut terdapat 4 faktor yang dapat mempengaruhi nilai ketahanan suatu material terhadap perlakuan *thermal shock*, yaitu nilai *bending* atau MOR, konduktivitas termal (k), modulus young (E), dan koefisien termal ($\propto$).

Gambar 2.16 Spesimen untuk pengujian kekuatan dengan perlakuan *thermal shock*

2.9 SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Dalam penelitian ini fungsi SEM yang ditunjukkan pada Gambar 2.14 adalah mikroskop yang berfungsi untuk mengetahui informasi informasi mengenai topografi (ciri-ciri permukaan benda uji) dan teksturnya, morfologi (bentuk dan ukuran partikel penyusunan), dan kristalografi atau informasi bagaimana sususan dan butir-butir dalam objek diamati. Prinsip kerja SEM ini berbeda dengan mikroskop *optic* biasa. SEM menampilkan gambar berdasarkan pada deteksi *electron* sekunder atau *electron* pantul yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel dipindai dengan sinar *electron*. Kemudian sinyalnya diperkuat dan selanjutnya besar amplitudo akan ditampilkan dalam visual gradasi gelap-terang pada layar. Pada layar tersebutlah gambar struktur spesimen yang diamati dapat terlihat.

Gambar 2.17 Scanning Electron Microscope
Sumber: Laboratorium Sentral Mesin Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya (2019)

2.10 Hipotesis

Berdasarkan latar tinjauan pustakan maka hipotesis yang dapat penulis tarik adalah bahwa dengan penambahan unsur alumina Al_2O_3 pada paduan keramik maka akan menaikkan nilai kekuatan *bending*nya karena ukuran butir yang kecil hingga membuat ukuran butir menjadi heterogen sehingga nilai kekuatannya meningkat, menaikkan nilai konduktivitas termal karena Al_2O_3 tersendiri memiliki nilai konduktivitas termal yang lebih tinggi sehingga akan menaikkan nilai konduktivitas termal seiring dengan bertambahnya nilai konsentrasi Al_2O_3. Namun akan dilihat apakah seiring dengan meningkatnya nilai kekuatan *bending* apakah sebanding dengan meningkatnya nilai konduktivitas termalnya.

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian pengaruh penambahan unsur alumina (Al_2O_3) terhadap sifat mekanik dan termomekanik keramik *thermal jacket* ini menggunakan metode penelitian *experimental*, yaitu dengan langsung mengamati untuk mencari dan mendapatkan data sebab-akibat daalam proses melalui eksperimen sehingga dapat diketahui pengaruh penambahan Al_2O_3 dalam paduan keramik *thermal jacket* terhadap sifat mekanik dan termomekaniknya. Guna untuk menunjang hasil yang dinginkan, data-data dan informasi didapat dari buku, jurnal, dan artikel yang diperoleh dari internet.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret tahun 2019, bertempat di

1. Laboratorium αβγ, Landungsari, Malang untuk proses pengecoran dan pembuatan spesimen.
2. Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, untuk pengujian *bending* dan *thermal shock*.
3. Laboratorium Fenomena Dasar Mesin, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, untuk pengujian konduktivitas termal.
4. Laboratorium Riset Material, Jurusan FMIPA Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, untuk pengujian *bending* tanpa dan dengan perlakuan *thermal shock*

3.3 Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

   Variabel bebas yang digunakan untuk penelitian ini adalah:
   - Fireclay 75%, grog 25%, Al_2O_3 0%,
   - Fireclay 65%, grog 25%, Al_2O_3 10%

   Dalam pengujian konduktivitas termal akan digunakan variasi pada paduan Al_2O_3
   - Fireclay 75%, grog 25%, Al_2O_3 0%,
   - Fireclay 70%, grog 25%, Al_2O_3 5%,

- Fireclay 65%, grog 25%, Al_2O_3 10%
- Fireclay 60%, grog 25%, Al_2O_3 15%

2. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini yaitu:

- Nilai kekuatan *bending*
- Nilai ketahanan *thermal shock*, dan
- Nilai konduktivitas termal

3. Variabel Terkontrol

Dalam penelitian ini variabel terkontrolnya adalah:

- Temperatur pembakaran 1100 – 1300°C
- Tekanan pencetakan 100 kg/cm^2
- Waktu pembakaran 8 jam
- Ukuran butir Al_2O_3 sebesar 0,045mm-0,125mm
- Bahan dasar kaolin dengan ukuran butir 0,1-0,335 mm

3.4 Alat dan Bahan

3.4.1 Alat yang Digunakan

1. Alat Penekan

Alat penakan pada Gambar 3.1 digunakan untuk menekan cetakan keramik.

Gambar 3.1 Alat penekan
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Spesifikasi alat:

Penekanan: 0-600 bar
0-800 bar

2. Cetakan

Alat cetakan pada Gambar 3.2 digunakan sebagai media untuk membentuk spesimen.

Gambar *3.2* Cetakan
Sumber: Dokumentasi pribadi

3 Tungku Pembakaran

Tungku pembakaran pada Gambar 3.3 digunakan untuk membakar keramik.

Gambar *3.3* Tungku pembakaran
Sumber: Dokumentasi pribadi

4 Alat Ukur Pengujian

Terdapat 2 alat yang digunakan sebagai alat ukur pengujian seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4, yang pertama adalah jangka sorong yang berfungsi untuk mengukur dimensi dari benda. Lalu ada timbangan elektrik yang digunakan untuk menimbang berat paduan keramik untuk membuat spesimen.

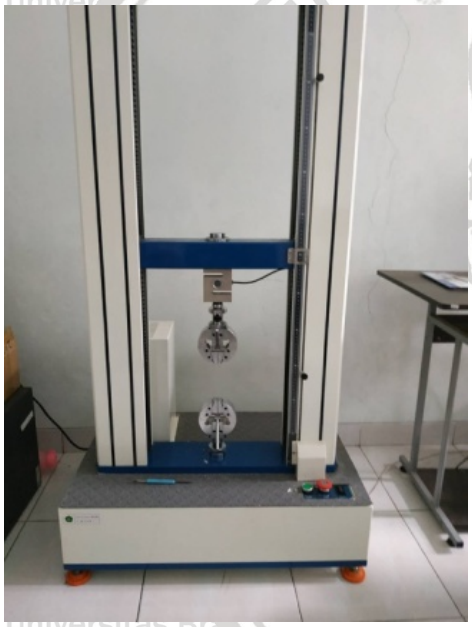
repository.ub.ac.id

a b

Gambar 3.4 Alat ukur pengujian a) Timbangan elektrik b) Jangka sorong

5 *Universal Testing Machine*

Alat *Universal Tesing Machine* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.5 digunakan untuk memberikan beban *bending* kepada spesimen.



Gambar 3.5 Universal tesing machine
Sumber: Dokumentasi pribadi

6 *Thermal Conductivity Experimental Apparatus*

Alat ini yang ditunjukkan pada gambar 3.6 digunakan untuk menguji konduktivitas termal pada benda uji hingga mendapatkan nilai efisiensi konduktivitas termal.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Gambar 3.6 Thermal conductivity experimental apparatus
Sumber: Dokumentasi pribadi

7 Dapur Listrik

Dapur ini digunakan untuk proses pemanasan spesimen saat pengujian *thermal shock* yang ditunjukkan pada Gambar 3.7.

