

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Wibowo (2013), melakukan penelitian tentang pengaruh komposisi tanah liat, kaolin dan kwarsa serta suhu pembakaran terhadap sifat keramik modern. Hasil pengujian pada suhu 1200°C penyusutan bakar terendah dicapai oleh campuran kaolin-kwarsa 10%-20% dengan nilai 4,93%, kekerasan tertinggi oleh tanah liat 100%, adalah 224,21 kg/mm, bending maksimal oleh 20% kaolin – 10% kwarsa dengan nilai 19,13 MPa , dan nilai keausan terendah dicapai oleh campuran 10% kaolin - 20% kwarsa sebesar $9,8 \times 10^{-3}$ mm³/kg.m

Wardhana (2014), meneliti tentang pengaruh penambahan fraksi berat zirconia terhadap sifat fisik dan mekanik komposit aluminium diperkuat zirconia yang diproduksi dengan metalurgi serbuk. Serbuk ZrO₂ sebesar 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, 10%, 12,5% dan 15% wt ditambahkan pada serbuk aluminium halus (dimensi partikel lebih kecil dari 40 um). Setiap komposisi dicampur menggunakan mixer turbula selama 2 jam. Campuran itu ditekan secara uniaksial dengan tekanan 300 Mpa. Kepadatan relatif, kekerasan vickers, dan kekuatan lentur dari AMC diuji. Hasilnya menunjukkan bahwa kekerasan meningkat dengan kadar ZrO₂ hingga 5% wt sedangkan tingkat keausan menurun. Kerapatan relatif dan kekerasan vickers komposit mengandung 5% ZrO₂ masing-masing 89%, 34 VHN.

Abdillah (2015), penelitian lebih fokus membandingkan pengaruh tekanan percetakan pembuatan filter keramik dengan variasi 40 MPa, 45 MPa, dan 50 MPa. Dari penelitian ini diketahui bahwa porositas filter keramik paling besar terdapat pada tekanan percetakan yang paling rendah yaitu 40 MPa sebesar 42%, sedangkan porositas untuk tekanan percetakan 45 MPa dan 50 MPa adalah 40% dan 39%.

2.2 Keramik

Keramik pada awalnya berasal dari Bahasa Yunani, *keramikos* yang artinya suatu bentuk dari tanah liat yang telah mengalami proses pembakaran. Kamus ensiklopedia tahun 1950-an mendefinisikan keramik sebagai suatu hasil seni dan teknologi untuk dapat menghasilkan barang dari tanah liat yang dibakar, seperti gerabah, genteng, poselin dan sebagainya. Tetapi saat ini tidak semua keramik berasal dari tanah liat. Definisi keramik

terbaru adalah mencakup semua bahan bukan logam dan anorganik yang berbentuk padat. Umumnya bahan baku keramik adalah feldspar, *ball clay*, kwarsa, kaolin, silica dan air. Sifat keramik sangat ditentukan oleh struktur kristal, komposisi kimia dan mineral. Oleh karena itu sifat keramik juga tergantung pada lingkungan geologi dimana bahan diperoleh.

Kurangnya beberapa elektron bebas keramik membuat sebagian besar bahan keramik secara kelistrikan bukan merupakan konduktor dan juga menjadi konduktor panas yang kurang. Di samping itu keramik mempunyai sifat rapuh, keras, kaku, keramik juga murah dan tidak sulit ditemukan.

2.2.1 Jenis-jenis Keramik

Jenis-jenis keramik adalah sebagai berikut :

1. Keramik tradisional

Keramik tradisional adalah keramik yang dibuat menggunakan bahan alam, seperti kuarsa, kaolin, feldspar, dll. Proses pembentukannya menggunakan alat sederhana dengan teknik pilin, pijit, dan teknik lempengan dan dibakar suhu dibawah 1200°C. sifat permukaan keramik tradisional cenderung kasar, warna gelap, dan warna kurang baik. Contoh dari keramik tradisional adalah gerabah, ornament rumah, gelas, dll.

2. Keramik modern

Keramik modern atau biasa disebut keramik teknik (*advanced ceramic*) adalah keramik yang dibuat dengan menggunakan campuran oksida-oksida logam atau logam (ZrO_2 , Al_2O_3 , MgO). Proses pembentukan keramik modern dengan menggunakan alat modern, *casting*, *pressing*, dan *injection*) dan dibakar dengan suhu diatas 1200°C. sifat permukaannya halus, warna terang dan mengkilap. Contoh dari keramik modern adalah busi, biokeramik, isolator dan protesha.

2.2.2 Bahan Baku Keramik

Berikut bahan – bahan baku Keramik (Astuti, 1997, p.19) :

1. Kaolin

Kaolin adalah tanah liat putih yang paling penting dalam pembuatan keramik. Sifat dari kaolin adalah :

- Berbutir kasar
- Rapuh dan tidak plastis jika dibandingkan dengan lempung sedimenter
- Warnanya putih karena kandungan oksida besinya paling rendah

2. *Ball clay*

Ball clay adalah bahan keramik tanah liat yang sangat plastis. Di alam ditemukan dalam bentuk bola-bola. *Ball clay* adalah bahan keramik sebagai tanah liat sekunder. Adapun sifat dari *ball clay* adalah :

- Sangat plastis
- Susut bakar dan susut kering yang tinggi
- Warna abu-abu
- Butiran sangat halus

3. *Stoneware clay*

Stoneware clay adalah jenis lempung sedimen, banyak mengandung mineral feldspar yang bergabung dengan tanah plastis. Adapun sifat dari *stoneware clay* adalah sebagai berikut :

- Bersifat plasti
- Mengandung besi oksida dan titan oksida agak tinggi
- Warna mentah abu-abu

4. *Earthenware clay*

Earthenware clay adalah biasanya digunakan dalam pembuatan gerabah atau bata merah. Banyak mengandung oksidasi dan merupakan tanah liat sekunder. Adapun sifat *earthenware clay* adalah :

- Bersifat rapuh dan plastis
- Warna bakarnya kekuningan
- Warna mentahnya merah

5. *Fire clay*

Fire clay adalah bahan baku keramik yang termasuk jenis lempung sekunder. Adapun sifatnya adalah :

- Tahan suhu tinggi
- Sangat plastis atau sama sekali tidak plastis
- Bertekstur kasar.

