

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Kristasari (2016), melakukan penelitian tentang studi eksperimental laju keausan material gigi tiruan dari resin akrilik berpenguat *fiberglass* dengan variasi susunan serat penguat. Hasil dari penelitian ini adalah laju keausan terbesar sebesar $0.0126 \text{ mm}^3/\text{Nm}$ yang terdapat pada material resin akrilik tanpa penguat serat dan nilai laju keausan yang terkecil yaitu pada material resin akrilik berpenguat 7% sebesar $0,0006 \text{ mm}^3/\text{Nm}$.

Subarmono (2011), Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan bahan *Zirconia* (ZrO_2) sebagai penguat komposit *Aluminium Matrix Composite* (AMC). Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekerasan meningkat seiring dengan peningkatan fraksi berat ZrO_2 sampai 5% sementara laju keausan turun.

Widianingrum (2012), Studi eksperimental laju keausan (*specific wear rate*) resin akrilik dengan penambahan serat penguat pada dental prosthesis. Hasil penelitian didapatkan laju keausan cenderung mengalami penurunan seiring dengan semakin banyaknya fraksi volume serat. Dari hasil foto mikro diketahui mekanisme keausan yang dominan adalah mekanisme *abrasive* dan *adhesive*.

Harsono (2002), melakukan penelitian tentang “Pengaruh komposisi bahan dasar pembuatan keramik terhadap sifat fisik keramik”. Hasil penelitian ini menjelaskan bahwa dengan semakin besar komposisi bahan plastis (clay) maka susut volume akan semakin besar. Penyusutan volume yang terjadi pada badan keramik disebabkan oleh air yang menyelimuti butir-butir lempung (clay) secara berangsur-angsur menyingkir dan kondisi ini memungkinkan butir-butir lempung mendekat satu sama dengan yang lainnya (memadat).

2.2 Keramik

Keramik merupakan gabungan bahan anorganik yang dibakar pada suhu tinggi sehingga terjadi grasisasi dan bersifat permanen. Keramik sebagai suatu hasil seni dan *sains* (ilmu) untuk dapat menghasilkan barang dari tanah liat yang dibakar, seperti gerabah, genteng, porselin dan sebagainya. Saat ini tidak semua keramik berbahan dari tanah liat, akan tetapi ada keramik dari bahan logam yaitu (Al_2O_3 , ZrO_2 , MgO , dll). Umumnya

bahan baku keramik adalah felspar, *ball clay*, kwarsa, kaolin, 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. Secara umum strukturnya sangat rumit dengan sedikit elektron - elektron bebas, Astuti (1997).

2.2.1 Jenis-Jenis Keramik

1. Keramik Tradisional

Keramik tradisional adalah keramik yang dibuat dengan menggunakan bahan alam, seperti kuarsa, kaolin, feldspar, dan lain-lain. Pembuatan keramik tradisional menggunakan alat-alat sederhana dan pembentukan keramik biasa dilakukan dengan tangan langsung seperti teknik pijat, teknik pilin dan teknik lempengan. Sifat permukaan keramik tradisional kurang mengkilap, terkadang warnanya kurang sesuai dengan keinginan konsumen, sedikit kasar. Contoh keramik ini adalah: barang pecah belah (*dinnerware*) contoh: piring, gelas dan lain-lain, keperluan rumah tangga (*tile, bricks*) contohnya genteng, batu-bata). Keramik tradisional terdiri dari tanah liat, flint, dan feldspar tahan sampai dengan suhu 1200°C, Zainal (2010).

2. Keramik Rekayasa

Keramik rekayasa, atau biasa disebut keramik modern dan keramik teknik, adalah keramik yang dibuat dengan menggunakan oksida-oksida logam atau logam, seperti: oksida logam (Al_2O_3 , ZrO_2 , MgO). Keramik modern yang terbuat dari oksida logam antara lain (Al_2O_3 , ZrO_2 , MgO , TiO_2 , BaTiO_2) sedangkan keramik yang bukan oksida antara lain (Si_3N_4 , TiN , SiC , B_4C). Proses pembentukan keramik modern memakai penekanan, *slip casting* dan lain-lain, permukaan keramik modern terlihat lebih mengkilap dibandingkan keramik tradisional, dari segi warna lebih baik dan cenderung halus. Penggunaannya pada elemen pemanas, semikonduktor, komponen turbin, bidang medis, konstruksi bangunan, dan industri nuklir. Suhu sintering pada pembuatan keramik modern berkisar 1200°C – 2000 °C, Zainal (2010).