Gambar 3.7 Dapur listrik
Sumber: Dokumentasi Pribadi

3.4.2 Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8 adalah:

a b c

Gambar 3.8 Bahan-Bahan yang Digunakan a) *Fireclay* b) Grog c) Alumina
Sumber: Dokumentasi pribadi

3.5 Prosedur Penelitian

Mempelajari literatur tentang material keramik lalu mencari permasalahan tentang keramik mengenai sifat termomekanik dan mekanik terhadap penambahan unsur alumina (Al_2O_3). Lalu mempersiapkan alat, cetakan dan bahan untuk pembuatan spesimen lalu dilakukan pembuatan spesimen. Setelah itu melakukan pembakaran spesimen sesuai dengan temperatur yang telah ditentukan. Jika keramik terdapat cacat retak atau pecah maka dilakukan pembuatan spesimen kembali tetapi jika tidak maka langsung dilakukan pengujian kekuatan, konduktivitas termal, dan *thermal shock*. Akan didapat data hasil dari semua pengujian dan lalu menganalisa data hasil pengujian. Selanjutnya membuat kesimpulan dan saran.

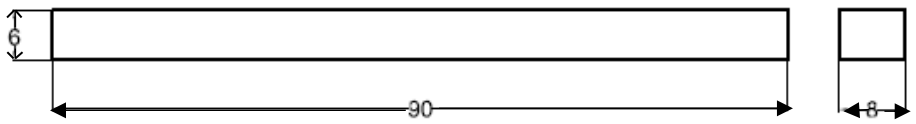
3.5.1 Proses Pembuatan Spesimen

Setelah semua alat dan bahan disiapkan, bahan baku diayak lalu menimbang bahan-bahan sesuai dengan komposisi. Selanjutnya mencampur bahan keramik dengan alumina lalu memasukkan air dan diaduk. Setelah campuran keramik siap dilakukan proses penekanan sebesar 100 kg/cm^2 selama 2 menit, spesimen dikeluatkan dari cetakan lalu dikeringkan pada suhu udara selama 1 minggu. Saat spesimen kering kemudian dibakar pada tungku pembakaran dengan suhu kisaran 1100-1300°C selama 8 jam lalu di *holding* sebelum dikeluarkan dari tungku pembakaran

3.5.2 Pengujian Kekuatan Bending

Pengujian tekan dengan spesimen yang ditunjukkan pada gambar 3.9 dilakukan adalah 4 *point bending*. Perbedaannya adalah pada jumlah pembebannya, alasan memakai metode ini adalah karena menyesuaikan dengan material yang digunakan, keramik dengan

paduan alumina. Jika dilakukan 3 *point bending* maka pembebanan akan terpusat dan akan lebih sulit juga tidak terlalu akurat untuk data hasil gaya tekan.



Gambar 3.9 Spesimen pengujian bending
Sumber: ASTM C 1161

Tabel 3.1
Dimensi Spesimen Uji *Flexural Strength*

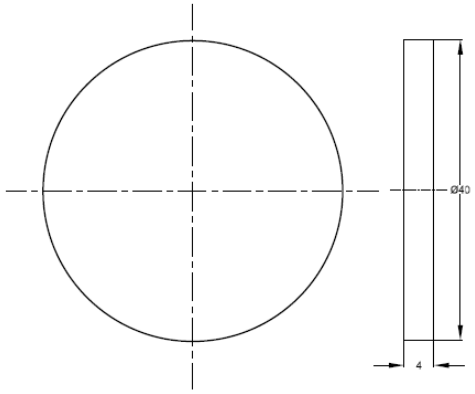
Configuration	***Width*, mm**	**Depth, mm**	**Length, mm**
A	2,0	1,5	25
B	4,0	3,0	45
C	8,0	6,0	90

Sumber: ASTM C 1161 – 02c

Dilakukan pengujian bending sesuai dengan standar C 1161, langkah pertama adalah spesimen dicekam dengan erat pada alat uji lalu diatur beban yang sudah ditentukan. Mesin dinyalakan dan dilakukan pengamatan terhadap beban hingga spesimen tersebut patah, dan selanjutnya dilakukan pengukuran dimensi akhir spesimen.

3.5.3 Pengujian *Thermal Conductivity*

Pada pengujian ini menggunakan *thermal conductivity apparatus* yang digunakan untuk mengukur angka konduktivitas termal. Pengujian ini menggunakan standar ASTM E 1225 -99 *Standard Test Method for Thermal Conductivity of Solids by Means of the Guarded-Comparative-Longitudinal Heat Flow Technique* dengan dimensi spesimen sesuai dengan Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Spesimen uji *thermal conductivity*
Sumber: *Thermal Conductivity Measuring Apparatus Manual Book*

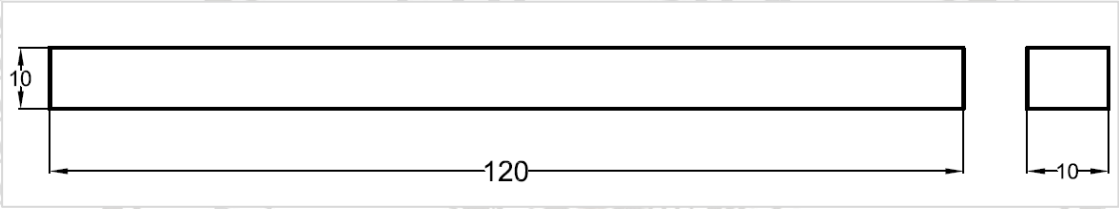
Adapun langkah-langkah pengujian Konduktivitas Termal adalah sebagai berikut:

1. Bentuk spesimen keramik sesuai dengan standar alat ukur konduktivitas termal

2. Letakkan spesimen pada standar silinder alat
3. Isi tangki air sampai penuh dan pastikan aliran air diatur konstan
4. Tekan tombol *on* untuk menyalakan *power* kemudian melalui *temperature set controller* temperatur *heater* diatur sesuai dengan kebutuhan
5. Setelah terjadi kondisi stabil, catat temperature yang ditunjukkan oleh setiap *thermometer* lalu dihitung

3.5.4 Pengujian *Thermal Shock*

Metode pengujian ini digunakan untuk menentukan ketahanan keramik terhadap perubahan termal dengan pendinginan air. Pengujian ini menggunakan standar ASTM C 1525 -02 *Determination of Thermal Shock Resistance of Advanced Ceramics by Water Quenching* dengan dimensi yang ditunjukkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Dimensi spesimen pengujian *thermal shock* Skala 1:1

Sumber: ASTM C 1525

Berikut langkah langkah pengujian *Thermal Shock*:

1. Bentuk 10 spesimen keramik sesuai dengan standar C 1525.
2. Uji kekuatan 5 spesimen sesuai test C 1161.
3. 5 spesimen lainnya diuji kekuatan setelah melakukan pemanasan hingga suhu $600°C$ selama 30 menit kemudian di*quenching.*
4. Spesimen yang telah diquenching kemudian di test kembali menggunakan test C 1161.
5. Bandingkan spesimen dengan perlakuan *quenching* dan tanpa perlakuan.