6. *Bentonite*

Bentonite adalah lempung yang memiliki sifat plastis tinggi dan berasal dari pelapukan batuan vulkanik yang banyak mengandung silica. Adapun sifat dari *bentonite* adalah :

- Memiliki butir yang sangat halus

- Banyak mengandung silica

7. Feldspar

Feldspar adalah bagian terbesar dari batuan beku asam jenis granit atau pegmatite, berwarna putih relative lunak dan dapat memberikan hingga 25% *flux* (pelebur) pada keramik. Jika keramik dibakar, feldspar akan meleleh dan menyebabkan partikel tanah dan bahan lainnya melekat satu sama lainnya. Sifat feldspar adalah :

- Memberikan kekuatan dan kekukuhan pada keramik
- Banyak dipakai pada keramik halus
- Sebagai pengikat

8. Silika

Silika adalah pasir silica yang mengandung 99,5% silica, sisanya terdiri dari *calcium carbonate* atau *chrome*. Silika biasanya tercampur dengan oksida – oksida lain yang disebut sebagai silikat. Kegunaan silika dalam keramik adalah :

- Mengurangi susut kering. Sehingga mengurangi retak – retak ketika pengeringan.
- Mengurangi susut waktu dibakar

Bahan ini dipakai pada keramik halus. Pasir halus dipergunakan untuk membuat masa keramik putih atau glasir.

9. Flint

Flint biasanya disebut juga agat dengan komposisi SiO_2 murni. Adapun sifat dari *flint* adalah :

- Sebagai bahan tambahan untuk membuat keramik
- Untuk mengurangi retak-retak (*cracking*) dengan ditambahkan pada glasir.

10. Alumina

Alumina sebagai bahan keramik jarang digunakan dalam bentuk murni, bauksit adalah salah satu bentuk yang paling murni dari alumina. Alumina tidak akan melebur hingga 2000°C, namun apabila ditambahkan pada silica murni, maka suhu leburnya menjadi 1545°C. adapun sifat dari alumina adalah :

- Sebagai pengontrol dan penyeimbang pelelehan
- Memberikan kekuatan pada glasir maupun pada badan keramik

11. Talc

Talc adalah mineral yang mengandung banyak magnesium. Adapun sifat dari *talc* adalah :

- Banyak dipakai sebagai bahan pengisi (*filler*)

- Mensuplai *flux* dan silica untuk badan keramik



Gambar 2.1 Bahan baku Keramik (a) Kaolin, (b) *Ball Clay*, (c) *Stoneware Clay* (d) *Earthenware Clay*, (e) *Fire Clay*, (f) *Bentonite* (g) Silika (h) Flint (i) Feldspar (j) Alumina (k) *Talc*

Sumber : Astuti (1997, p.21)

2.2.3 Sifat-sifat keramik

Secara umum keramik merupakan paduan antara logam dan non logam, senyawa paduan tersebut memiliki ikatan ionik dan ikatan kovalen. Berikut merupakan sifat-sifat dari keramik:

1. Sifat Mekanik

Keramik merupakan material yang sangat kuat, keras dan juga tahan korosi. Selain itu keramik memiliki kerapatan yang rendah dan juga titik lelehnya yang tinggi. Kelemahan utama keramik adalah kerapuhannya, yakni kecenderungan untuk patah tiba-tiba dengan deformasi plastik yang sedikit. Ini diakibatkan karena kombinasi dari ikatan ion dan kovalen dan partikel-partikelnya tidak mudah bergeser.

Kekuatan tekan penting untuk keramik yang digunakan untuk struktur seperti bangunan. Kekuatan tekan keramik biasanya lebih besar dari kekuatan tariknya. Untuk memperbaiki sifat ini biasanya keramik diberi tekanan awal dalam keadaan tertekan.

2. Sifat Termal

Sifat termal bahan keramik adalah kapasitas panas. Kapasitas panas bahan adalah kemampuan bahan untuk mengabsorpsi panas dari lingkungan. Sebagian besar keramik memiliki titik leleh yang tinggi, artinya walaupun pada temperatur yang tinggi material ini dapat bertahan dari deformasi dan dapat bertahan dibawah tekanan tinggi. Akan tetapi perubahan temperatur yang besar dan tiba-tiba dapat melemahkan keramik. Kontraksi dan ekspansi pada perubahan temperatur tersebutlah yang dapat membuat keramik pecah.

3. Sifat elektrik

Sifat listrik bahan keramik sangat bervariasi. Keramik dikenal sangat baik sebagai isolator. Beberapa isolator keramik (seperti BaTiO_3) dapat dipolarisasi dan digunakan sebagai kapasitor. Keramik lain menghantarkan elektron bila energi ambangnya dicapai, dan oleh karena itu disebut semikonduktor. Elektron valensi dalam keramik tidak berada di pita konduksi, sehingga sebagian besar keramik adalah isolator.

4. Sifat Optik

Bila cahaya mengenai suatu obyek cahaya dapat ditransmisikan, diabsorpsi, atau dipantulkan. Bahan bervariasi dalam kemampuan untuk mentransmisikan cahaya, dan biasanya dideskripsikan sebagai transparan. Material yang transparan, seperti gelas mentransmisikan cahaya dengan difusi, seperti gelas terfrosted disebut bahan translusen. Dua mekanisme penting interaksi cahaya dengan partikel dalam padatan adalah polarisasi elektronik dan transisi elektron antar tingkat energi. Polarisasi adalah

distorsi awan elektron atom oleh medan listrik dari cahaya. Sebagai akibat polarisasi, sebagian energi dikonversikan menjadi deformasi elastik (fonon), dan selanjutnya panas.