2.2.2 Bahan Baku Keramik

Bahan baku keramik adalah bahan senyawa mineral anorganik non-logam kristalis padat yang terbentuk melalui proses geologi yang sangat komplek. Sifat keramik sangat bervariasi tergantung oleh struktur dan komposisi kimia senyawa mineral bahan penyusun keramik tersebut.

a. Kaolin

Kaolin merupakan tanah liat yang mengandung mineral *kaolinite* sebagai bagian yang terbesar, dan termasuk jenis tanah liat primer. Sifat dan keadaan bahan:

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

Garis besar deretan reaksi atau perubahan fasa kaolin yang dipanaskan adalah sebagai berikut:

1. Tahap Pertama

Sekitar 500°C yaitu reaksi endotermis yang sehubungan dengan hilangnya struktur air atau dehidrasi kaolinit dan pembentukan metakaolin, $2\text{Al}_2\text{O}_3, 4\text{SiO}_2$.

2. Tahap Kedua

Sekitar 950°C yakni reaksi eksotermis, sehubungan dengan pengkristalan yang cepat fasa bentuk jarum (*spinel*), disebut $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, dinyatakan dengan $2\text{Al}_2\text{O}_3, 3\text{SiO}_2$.

3. Tahap Ketiga

Sekitar 1050 – 1100°C, sehubungan dengan reaksi eksotermis kedua dimana struktur bentuk jarum berubah menjadi fasa mullit dan selanjutnya muncul kristobalit. Jika pemanasan diteruskan akhirnya mullit akan mengkristal dengan baik dengan komposisinya $3\text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{SiO}_2$. Karena kaolin kurang plastis, penyusutan dan kekuatan keringnya lebih rendah dan sangat tahan api, maka dari itu dalam pemakaian sebagai bahan keramik harus dicampur dengan bahan lain. *Ball clay* ditambahkan untuk meningkatkan keplastisan dan bahan pelebur ditambahkan untuk “ketahanan api”. Karena tahan panas kaolin sangat tinggi, maka titik lelehnya sampai 1800°C.

Dalam kehidupan sehari-hari, bahan kaolin dimanfaatkan dalam:

- Keramik halus (gerabah putih atau *white-earthenware*) dan porselen, baik sebagai salah satu komponen dalam badan maupun glasir.
- Barang - barang tahan api dalam bata - bata kaolin.
- Bahan - bahan bangunan keramik seperti tegel dalam gerabah atau porselin.

b. *Ball Clay*

Merupakan tanah liat yang sangat plastis untuk keramik, bentuknya dialam seperti bola - bola, itulah sebabnya disebut sebagai *ball clay*. Tanah liat ini termasuk tanah sekunder. Sifat dan keadaan bahan :

- Berbutir sangai halus
- Sangai plastis
- Kurat kering tinggi
- Susut kering dan susut bakar tinggi
- Unsur oksida besi cukup tinggi sehingga menghasilkan warna bakar abu – abu muda
- Warna mentahnya abu - abu/kehitaman karena banyak mengandung karbon

Ball clay umumnya dimanfaatkan dalam keramik putih dan biasanya dipergunakan untuk:

- Memperoleh keplastisan mempermudah untuk dibentuk, tetapi mengurangi sifat tembus cahaya (tidak *translucent*) karenanya jarang dipakai untuk pembuatan masa porselen keras
- Memberi kekuatan pada keramik sebelum dibakar, sehingga keramik tidak mudah rusak bila diangkat untuk dipindahkan
- Membuat masa tuang lebih encer, meskipun airnya tidak banyak.

c. *Fire Clay*

Termasuk jenis lempung sekunder, biasanya didapatkan di daerah penambangan batu bara. Sifat dan keadaan bahan

- Lempung ini sangat tanah api (*refractory*), dan tahan terhadap suhu tinggi.
- Plastis atau sama sekali tidak plastis.
- Tekstur kasar

d. *Bentonite*

Jenis lempung dengan sifat plastis tinggi. Lempung ini berasal dari pelapukan batuan vulkanik yang banyak mengandung silika. Sifat bahan *bentonite* diantaranya adalah:

- Partikelnya sangat halus.
- Banyak mengandung silika halus.

Bentonite mempunyai kemampuan sangat baik untuk menambah keplastisan tanah liat, dengan catatan:

- Bila ditambahkan sebanyak 2%, sehingga membentuk substansi seperti *jely*.
- Apabila dipergunakan untuk campuran tanah liat yang tidak plastis, satu bagian *bentonite* dapat disamakan tiga bagian dengan *ball clay*.
- Dalam pelaksanaannya harus dicampurkan dalam keadaan kering, sebab bila dicampur langsung dengan air, bahan ini dapat menjadi sangat lengket.

e. Silika

Silika merupakan bahan yang penting dalam semua bahan - bahan keramik. Bahan ini terdapat sebagai pasir silika yang mengandung 99,5% silika, sisanya terdiri dari *calcium carbonate* atau *chrome*. Silika biasanya tercampur dengan oksida - oksida lain yang disebut sebagai silikat. Contoh gabungan tersebut antara lain dalam bentuk kaolin, feldspar, *bentonite*. Kegunaan silika dalam keramik:

- Mengurangi susut kering. Sehingga mengurangi retak-retak dalam pengeringan.
- Mengurangi susut, waktu dibakar dan mempeninggi kualitas.
- Melindungi rangka selama pembakaran.