3.6 Rancangan Tabel dan Grafik Penelitian

Hasil penelitian ini nantinya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik dengan tujuan agar memudahkan untuk membaca informasi hasil penelitian.

3.6.1 Rancangan Tabel Penelitian

Tabel 3.2, Tabel 3.3, dan Tabel 3.4 merupakan rancangan tabel dalam penelitian ini.

Tabel 3.2
Tabel Data Hasil Perhitungan Kekutan Bending

Spesimen	Beban *Bending* (N)	
	Al_2O_3 0%	Al_2O_3 10%
1	35,11	26,77
2	11,87	25,59
3	10,19	25,69
Rata-Rata	19,06	26,02

Tabel 3.3
Tabel Data Hasil Perhitungan Kekuatan Bending Setelah Perlakuan *Thermal Shock*

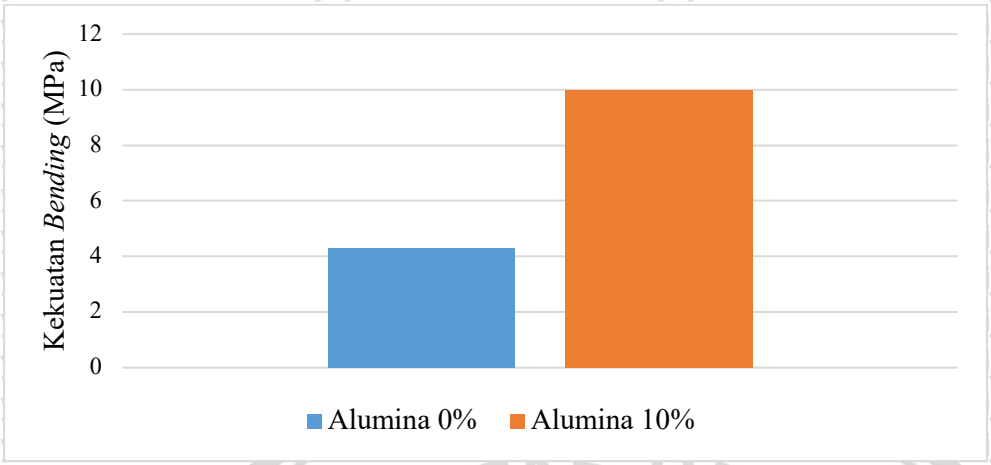
Spesimen	Beban *Bending* (N)	
	Al_2O_3 0%	Al_2O_3 10%
1	27,85	25,11
2	27,16	19,71
3	15,69	13,44
Rata-Rata	23,57	19,42

Tabel 3.4
Tabel Data Hasil Konduktivitas Termal Spesimen Keramik dengan Paduan Aluminaß

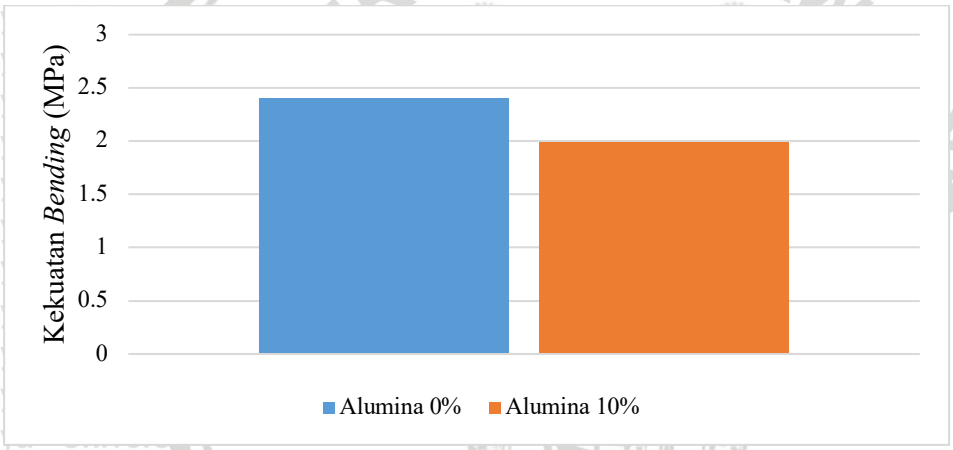
Spesimen		Temperatur (°C)						
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	ΔT_b
0%	1	200	193	186	179	36	33	141
	2	200	193	186	179	36	32	140
5%	1	200	193	186	178	35	31	141
	2	200	193	186	178	36	32	140
10%	1	200	194	187	180	33	30	145
	2	200	193	186	179	34	31	143
15%	1	200	193	187	180	34	31	144
	2	200	194	187	180	34	31	144

3.6.2 Rancangan Grafik Penelitian

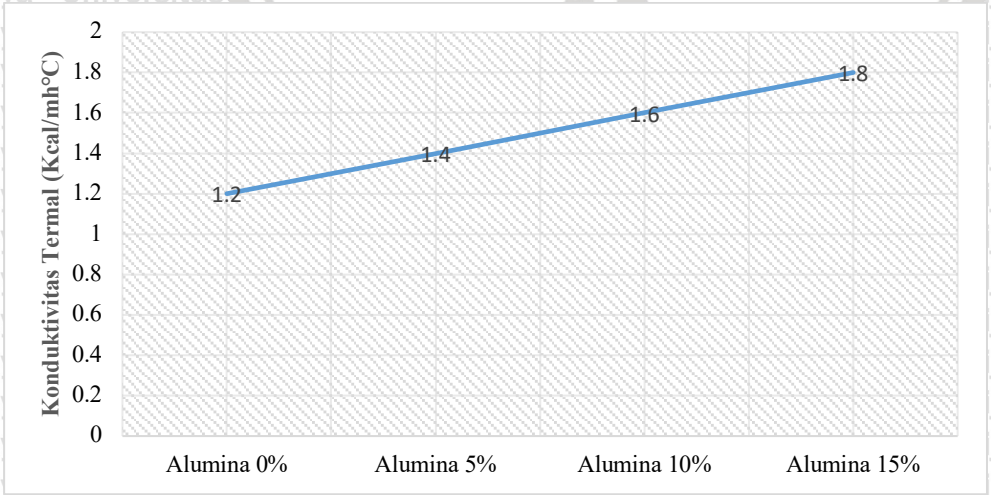
Gambar 3.12, Gambar 3.13, dan Gambar 3.14 meruapakan rancanagan grafik dalam skripsi ini.