5. Sifat kimia

Salah satu sifat khas dari keramik adalah kestabilan kimia. Sifat kimia dari permukaan keramik dapat dimanfaatkan secara positif. Kalau oksida logam dipanaskan pada kira-kira 500 C, permukaannya menjadi bersifat asam atau bersifat basa. Alumina, zeolit, lempung asam atau $S_2O_2 - TiO_2$ demikian juga berbagai oksida biner dipakai sebagai katalis, yang memanfaatkan aksi katalitik dari titik bersifat asam dan basa pada permukaan.

6. Sifat fisik

Sebagian besar keramik adalah ikatan dari karbon, oksigen atau nitrogen dengan material lain seperti logam ringan dan semilogam. Hal ini menyebabkan keramik biasanya memiliki densitas yang kecil. Sebagian keramik yang ringan mungkin dapat sekeras logam yang berat. Keramik yang keras juga tahan terhadap gesekan. Senyawa keramik yang paling keras adalah berlian, diikuti boron nitrida pada urutan kedua dalam bentuk kristal kubusnya. Aluminium oksida dan silikon karbida biasa digunakan untuk memotong, menggiling, menghaluskan dan menghaluskan material-material keras lain.

2.2.3 Proses Pembuatan Keramik Modern

Proses pembuatan keramik modern diantaranya adalah :

1. Pengolahan bahan

Tujuan pengolahan bahan ini adalah untuk mengolah bahan baku dari mentah menjadi keramik plastis yang telah siap pakai. Pengolahan bahan dapat dilakukan dengan metode basah maupun kering. Didalam pengolahan bahan ini ada proses - proses tertentu yang harus dilakukan antara lain pengukuran ukuran butir, penyaringan, pencampuran, pengadukan (*mixing*), dan pengurangan kadar air. Penyaringan dimaksudkan untuk memisahkan material dengan ukuran yang tidak seragam. Ukuran butir biasanya menggunakan ukuran mesh. Ukuran yang lazim digunakan adalah 60 - 120 mesh. Pencampuran dan pengadukan bertujuan untuk mendapatkan campuran bahan yang homogen/seragam. Pengadukan dapat dilakukan dengan cara manual maupun masinal dengan *blunger* maupun *mixer*.

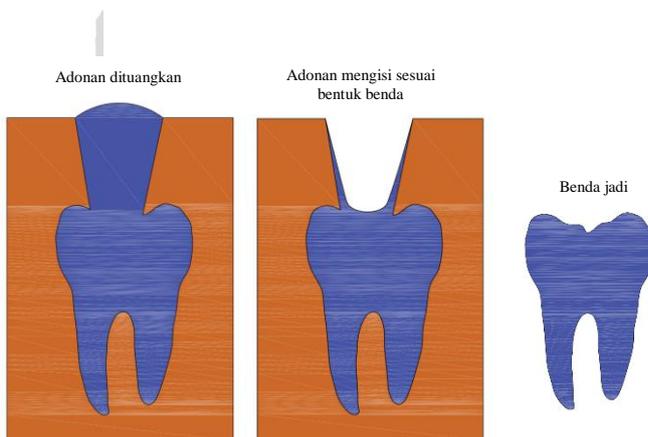
Pengurangan kadar air dilakukan pada proses basah, dimana hasil campuran bahan yang berwujud lumpur dilakukan proses lanjutan, yaitu pengentalan untuk mengurangi jumlah air yang terkandung sehingga menjadi badan keramik plastis. Proses ini dapat dilakukan dengan diangin - anginkan diatas meja gips atau dilakukan dengan alat *filterpress*. Pengulian dimaksudkan untuk menghomogenkan massa badan tanah liat dan membebaskan gelembung - gelembung udara yang mungkin terjebak.

2. Pembentukan

Proses pembentukan ini diantaranya adalah *slip casting* dan *pressure casting*. Setelah dibentuk, keramik kemudian dipanaskan dengan proses yang dikenal dengan nama densifikasi (*densification*) agar material yang terbentuk lebih kuat dan padat.

(a) Slip Casting

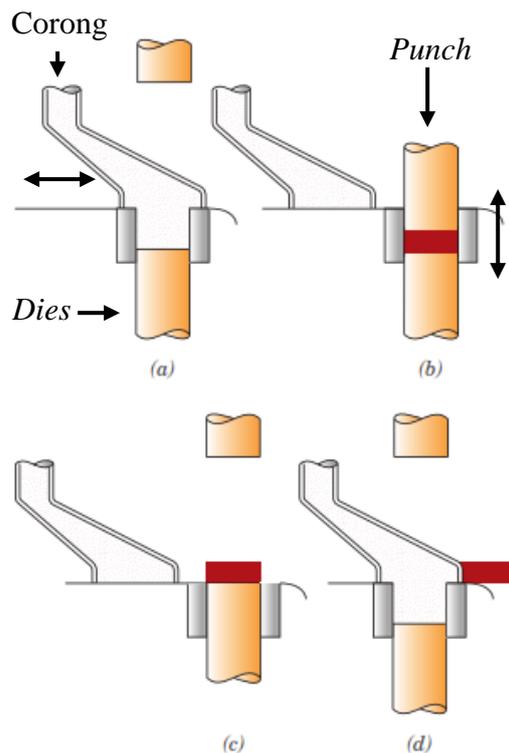
Slip casting adalah proses untuk membuat keramik yang bentuknya rumit. Proses ini menggunakan cetakan dengan dinding yang berlubang-lubang kecil dan memanfaatkan daya kapilaritas air.



Gambar 2.2 Slip Casting

(b) Pressure Casting

Pada proses ini, bubuk keramik dituangkan pada cetakan dan diberi tekanan. Tekanan tersebut membuat bubuk keramik menjadi lapisan solid keramik yang berbentuk seperti cetakan.



Gambar 2.3 Pressure Casting (a) Gerakan mengisi, (b) gerakan menekan, (c) gerakan mengeluarkan (d) gerakan menggeser
 Sumber : Callister (2007, p.482)

- (a) Proses mengisi bahan adonan. *Punch* masih diatas kemudian serbuk/adonan dimasukkan dalam cetakan melewati corong yang melengkung.
- (b) Gerakan menekan. Setelah serbuk/adonan dimasukkan, kemudian corong bergeser ke kiri dan *punch* akan turun kebawah menekan serbuk/adonan.
- (c) Gerakan pengeluaran. Setelah ditekan kemudian *punch* diangkat ke atas dan *dies* juga mendorong adonan yang telah dicetak ke atas.
- (d) Gerakkan menggeser. Setelah spesimen sampai dipermukaan, corong untuk memasukkan adonan bergeser ke kanan dan mendorong hasil spesimen ke kanan lalu adonan kembali di masukkan lewat corong tersebut.

3. Pengeringan

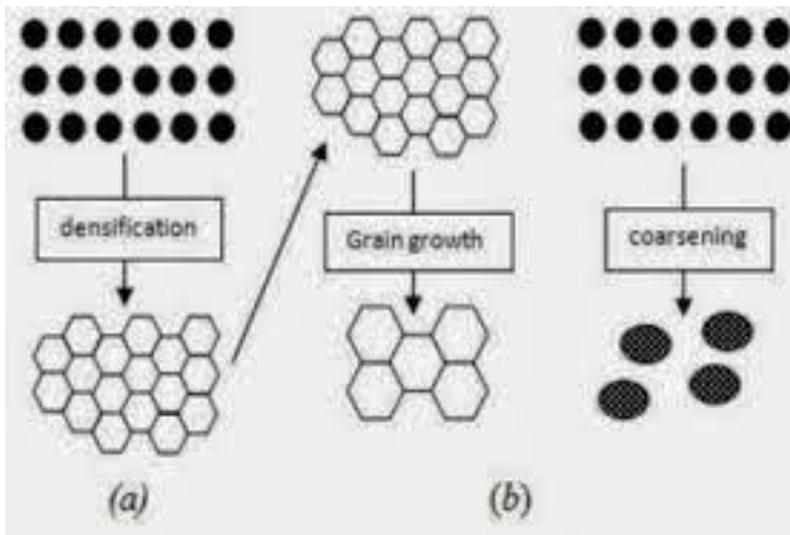
Setelah keramik selesai dibentuk atau dipadatkan, selanjutnya adalah tahap pengeringan. Tujuan utama dari pengeringan adalah untuk menghilangkan air plastis yang terikat pada badan keramik. Ketika badan keramik plastis dikeringkan akan terjadi 3 proses penting:

- Air pada lapisan antar partikel pada lempung mendifusi ke permukaan kemudian menguap sampai akhirnya partikel - partikel saling bersentuhan dan penyusutan berhenti.
- Air dalam pori hilang tanpa terjadi susut.
- Air yang terserap pada permukaan partikel hilang.

Tahap-tahap ini menerangkan mengapa harus dilakukan proses pengeringan secara lambat untuk menghindari retak/*cracking* terlebih pada tahap pertama. Proses yang terlalu cepat akan mengakibatkan keretakan dikarenakan hilangnya air secara tiba - tiba tanpa diimbangi penataan partikel tanah liat secara sempurna, yang mengakibatkan penyusutan mendadak. Untuk menghindari pengeringan yang terlalu cepat, pada tahap awal benda keramik diangin - anginkan pada suhu kamar. Setelah tidak terjadi penyusutan, pengeringan dengan sinar matahari langsung atau mesin pengering dapat dilakukan.

4. Densifikasi

Proses densifikasi menggunakan panas yang tinggi untuk menjadikan sebuah keramik menjadi produk yang keras dan padat. Setelah dibentuk, keramik dipanaskan pada tungku (*furnace*) dengan temperatur antara 1200°C sampai 1700°C. Pada proses pemanasan, partikel-partikel bubuk menyatu dan memadat. Proses pemadatan ini menyebabkan objek keramik menyusut hingga 20% dari ukuran aslinya. Tujuan dari proses pemanasan ini adalah untuk memaksimalkan kekerasan keramik dengan mendapatkan struktur internal yang tersusun rapi dan sangat padat.



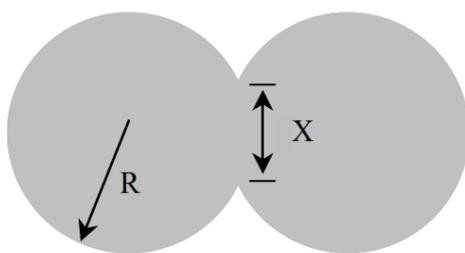
Gambar 2.4 Proses Densifikasi
 Sumber : Callister (2007, p.487)

2.3 Kekerasan

Kekerasan adalah ketahanan suatu material terhadap tusukan, goresan dan pantulan. Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengukur ketahanan dari suatu material terhadap deformasi plastis. Deformasi plastis adalah keadaan suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut tidak bisa kembali ke bentuk semula.