Gambar 3.12 Grafik prediksi pengaruh penambahan unsur Al_2O_3 terhadap nilai kekuatan *bending*



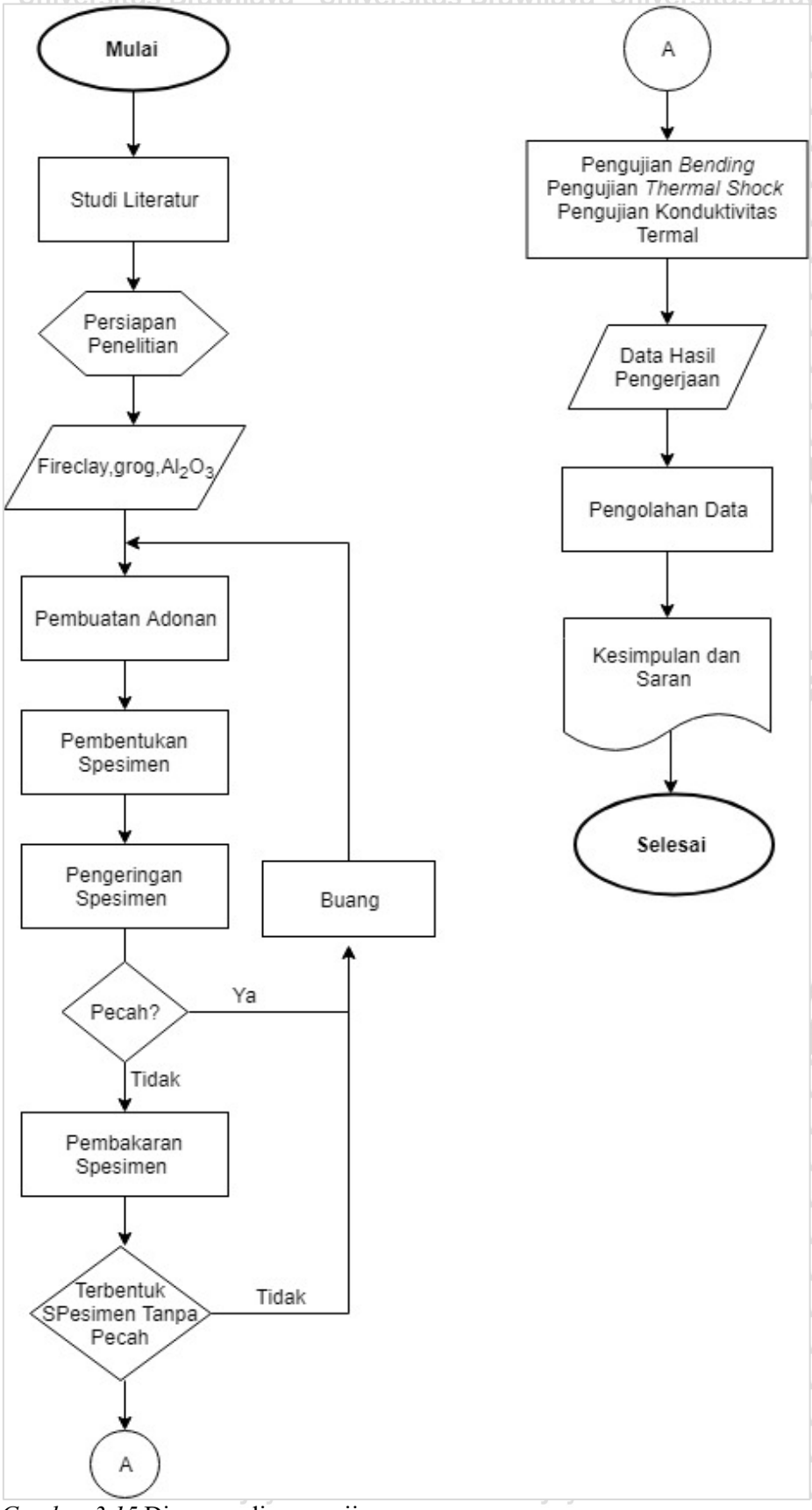
Gambar 3.13 Grafik prediksi pengaruh penambahan unsur Al_2O_3 terhadap nilai kekuatan *bending* setelah perlakuan *thermal shock*



Gambar 3.14 Prediksi grafik hubungan antara kandungan Al_2O_3 terhadap nilai konduktivitas termal

3.7 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.15 merupakan diagrama alir dalam penelitian ini.



Gambar 3.15 Diagram alir pengujian

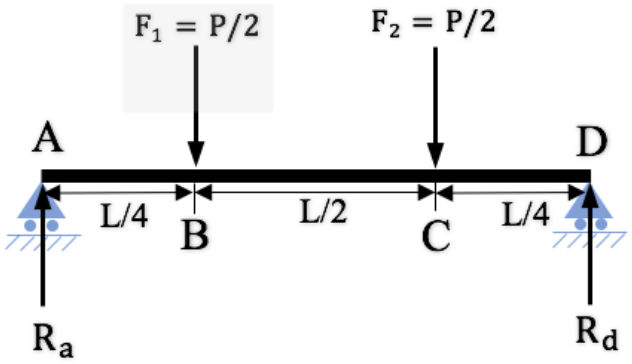
BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan spesimen dengan penambahan unsur Al_2O_3 dengan konsentrasi 5%, 10%, 15% dan spesimen tanpa penambahan unsur apapun sebagai pembanding sebelum keramik tersebut dilakukan proses pembakaran sesuai dengan variasi pembakaran sesuai pada variabel bebas penelitian dan selanjutnya dilakukan pengujian *bending*, *thermal shock resistance*, dan konduktivitas termal sehingga didapatkan data seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.1,tabel 4.2, dan tabel 4.3.

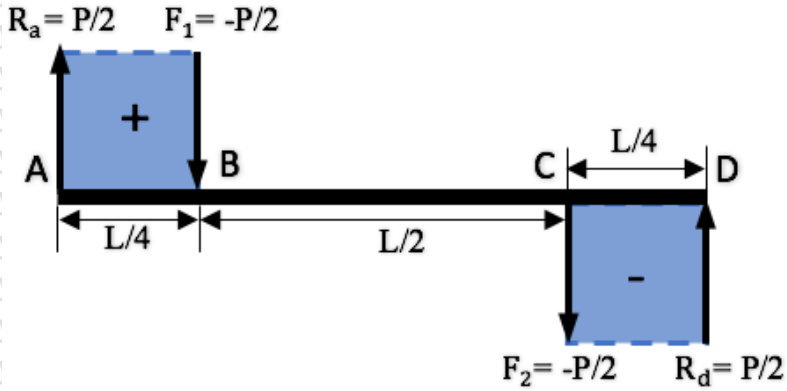
4.2 Data Hasil Uji Bending

Metode yang digunakan dalam pengujian tekan ini adalah *four point bending test* alasan tersendiri karena untuk mengurangi nilaitegangan geser yang terjadi jika diuji dengan metode *three point bending test*. Spesimen yang diuji ini sesuai dengan ASTM C 1161. Terdapat 2 jenis spesimen yang digunakan, keramik tanpa paduan yang digunakan sebagai pembanding data dan keramik dengan tambahan unsur Al_2O_3 sebanyak 10% yang bertujuan untuk melihat apakah terjadi penambahan nilai kekuatan pada spesimen.