2.3.1 Mekanisme Kekerasan pada Keramik

Proses pembuatan keramik diawali dengan pembentukan/pencetakan bahan dasar tanah liat dan air. Dalam tanah liat tersebut terjadi kontak antara satu partikel dengan partikel lainnya. Selanjutnya pengeringan dilakukan untuk membuang air sehingga hanya tersisa material anorganik kering berupa partikel-partikel clay yang terikat lemah satu sama lainnya. Proses berikutnya adalah pembakaran atau *sintering*. Dalam proses ini, partikel-partikel yang semula terikat lemah karena hanya melakukan kontak lemah satu sama lain, mulai memperluas permukaan kontak akibat difusi atom. Kontak tersebut tumbuh menjadi leher (*neck*), yang ukurannya bergantung pada lama pemanasan, suhu pemanasan, dan jenis proses difusi yang terjadi. Makin lama waktu pemanasan maka ukuran leher makin besar sehingga ikatan antar partikel makin kuat. Proses pembentukan ukuran kontak dipicu oleh difusi permukaan, difusi kisi, dan difusi *grain boundary*. Gambar 2.5 adalah ilustrasi pertumbuhan luas permukaan kontak antar partikel ketika dilakukan pembakaran.



Gambar 2.5 Ilustrasi pertumbuhan leher pada posisi kontak antara dua partikel
Sumber : Abdullah (2009)

Ketika material yang disusun oleh partikel-partikel tersebut dibakar maka luas permukaan kontak partikel tumbuh, namun ruang kosong antar partikel tetap ada, meskipun bentuknya berubah. Tidak mungkin menghilangkan ruang kosong kecuali terjadi penyusutan volum total material atau perubahan jarak antar atom (makin besar). Dengan demikian, dalam keramik yang sedang dibakar, ruang kosong didalamnya tetap ada.

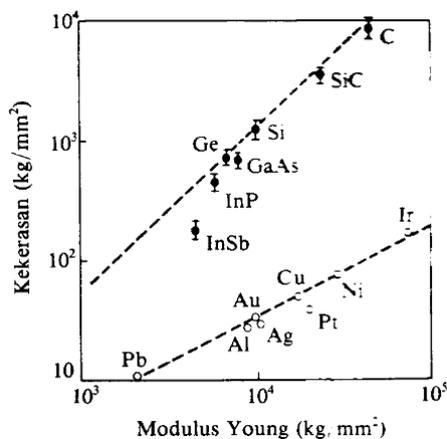
2.3.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kekerasan pada Keramik

Fasa keramik keras karena biasanya tidak dapat mengalami deformasi plastik. Kekerasan pada keramik dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut.

a. Struktur keramik

Sifat keramik yang umumnya keras dapat dikaitkan secara langsung dengan strukturnya. Keramik mempunyai struktur kristalin. Struktur keramik tidak banyak elektron bebasnya. Elektron-elektron itu dibagi dengan atom-atom yang berdekatan dalam ikatan kovalen atau berpindah dari atom yang satu ke atom lainnya membentuk ikatan ion. Ikatan ion menyebabkan bahwa bahan keramik mempunyai stabilitas yang relatif tinggi. Hal tersebut yang menyebabkan keramik lebih keras dan tahan terhadap perubahan-perubahan kimia.

Terdapat hubungan tertentu antara kekerasan dan modulus Young yang secara eksperimen diketahui dipengaruhi oleh jenis dan ikatan kristal. Seperti ditunjukkan dalam gambar 2.6.



Gambar 2.6 Hubungan antara kekerasan dan modulus Young bagi logam fcc dan kristal kovalen (struktur intan)

Sumber : Surdia (1999,p.307)

b. Proses Sintering

Pada saat proses *sintering* (pemanasan) lama waktu dan suhu pemanasan sangat berpengaruh pada kekerasan yang dihasilkan. Semakin lama waktu pemanasan maka ukuran leher makin besar sehingga ikatan antar partikel makin kuat pada keramik modern suhu *sintering* adalah diatas 1200°C (Abdullah,2009).

2.3.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi. (Surdia, 1999,p.31)

Pengujian kekerasan dibedakan menjadi 3 macam metode, yaitu :

a. Metode Goresan

Metode Goresan yaitu dengan cara menggosokkan material dengan mineral yang telah diketahui kekerasannya. Adapun mineral yang telah diketahui kekerasannya digunakan sebagai standar dan diberikan dalam suatu skala yang dikenal dengan Skala Mohs, dari skala 1 untuk mineral terluak (*talc*) sampai skala tertinggi 10 untuk mineral intan. Prinsip metode ini adalah dengan menggosokkan berbagai material yang mana sebuah material tidak dapat menggosok material dengan skala Mohs di atasnya.

Tabel 2.1
Skala Mohs

<i>Mohs' scale</i>		<i>Extension of Mohs' scale</i>	
<i>Hardness no.</i>	<i>Reference mineral</i>	<i>Hardness no.</i>	<i>Reference mineral</i>
1	<i>Talc</i>	1	<i>Talc</i>
2	<i>Gypsum</i>	2	<i>Gypsum</i>
3	<i>Calcite</i>	3	<i>Calcite</i>
4	<i>Fluorite</i>	4	<i>Fluorite</i>
5	<i>Apatite</i>	5	<i>Apatite</i>
6	<i>Feldspar (orthoclase)</i>	6	<i>Orthoclase</i>
		7	<i>Vitreous pure silica</i>
7	<i>Quartz</i>	8	<i>Quartz</i>
8	<i>Topaz</i>	9	<i>Topaz</i>
		10	<i>Garnet</i>
		11	<i>Fused zirconia</i>
9	<i>Sapphire or corundum</i>	12	<i>Fused alumina</i>
		13	<i>Silicon carbide</i>
		14	<i>Boron carbide</i>
10	<i>Diamond</i>	15	<i>Diamond</i>

Sumber : E. Davis (1984)

b. Metode Dinamik

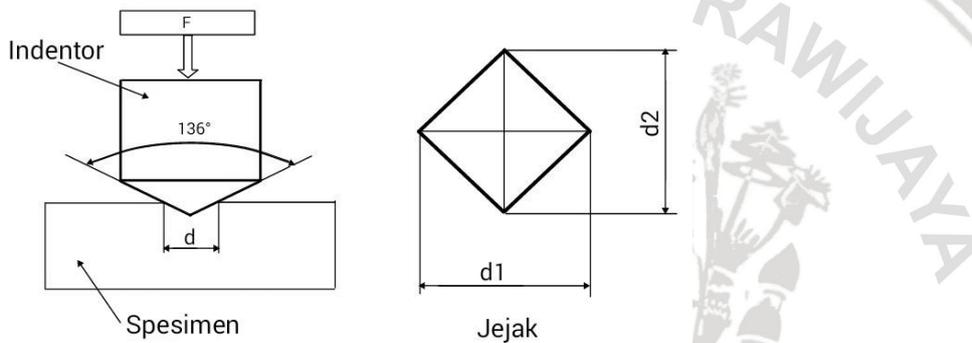
Metode dinamik yaitu dengan menjatuhkan indentor keatas permukaan logam dari suatu ketinggian tertentu, kekerasan dinyatakan sebagai gaya/energi impak. Pengujian ini menggunakan alat bernama *Shore Scleroscope*.

c. Metode Indentasi

Metode indentasi adalah dengan cara mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya tekanan yang diberikan oleh indenter dengan memperhatikan besar beban yang diberikan dan besar indentasi.

1. Metode Vickers

Metode pengujian kekerasan Vickers dilaksanakan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan indenter intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat dan besar sudut dari permukaan-permukaan yang berhadapan 136° . Penekanan oleh indenter akan menghasilkan suatu jejak atau lekukan pada permukaan benda uji. Sesuai ASTM C1327-15 pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan beban 1 kg dan waktu penetrasi selama 15 detik.



Gambar 2.7 Jejak yang dihasilkan oleh penekanan indenter pada benda uji

$$HV = 1.854 \frac{F}{d^2} \dots\dots\dots(2-1)$$

Keterangan :

HV = Hardness Vickers (VHN)

F = Beban yang diberikan (Kgf)

d = panjang diagonal rata-rata hasil indentasi (mm)

2. Metode Brinell

Metode uji kekerasan yang diajukan oleh J.A Brinell pada tahun 1900an ini merupakan uji kekerasan lekukan yang pertama kali banyak digunakan dan disusun pembakuannya (Dieter, 1987). Indenter untuk brinell adalah berbentuk bola dengan diameter 10mm, diameter 5mm, diameter 2,5mm dan diameter 1mm. rumus untuk menghitung pengujian kekerasan dengan metode brinell ini adalah :

$$\text{BHN} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots \dots \dots (2-2)$$

Keterangan :

BHN = *Brinell Hardness Number*

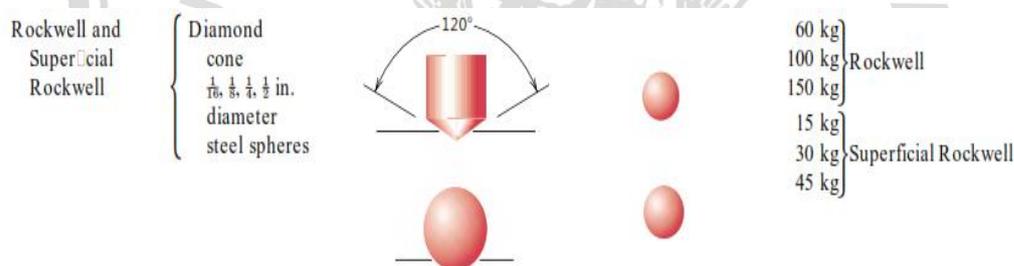
P = Beban yang diberikan (kgf)

D = Diameter indenter (mm)

d = Diameter lekukan rata – rata hasil indentasi

3. Metode Rockwell

Pengujian Rockwell menggunakan indenter bola baja berdiameter standar (diameter 10mm, diameter 5mm, diameter 2,5mm, dan diameter 1mm) dan indenter kerucut intan. Pengujian ini tidak membutuhkan keahlian khusus karena hasil pengukuran dapat terbaca langsung. Pengujian ini menggunakan 2 beban, yaitu beban minor/minor load (F0) = 10kgf dan beban mayor/mayor load (F1) = 60 kgf sampai dengan 150kgf tergantung material yang akan diuji dan terantung menu Rockwell yang dipilih.



Gambar 2.8 Rockwell test

Sumber : Callister (2007,p.178)

2.4 Porositas

Porositas adalah perbandingan volume rongga pori-pori terhadap volume total dari suatu material keramik. Porositas dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu *open pore*, *closed pore*, dan *interconnected pore*.

Open pore adalah pori yang terdapat di permukaan keramik akibat *imperfect packing* dan gas yang keluar saat keramik dikeringkan dan dibakar. *Closed pore* adalah pori yang terdapat di dalam keramik akibat gas yang terperangkap dan tidak dapat keluar. Sedangkan *interconnected pore* merupakan saluran yang menghubungkan satu *open pore* dan *open pore* yang lain.

Porositas memberikan efek yang signifikan terhadap sifat keramik yang dihasilkan seperti densitas, konduktivitas termal, dan *crack resistance*. Semakin sedikit porositas, densitas dan konduktivitas termal akan semakin tinggi, Modul Laboratorium Metalurgi dan Teknik Material ITB (2016).

Porositas pada gigi akan mengakibatkan cairan masuk kedalam gigi yang menyebabkan gigi keropos dan mengurangi kekuatan atau kekerasan gigi tersebut dan akan mengalami patah jika mengunyah makanan yang keras.