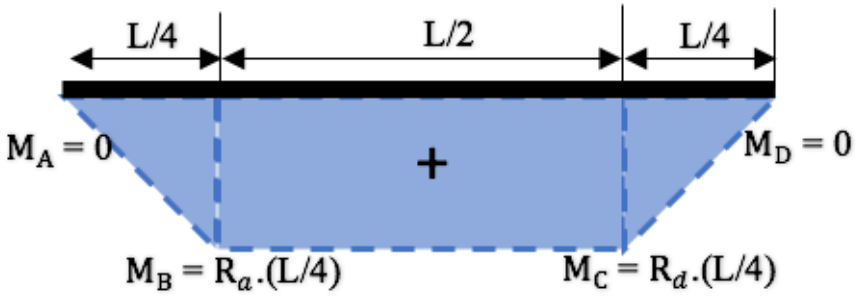
Gambar 4.1 Gaya *Bending* pada Batang Spesimen

$\sum M_A = 0$
$R_d.(L) - F_2.(3L/4) - F_1.(L/4) = 0$
$R_d.(L) = F_2.(3L/4) + F_1.(L/4)$
$R_d = P/2\ (3/4) + P/2\ (1/4)$
$R_d = P/2$
Dikarenakan beban simetris, maka
$\therefore R_a = R_d = F_1 = F_2 = P/2$



Gambar 4.2 Diagram Gaya Lintang/Geser

- Diagram Momen



Gambar 4.3 Diagram Momen

- Tegangan

$$\sigma = \frac{M.c}{I}$$

$$\sigma = \frac{\left(\frac{P}{2}\right)D.\left(\frac{W}{2}\right)}{\frac{1}{12}BW^3}$$

$$\sigma = \frac{3PD}{BW^2}$$

Tabel 4.1
Tabel Data Hasil Pengujian Kekutan Bending

Spesimen	Beban *Bending* (N)	
	Al_2O_3 0%	Al_2O_3 10%
1	35,11	26,77
2	11,87	25,59
3	10,19	25,69
Rata-Rata	19,06	26,02

4.3 Data Hasil Uji Bending dengan Perlakuan *Thermal Shock*

Pengujian ini pula dilakukan dengan *four point flexural strength* namun spesimen dilakukan *thermal shock*, dan pengujian ini dilakukan sesuai dengan standar C 1525. Metode pengujian ini digunakan untuk menentukan ketahanan keramik terhadap perubahan termal dengan pendinginan air, secara teori nilai kekuatan keramik setelah perlakuan *thermal shock* akan mengalami penurunan. Tabel data 4.2 menunjukkan hasil kekuatan *bending* setelah perlakuan *thermal shock*. Data ini digunakan untuk melihat perubahan kekuatan dalam persen keramik tanpa paduan dan keramik dengan paduan Al_2O_3 setelah perlakuan *thermal shock*.

Tabel 4.2
Tabel Data Hasil Pengujian Kekuatan Bending Setelah Perlakuan *Thermal Shock*

Spesimen	Beban *Bending* (N)	
	Al_2O_3 0%	Al_2O_3 10%
1	27,85	25,11
2	27,16	19,71
3	15,69	13,44
Rata-Rata	23,57	19,42

4.4 Data Hasil Pengujian Konduktivitas Termal

Pada pengujian ini menggunakan alat *thermal conductivity testing apparatus* yang digunakan untuk mengukur angka konduktivitas termal. Pengujian ini menggunakan standar ASTM E 1225 -99. Pada tabel 4.3 didapat hasil pengujian konduktivitas termal dalam spesimen tanpa paduan, keramik dengan paduan Al_2O_3 sebanyak 5%, 10%, dan 15%. Secara teori nilai konduktivitas termal pada keramik yang dipadukan dengan unsur Al_2O_3 akan memiliki kecenderungan yang meningkat dan memiliki nilai yang lebih tinggi dari keramik tanpa paduan.

Tabel 4.3
Tabel Data Hasil Konduktivitas Termal dengan Paduan Alumina (Al_2O_3)

Spesimen		Temperatur (°C)						
		T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	ΔT_b
0%	1	200	193	186	179	36	33	141
	2	200	193	186	179	36	32	140
5%	1	200	193	186	178	35	31	141
	2	200	193	186	178	36	32	140
10%	1	200	194	187	180	33	30	145
	2	200	193	186	179	34	31	143
15%	1	200	193	187	180	34	31	144
	2	200	194	187	180	34	31	144

Gambar 4.4 Thermal Conductivity Testing Apparatus

4.5 Hasil Perhitungan

4.5.1 Data Hasil Perhitungan

Tabel 4.4
Tabel Data Hasil Perhitungan Kekuatan *Bending*

Spesimen		1	2	3	Rata-rata
Tanpa Paduan	L_0(mm)	0,025	0,001	0,798	**0,275**
	σ_0 (MPa)	2,47	2,123	6,865	**3,819**
Paduan **Al_2O_3**	L_1(mm)	0,216	0,159	0,172	**0,182**
	σ_1 (MPa)	5,58	5,33	5,35	**5,42**

Tabel 4.5
Tabel Data Hasil Perhitungan Kekuatan *Bending* Setelah Perlakuan *Thermal Shock*

Spesimen		1	2	3	Rata-rata
Tanpa Paduan	L_0(mm)	0,341	0,235	0,001	**0,192**
	σ_0 (MPa)	2,24	2,18	1.26	**1,893**
Paduan **Al_2O_3**	L_1(mm)	0,158	0,05	0,025	**0,182**
	σ_1 (MPa)	2,01	1,58	1,08	**1,556**

Tabel 4.6
Tabel Data Hasil Perhitungan Nilai Konduktivitas Termal Spesimen dengan Paduan Al_2O_3

No Spesimen	Kondukvitas Termal (Kcal/mh°C)			
	Al_2O_3 0%	**Al_2O_3 5%**	**Al_2O_3 10%**	**Al_2O_3 15%**
1	1,581	1,62	1,715	1,755
2	1,592	1,68	1,702	1,755
Rata-rata	1,586	1,65	1,7085	1,755

4.5.2 Contoh Perhitungan

a. Perhitungan Kekuatan *Bending*

$$\sigma = \frac{3PD}{BW^2}$$

$$\sigma = \frac{3(25{,}59N)(20mm)}{(8mm)(6mm)^2}$$

σ = 5331250 Pa

σ = 5,33 MPa

b. Perhitungan Konduktivitas Termal

$\Delta T_R = (\Delta T_{1,2} + \Delta T_{2,3} + \Delta T_{3,4})/3$

$\Delta T_R = (9+6+6)$

ΔT_R = 7 °C

$$\lambda'_a = \frac{\Delta T_R}{\Delta T_a} . \frac{L_a}{L_R} \lambda_R$$

$$\lambda'_a = \frac{7}{1} . \frac{0{,}01}{30} 320$$

$$\lambda'_a = 0{,}7467$$

$$\lambda'_b = \frac{\Delta T_R}{\Delta T_b} . \frac{L_b}{L_R} \lambda_R$$

$$\lambda'_b = \frac{7}{131} . \frac{4}{30} 320$$

$$\lambda'_b = 2{,}279$$

$$\lambda = \frac{L_b . L_a}{\frac{L_b}{\lambda'_b} . \frac{L_a}{\lambda'_a}}$$

$$\lambda = \frac{4.2}{\frac{4}{2{,}279} . \frac{2}{0{,}7467}}$$

λ = 1,702 Kcal/cm h ^{o}C

4.6 Grafik dan Pembahasan

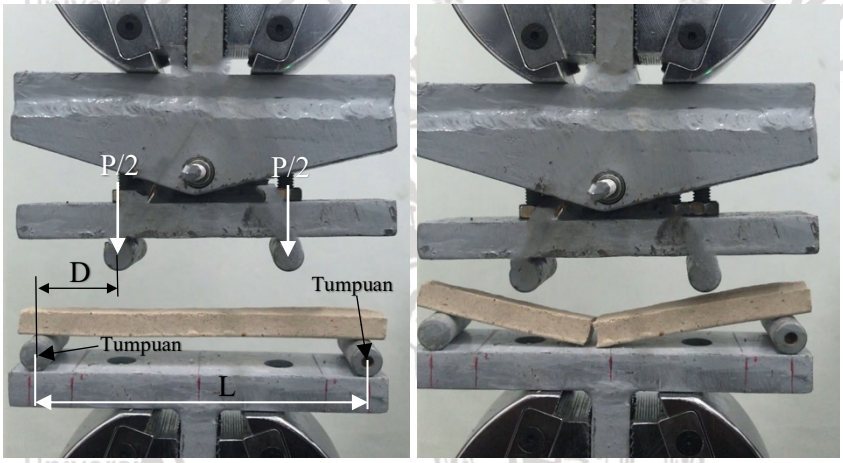
4.6.1 Pengaruh Penambahan Al_2O_3 terhadap Kekuatan *Bending*

Metode yang digunakan dalam pengujian ini adalah 4 *point bending test* dengan menggunakan alat *Universal Strength Machine*. Pengujian ini pula menggunakan standar pada ASTM atau *American Standard Testing and Material* dengan pengujian ASTM C 1161 untuk uji *4 point bending* test. Metode ini bertujuan untuk mencari nilai kekuatan saat mengalami gaya tekan hingga spesimen tersebut patah, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1. Secara teori, dengan menambahkan unsur Al_2O_3 pada spesimen keramik akan meningkatkan kekuatan pada keramik tersebut.

Pada data yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 terlihat bahwa pada spesimen nomor 1 dengan paduan Al_2O_3 0% memiliki perbedaan nilai gaya yang cukup tinggi dengan spesimen nomor 2 dan 3, ini bisa terjadi karena pengaruh dari perbedaan dimensi antara spesimen 1 dengan 2 dan 3. Tetapi pada paduan Al_2O_3 10% setiap spesimen memiliki nilai gaya yang cenderung sama satu dengan yang lain.

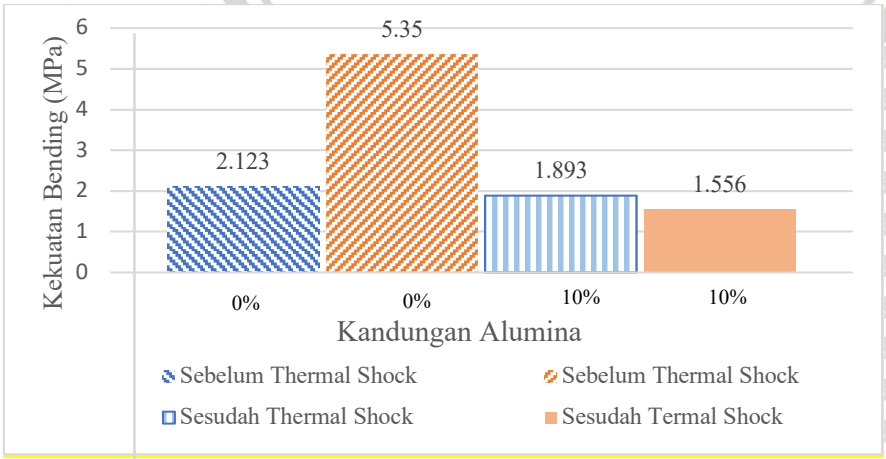
Dan data hasil menunjukkan benar adanya dengan penambahan unsur Al_2O_3 pada spesimen keramik akan menambahkan nilai kekuatannya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.1. Pada gambar 4.7 terlihat bahwa nilai spesimen tanpa paduan unsur alumina memiliki nilai yang lebih rendah yaitu pada 2,123 MPa dan nilai pada spesimen dengan penambahan unsur alumina memiliki nilai yang lebih tinggi yaitu pada 5,35 MPa.

Secara teori penambahan unsur Al_2O_3 pada keramik akan meningkatkan nilai kekuatannya. Ukuran butir merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi nilai kekuatan dari keramik. Pada unsur Al_2O_3 yang diuji pada penelitian ini memiliki ukuran butir sebesar 0,045mm-0,125mm yang dicampur dengan kaolin berukuran butir 0,1mm-0,335mm. Saat ukuran butir heterogen maka nilai kekuatan keramik akan meningkat, karena saat ukuran butir heterogen itu akan menambah sudut kontak antar butir yang mana dapat



(a) (b)

Gambar 4.5 Pengujian kekuatan *bending* (a) Spesimen sebelum pengujian (b) Spesimen setelah pengujian



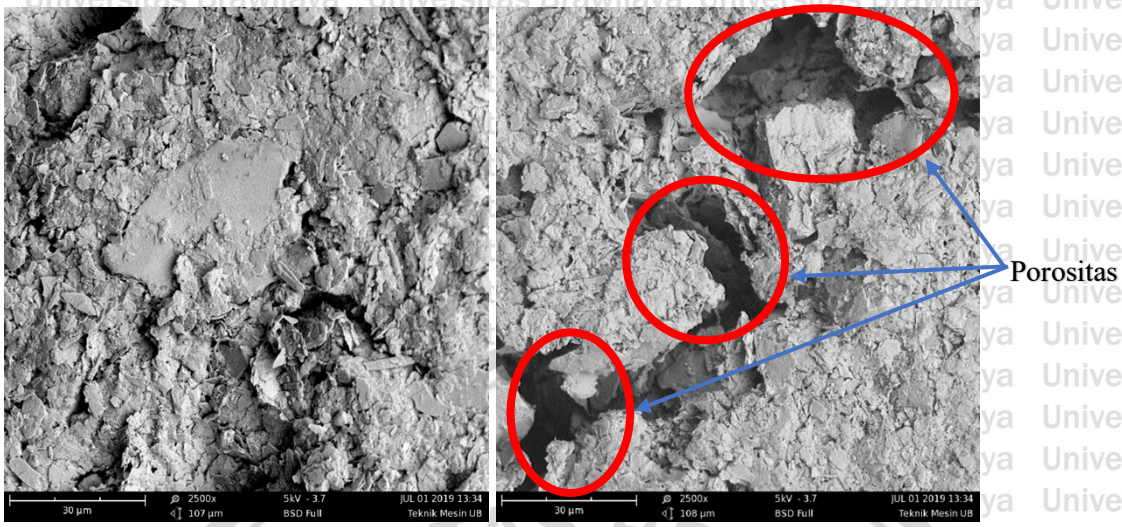
Gambar 4.6 Grafik perbandingan kekuatan *bending* tanpa perlakuan terhadap kekuatan *bending* keramik dengan perlakuan *thermal shock*