2.4.1 Pengujian Porositas

Untuk mencari persentase dari porositas yang terdapat dalam suatu material digunakan perbandingan antara jumlah volume ruang kosong (rongga pori) yang dimiliki oleh zat padat terhadap jumlah dari volume zat padat itu sendiri. Pengujian porositas pada penelitian ini dilakukan dengan merendam specimen dalam air selama 10 menit. Tujuan dari perendaman ini agar air masuk ke dalam pori-pori specimen dan menempati rongga yang terdapat di specimen. Waktu 10 menit dipilih untuk memberikan kesempatan air memasuki keseluruhan rongga yang terdapat pada specimen. Biasanya laju air masuk pada rongga ini cepat di awal (terlihat dengan banyaknya gelembung yang muncul) dan kemudian melambat karena rongga telah terisi oleh air. Hal itu terlihat dari menghilangnya gelembung pada specimen yang direndam. Nilai porositas specimen didapatkan dengan encari selisih berat sbelum specimen dicelup dalam air (Wardhana, 2018) :

$$\% \text{ Porositas} = \left(\frac{W_{\text{air}} - W_{\text{udara}}}{W_{\text{udara}}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(2-1)$$

Keterangan :

W_{udara} = berat di udara sebelum dicelup (g)

W_{air} = berat setelah dicelup (g)

2.5 SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk menyelidiki permukaan dari objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10 – 3000000x, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM

banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri. Adapun fungsi utama dari SEM antara lain dapat digunakan untuk mengetahui informasi-informasi mengenai:

- Topografi, yaitu ciri-ciri permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya, dan sebagainya).
- Morfologi, yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek (kekuatan, cacat pada *Integrated Circuit (IC)* dan *chip*, dan sebagainya).
- Komposisi, yaitu data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek (titik lebur, kereaktifan, kekerasan, dan sebagainya).
- Informasi kristalografi, yaitu informasi mengenai bagaimana susunan dari butir-butir di dalam objek yang diamati (konduktifitas, sifat elektrik, kekuatan, dan sebagainya).

Prinsip kerja SEM yaitu bermula dari *electron beam* yang dihasilkan oleh sebuah filamen pada *electron gun*. Pada umumnya *electron gun* yang digunakan adalah *tungsten hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan *tungsten* yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan diberikan kepada lilitan yang mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda.

2.6 Bahan Baku Tambahan (Zirkon Silikat)

Zirkon (Zr) juga merupakan salah satu bahan keramik yang memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan beberapa jenis keramik lainnya, diantara keunggulannya tersebut adalah mempunyai ketangguhan dan *strength* yang relatif tinggi. Dibalik keunggulannya tersebut, zirkon juga mempunyai beberapa kelemahan yang antara lain adalah dimana bentuk kristalnya sangat tidak stabil, dalam arti kata bahwa zirkon di alam hampir tidak pernah dijumpai dalam bentuk senyawa tunggal (ZrO_2), tetapi selalu bercampur dengan senyawa lain. Seperti misalnya di alam pada umumnya dijumpai dalam bentuk senyawa Zirkon Silikat ($ZrSiO_4$) yang biasa disebut sebagai pasir Zirkon, sehingga bila ingin mendapatkan senyawa Zirkon murni maka perlu dimurnikan atau distabilkan terlebih dahulu.



Gambar 2.9 Zirkon silikat

Berikut adalah sifat fisik zircon silikat yang tercantum dalam tabel 2.2

Tabel 2.2
Physical Properties of Zr Silicates

Property	ZrSiO ₄	Complex silicates
Melting point (°C)	2100-2300 (Zr sand)	Na ₂ ZrSi ₂ O ₇ , 1470 Rb ₂ ZrSi ₂ O ₇ , >1350
Transition temperature (°C)	-	NaHZrSiO ₅ , 300 Na ₂ ZrSi ₂ O ₇ , 1120 Na ₂ Zr ₂ Si ₂ O ₉ , 850
Heat capacity (J deg ⁻¹ mole ⁻¹)	4.1868*[31.48+(3.92x10 ⁻³)T -(8.08x10 ⁻⁵)T ²] (at 25-1500°C)	
Specific gravity	4.7 (α ²) 3.9 – 4 (γ ²)	Rb ₂ ZrSi ₂ O ₇ , 3.84
Resistivity (ohm.cm)	9.9x10 ¹³ (at 200°C) 2.2x10 ¹⁰ (at 450°C)	
Dielectric constant	12 (at 17-22°C) 8.51 (at 450°C)	
Zr-O bond length (Å)	2.15, 2.29	
Hardness (Mohs)	7.0 – 7.5 (Zr sand)	
Coefficient of linear expansion (cm/cm.°C)	7.2x10 ⁻⁶ (Zr sand at 93.3-1093.3°C)	

Sumber : Tingley (2015,p.29)

2.6 Pengujian Invitro

Pengujian in vitro adalah pengujian yang dilakukan diluar organisme hidup, tetapi prosedur perlakuannya dalam kondisi lingkungan terkontrol. Sedangkan yang dimaksud lingkungan terkontrol dalam penelitian ini adalah kondisi dalam rongga mulut.

Dalam rongga mulut, terdapat kelenjar saliva. Kelenjar saliva adalah cairan kental yang diproduksi oleh kelenjar ludah. Volume saliva yang diekskresikan selama 24 jam diperkirakan 500-600 ml. Derajat keasaman (pH) saliva berkisar antara 6,2-7,6 dengan rata-rata 6,7. Sedangkan untuk suhu didalam rongga mulut adalah sekitar 37°C, Amerongen (1991).

Dengan demikian, pengujian in vitro yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan kondisi lingkungan menggunakan larutan asam 500-600 ml, dengan derajat keasaman (pH) 6,7 serta suhu dipertahankan sekitar 37 °C.

A. Komposisi Saliva

Saliva terdiri dari 99,05% air dan 0,5% substansi yang larut. Beberapa komposisi saliva adalah :

1. Protein

Beberapa jenis protein yang terdapat didalam saliva adalah :

a) Mucoïd

Merupakan sekelompok protein yang sering disebut dengan mucin dan memberikan konsistensi mukus pada saliva. Mucin juga berperan sebagai glikoprotein karena terdiri dari rangkaian protein yang panjang dengan ikatan rantai karbohidrat yang lebih pendek.

b) Enzim

Enzim yang ada pada saliva dihasilkan oleh kelenjar saliva dan beberapa diantaranya merupakan produk dari bakteri dan leukosit yang ada pada rongga mulut. Beberapa enzim yang terdapat dalam saliva adalah amylase dan lysozyme yang berperan dalam mengontrol pertumbuhan bakteri di rongga mulut.

c) Protein Serum

Saliva dibentuk dari serum maka sejumlah serum protein yang kecil ditemukan didalam saliva. *Albumin* dan *globulin* termasuk kedalam serum saliva.

d) Waste Products

Pada saliva juga ditemukan sebagian kecil dari waste product pada serum, urea dan uric acid.

2. Ion-ion Inorganik

Ion-ion utama yang ditemukan dalam saliva adalah kalsium dan fosfat yang berperan penting dalam pembentukan kalkulus. Ion-ion yang memiliki jumlah yang lebih kecil terdiri dari sodium, potasium, klorida, sulfat dan ion-ion lainnya.

3. Gas

Pada saat pertama kali saliva dibentuk, saliva mengandung gas oksigen yang larut, nitrogen dan karbon dioksida dengan jumlah yang sama dengan serum. Ini memperlihatkan bahwa konsentrasi karbon dioksida cukup tinggi dan hanya dapat dipertahankan pada larutan yang memiliki tekanan didalam kelenjar duktus, tetapi pada saat saliva mencapai rongga mulut banyak karbon dioksida yang lepas.

4. Zat-Zat Aditif di Rongga Mulut

Merupakan berbagai substansi yang tidak ada didalam saliva pada saat saliva mengalir dari dalam duktus, akan tetapi menjadi bercampur dengan saliva didalam rongga mulut. Yang termasuk kedalam zat-zat aditif yaitu mikroorganisme, leukosit dan *dietary substance*.

Dengan demikian, pengujian *in vitro* yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan kondisi lingkungan menggunakan air 99,5% air dari 1-1,5 liter dan 0,5% substansi yang larut disini adalah kalsium dan potasium, dengan derajat keasaman (pH) 6,7 serta suhu dipertahankan sekitar 37 °C atau suhu ruangan.

2.7 Pembuatan Gigi Palsu

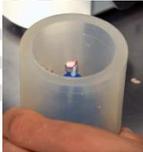
Dalam bidang kedokteran gigi, tujuan utama dari perawatan pasien adalah untuk mempertahankan atau meningkatkan mutu kehidupan pasien. Tujuan ini dapat dicapai dengan cara mencegah penyakit semakin berkembang, menghilangkan rasa sakit, memperbaiki efisiensi pengunyahan, meningkatkan pengucapan, dan juga memperbaiki estetika wajah. Yang disebabkan karena gigi pecah, keropos, dan terjadi ekspansi. Untuk menangani kasus kehilangan gigi pasien, di bidang kedokteran gigi ditemukan restorasi/ gigi palsu (*protesa*) yang digunakan untuk menggantikan gigi yang hilang dengan gigi tiruan. Semakin berkembangnya jaman, kualitas dari bahan yang digunakan untuk membuat gigi tiruan semakin menyita perhatian dari dokter gigi dan pekerja laboratorium gigi agar gigi tiruan yang digunakan dapat bertahan lama bahkan sampai puluhan tahun. Agar gigi tiruan bertahan lama gigi tersebut harus memiliki sifat kekerasan, kekuatan, ketahanan aus yang tinggi dan permukaan yang halus. Bahan tersebut adalah *dental porcelain* atau yang biasa disebut *dental ceramic*. Salah satu bentuk kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan dalam bidang kedokteran gigi adalah penggunaan zirconia / non logam dalam bahan pembuatan restorasi. Kriteria gigi tiruan yang baik adalah :

1. Faktor kenyamanan yang hampir menyerupai gigi asli.
2. Tahan lama di rongga mulut.

3. Stabilitas yang baik dalam proses pengunyahan.
4. Mampu menjaga kesehatan tulang rahang.
5. Warna gigi putih.

Perbandingan proses pembuatan gigi palsu di Abadi Dental Laboratory dengan pada penelitian ini tersaji pada tabel 2.3.

Tabel 2.3
Perbandingan Pembuatan Gigi Palsu

Proses	Gambar	Abadi Dental Laboratory	Gambar	Penelitian
Pembuatan Malam		Pembuatan malam bisa banyak		Pembuatan malam terbatas
Pembuatan Mold		Satu mold bisa untuk 4 gigi		Satu mold terbatas hanya 1 gigi karena riser lebih besar
Bahan		Akrilik atau Porcelain		Serbuk keramik aditif zirkon
Pressure		Hot Press		Mekanik menggunakan Hydraulic Press
Pembakaran		Sekaligus bersamaan dengan hot press		Pada tungku pembakaran setelah dilakukan press
Hasil		Rapi dan halus		Tidak rapi dan kasar

2.9 Hipotesis

Berdasarkan latar belakang dan tinjauan pustaka diatas maka hipotesis yang dapat di simpulkan adalah penambahan zirkon pada pembuatan keramik yang semakin banyak akan menyebabkan kekerasan meningkat, karena dipengaruhi oleh komponen bahan yang lebih keras (ZrO_2). Semakin besar penekanan maka nilai kekerasan akan meningkat sedangkan porositas akan cenderung menurun karena semakin besar penekanan maka partikel akan semakin padat dan mengisi antar rongga butir.