4.6.2 Pengaruh Penambahan Al_2O_3 terhadap Kekuatan *Bending* dengan Perlakuan *Thermal Shock*

Pada pengujian ini dilakukan dengan metode yang sama yaitu *four point flexural strength*, yang mana adalah melakukan uji bending hingga spesimen tersebut patah seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6 tetapi pada pengujian ini dilakukan penambahan berupa perlakuan *thermal shock* yaitu berpacu pada standar ASTM C 1525. Pengujian ini bertujuan untuk melihat pengaruh penambahan unsur Al_2O_3 pada bahan keramik terhadap kekuatan *bending*nya setelah dilakukan perlakuan *thermal shock* lalu melihat dan mengalisa penurunan kekuatannya. Terlihat bahwa nilai kekuatan keramik tanpa paduan setelah perlakuan *thermal shock* memiliki penurunan sebanyak 50,43% dan keramik dengan paduan Al_2O_3 10% memiliki penurunan sebanyak 71,29%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan ditambahkan unsur Al_2O_3 dapat mempengaruhi nilai kekuatan setelah dilakukan *thermal shock*.

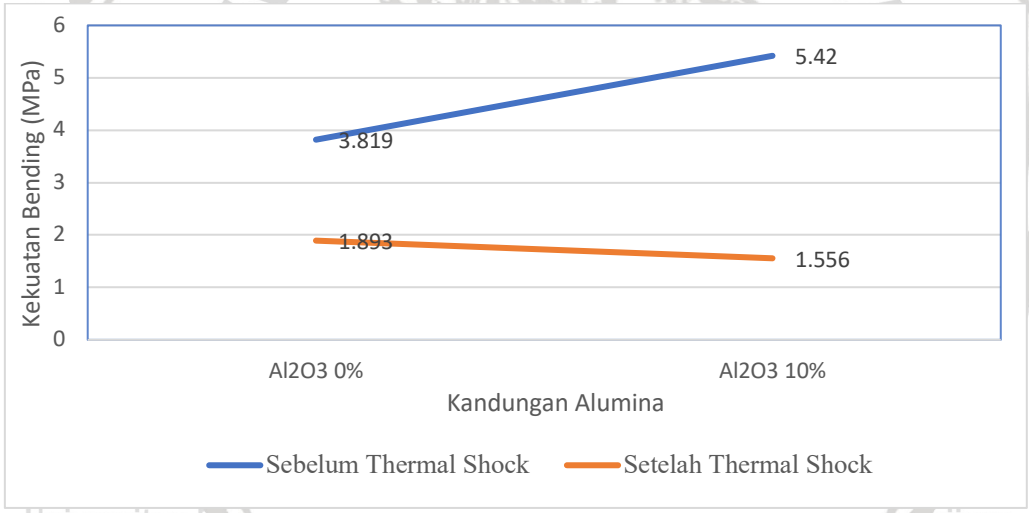
Ketahanan keramik pada perlakuan *thermal shock* dipengaruhi oleh komposisi pada keramik itu sendiri sesuai dengan rumus $R_{TS} = \frac{MOR.k}{E.\alpha}$. Dimana yang dapat mempengaruhi ketahanan suatu material pada perlakuan *thermal shock* adalah kekuatan bendingnya itu sendiri (MOR), nilai konduktivitas termal (k), modulus elastisitas (E) dan koefisien ekspansi termal (α).

Keramik yang ditambah unsur Al_2O_3 memiliki penurunan ketahanan *thermal shock* yang lebih tinggi yaitu sebanyak 71,29% yang artinya keramik dengan penambahan Al_2O_3 memiliki ketahanan *thermal shock* yang kurang baik. Ini juga bisa disebabkan karena adanya porositas yang ditunjukkan pada gambar 4.7 yang bisa menyebabkan menurunnya nilai MOR. Dan juga Al_2O_3 memiliki nilai ekspansi termal yg tergolong tingi sebesar 8 x 10−6/C – 9 x 10−6/ C yang bisa menyebabkan nilai ketahanan pada *thermal shock* menurun.



(a) (b)

Gambar 4.7 Foto SEM Keramik dengan Perbesaran 2500x (a) dengan Paduan Al_2O_3 0% (b) dengan Paduan Al_2O_3 10%



Gambar 4.8 Grafik perbandingan pengaruh penambahan Al_2O_3 terhadap sifat kekuatan keramik

4.6.3 Pengaruh Penambahan Kandungan Alumina terhadap Nilai Konduktivitas Termal

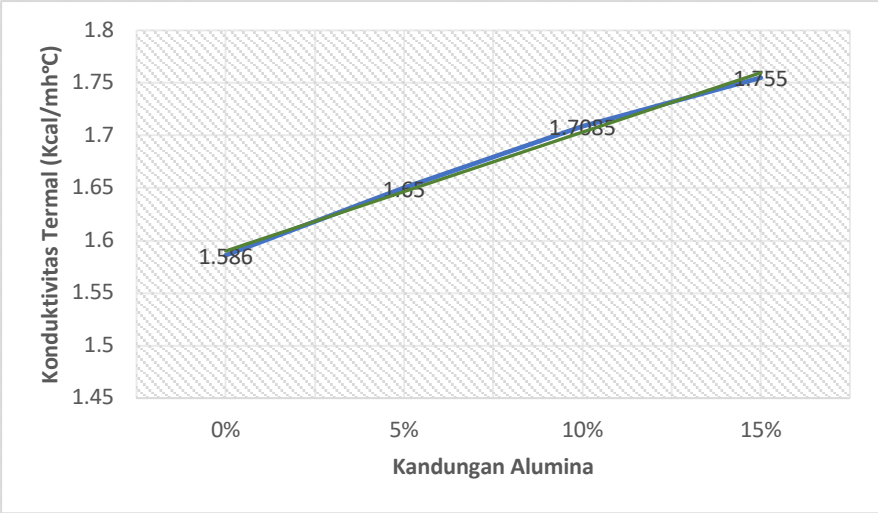
Pengujian konduktivitas termal ini dilakukan menggunakan alat *thermal conductivity apparatus* dan material sebagai pembanding berupa paduan unsur 0%, 5%, 10%, dan 15%. Pengujian ini dilakukan untuk melihat pengaruh dari penambahan kandungan Al_2O_3 terhadap nilai konduktivitas termalnya, dan juga kencendrungannya. Apakah dengan ditambahkannya alumina akan memiliki kencendrungan yg meningkat atau menurun.

Terlihat pada gambar 4.9 bahwa seiring dengan bertambahnya kandungan alumina akan menaikkan nilai konduktivitas termal. Seiring dengan penambahan unsur juga memiliki

kecendrungan yang meningkat, ini sesuai dengan dasar teori yang telah dijelaskan sebelumnya karena memang dengan penambahan alumina ini akan mempercepat perpindahan panas pada keramik.

Terlihat pada gambar 4.9 bahwa keramik dengan kandungan Al_2O_3 sebanyak 15% memiliki nilai yang paling tinggi yaitu 1,755 Kcal/cm h ^oC, dengan nilai terendah ada pada keramik dengan paduan Al_2O_3 0% sebanyak 1,586 Kcal/cm h ^oC, yang kedua adalah keramik dengan paduan Al_2O_3 5% sebanyak 1,65 Kcal/cm h ^oC , dan yang ketiga adalah keramik dengan paduan Al_2O_3 10% senilai 1,7085 Kcal/cm h ^oC. Secara dasar teori dengan bertambah nilai kandungan Al_2O_3 maka akan meningkatkan nilai konduktivitas termalnya, yang mana sesuai dengan hasil data pengujian nilai konduktivitas termal

Meningkatnya nilai konduktivitas ini terjadi karena Al_2O_3 memiliki nilai ekspansi termal yang tinggi yaitu sebesar 8 x $10^{-6}/^oC$ – 9 x $10^{-6}/^oC$ yang bisa menyebabkan seiring dengan bertambahnya konsentrasi Al_2O_3 akan menaikkan nilai konduktivitas termalnya pula. Sifat dari kemampuan Al_2O_3 untuk berinteraksi dengan pengikat juga bisa pengaruh pada nilai konduktivitas termal karena itu berhubungan dengan porositas. Semakin tinggi kandungan Al_2O_3 dengan waktu proses *sintering* yang sama akan menyisakan jumlah Al_2O_3 lebih banyak, hal tersebut yang membuat nilai konduktivitas termalnya meningkat. Dan juga menurut jurnal Supraepdi (2018), keramik dengan paduan Al_2O_3teraktivasi dengan baik saat suhu *tempering* 1400˚C pada konsentasi 5% maupun 10%.



Gambar 4.9 Perbandingan nilai konduktivitas termal terhadap kandungan keramik Al_2O_3 dengan keramik tanpa paduan

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Setelah pengujian *bending* spesimen keramik dengan paduan $Al_2O_3$10% menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan kepada keramik dengan Al_2O_3 0% yaitu sebesar 3,819 MPa pada nilai kekuatan *bending* keramik dengan paduan $Al_2O_3$0% dan keramik dengan paduan Al_2O_3 sebanyak 10% memiliki nilai kekuatan *bending* 5,42 MPa.
2. Spesimen keramik dengan paduan Al_2O_3 10% yang telah dilakukan perlakuan *thermal shock* mengalami penurunan yang lebih tinggi dibandingkan kepada keramik dengan paduan Al_2O_3 0%. Pada keramik dengan paduan Al_2O_3 0% yang diberikan perlakuan *thermal shock* mengalami penurunan sebesar 50,43% sedangkan untuk keramik dengan paduan Al_2O_3 10% mengalami penurunan yang lebih tinggi yaitu 71,29%.
3. Pada uji konduktivitas termal spesimen keramik dengan paduan Al_2O_3 mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kandungan Al_2O_3. Dari Al_2O_3 sebanyak 0% memiliki nilai 1,586 Kcal/mh^{o}C, 5% memiliki nilai 1,65 Kcal/mh^{o}C, 10% memiliki nilai 1,714 Kcal/mh^{o}C, dan 15% memiliki nilai sebesar 1,755 Kcal/mh^{o}C
4. Dengan melihat fenomena penambahan Al_2O_3 pada keramik dapat disimpulkan bahwa keramik ini tidak tepat untuk penggunaan *thermal jacket* karena mengalami penaikan pada nilai konduktivitas termal, artinya material tersebut lebih cepat untuk menghantarkan panas yang tidak sesuai dengan fungsi dari *thermal jacket* itu sendiri yaitu sebagai penginsulasi panas.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya, dapat dihitung suhu sintering yang tepat untuk keramik dengan paduan Al_2O_3
2. Untuk penelitian selanjutnya untuk nilai konduktivitas termal
3. Untuk penelitian selanjutnya, diharuskan untuk mengikuti semua prosedur pengujian yang bertujuan untuk meminimalisir kesalahan data

DAFTAR PUSTAKA

Atkins, P.W. 1999. Kimia Fisika Jilid 1 Edisi ke-4. Diterjemahkan oleh Irma I. Kartohadiprojo. Erlangga: Jakarta.

ASTM Standard C 1161 – 02c. 2002. *Standard Test Method for Flexural Strength of Advance Ceramics at Ambient Temperature*. Philadelphia: ASTM International.

ASTM Standard C 1525 – 02. 2002. *Standard Test Method for Determintaion of Thermal Shock Resistance fot Advanced Ceramic by Water Quenching*. Philadelphia: ASTM International

ASTM Standard E 1225 – 99. 1999. *Standard Test Method for Thermal Conductivity of Solid by Means of the Guarded – Comparative – Longitudinal Heat Flow Techniqued.* Philadelphia: ASTM International.

Barry Carter, M. Grant Norton. 2007. *Ceramics Materials*: *Science and Engineering*

David W. Richerson. 1992. The Magic of Ceramics Second Edition.

Ferdinand P. Beer. 2009. *Mechanics of Materials 6th Edition.*

Hudson, L. K., Misra, C., Perrotta, Anthony J., Wefers, K., and Williams, F. S. 2002. Aluminum Oxide. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH, Weinheim.Vol. 10, pp. 557.

Knozinger, H., Ratnasamy, and Catal, P. 1978. Pulse Electric Current Sintering and Strength of Sintered Alu-mina Using γ-Alumina Powders Prepared by the Sol-Gel Method. Journal of Science Enggenering. Vol. 17.

McColm, I.C. and Clark, N.J. 1988. High-Performance Ceramics. Blackie.

William, Coblenz. 1991. Engineered Materials Handbook, ed. By Samuel. Journal ASM International Handbook Committe, USA. Vol. 4

Jesse P. Angle, Zhaojie Wang, Chris Dames, and Martha L. Mecartney. 2013. Comparison of Two-Phase Thermal Conductivity Models with Experiments on Dilute Ceramic Composites. Journal of Chemical Engineering and Material Science, USA. Volume 8

Nesya Tamalia, Simon Sembiring, dan Wasinton Simanjuntak. 2012. Pengatuh Penambahan Alumina (0 dan 10 wt%) terhadap Karakteristik Termal (DTA-TGA) dan Konduktivitas Termal Bahan Keramik Kordierit Berbasis Silika Sekam Padi. Jurnal Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampug.

F Setiawan, L ArifaniM, A Yulianto, M P Aji. 2017. Analisis Porositas dan Kuat Tekan Campuran Tanah Liat Kaolin dan Kuarsa sebagai Keramik. Jurnal Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang.

W. Sujana, K. A. Widi. 2016 Serbuk Alumina Sebagai Katalis di Dalam Reaktor *Fluidised Bed*. Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional Malang. Volume 7.

Sulistyo. 2018. Dampak Proses Sintering Material KEramik pada Sifat Mekanik dan Dimensi Suatu Produk. Jurnal Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Volume 20.