Bahan ini dipakai pada keramik halus, bahan tanah api, gelas, email. Pasir halus dipergunakan untuk membuat masa keramik putih atau gelasir.

f. Feldspar

Bahan ini adalah kelompok mineral ini merupakan bagian terbesar dari batuan beku asam jenis granit atau pegmatit, berwarna putih relatif lunak dan dapat memberikan hingga 25% *flux* (pelebur) pada keramik. Jika badan keramik dibakar, feldspar meleleh dan membentuk leburan gelas yang menyebabkan partikel tanah dan bahan lainnya melekat satu sama lainnya. Bila bahan semacam gelas ini membeku, bahan ini memberi kekuatan dan kekukuhan pada badan.

Komposisi feldspar yang mengandung kalium (K_2O) dipakai untuk membuat *masse* keramik, sedangkan natrium (Na_2O) dibuat untuk gelasir. Gelasir - gelasir feldspar cenderung memberikan efek putih susu, karena adanya gelembung - gelembung sangat halus pada badan gelasir. Feldspar mengandung semua bahan - bahan penting untuk membentuk gelasir suhu tinggi, tetapi agar lebih diperlukan tambahan flint, *whiting* atau kaolin. Bahan ini banyak dipakai dalam keramik halus (untuk badan atau gelasir), gelas.

g. Alumina

Alumina jarang didapatkan dalam bentuk murni, salah satu bentuk yang paling murni adalah bauksit. Unsur - unsur ini terdapat dalam kaolin, *ball clay*, feldspar.

Peranannya dalam keramik atau gelasir adalah mengontrol dan mengimbangi pelelehan dan juga memberikan kekuatan pada badann maupun gelasir. Secara terpisah alumina tidak akan lebur hingga 2000 °C (silika lebur pada suhu 1700 °C). Namun apabila 5% alumina ditambahkan pada silika murni, maka suhu leburnya akan turun menjadi 1545 °C, ball clay akan memberikan Al_2O_3 dan plastisitas.



(a) Kaolin

(b) Ball Clay

(c) Fire Clay



(d) Bentonite



(e) Silika



(f) Feldspar



(g) Alumina

Gambar 2.1 Bahan- bahan baku keramik
Sumber: Astuti (1997, p.24)

2.4 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 di akibatkan karena kombinasi dari ikatan ion dan kovalen dan partikel-partikelnya tidak mudah bergeser.

2. Sifat Termal

Sifat termal bahan keramik adalah kapasitas panas, koefisien ekspansitermal, dan konduktivitas termal. Kapasitas panas bahan adalah kemampuan bahan untuk mengabsorpsi panas dari lingkungan. Panas yang diserap disimpan oleh padatan antara lain dalam bentuk vibrasi (getaran) atom/ion penyusun padatan tersebut. Keramik biasanya memiliki ikatan yang kuat dan atom-atom yang ringan. Jadi getaran-getaran atom-atomnya akan berfrekuensi tinggi, karena ikatannya kuat maka getaran yang besar tidak akan menimbulkan gangguan yang terlalu banyak pada kisi kristalnya. 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. Beberapa keramik memiliki sifat piezoelektrik, atau kelistrikan tekan. Sifat ini merupakan bagian bahan “canggih” yang sering digunakan sebagai sensor. Dalam bahan piezoelektrik, penerapan gaya atau tekanan dipermukaannya akan menginduksi polarisasi dan akan terjadi medan listrik, jadi bahan tersebut mengubah tekanan mekanis

menjadi tegangan listrik. Bahan piezoelektrik digunakan untuk transduser, yang ditemui pada mikrofon, dan sebagainya.

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.

2.5 Keausan

Keausan umumnya didefinisikan sebagai kehilangan material secara progresif atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan sebagai suatu dari gesekan yang berulang-ulang antara permukaan suatu material dengan permukaan lainnya. Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah dengan

metode pin on dist dimana benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji, Budiyanto (2008). Keausan pada dasarnya memiliki beberapa mekanisme, yaitu:

1. Keausan *Adhesive* (*Adhesive Wear*)

Terjadi bila kontak permukaan dari dua material atau lebih mengakibatkan adanya perlekatan satu sama lainnya (*adhesive*) serta deformasi plastis dan pada akhirnya terjadi pelepasan atau pengoyakan salah satu material.

- Kecenderungan dari material yang berbeda untuk membentuk larutan padat atau senyawa intermetalik.
- Kebersihan permukaan.

2. Keausan *Abrasive* (*Abrasive Wear*)

Terjadi bila suatu partikel keras (*asperity*) dari material tertentu bergesekan pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak. Tingkat keausan pada mekanisme ini ditentukan oleh derajat kebebasan (*degree of freedom*) partikel keras atau *asperity* tersebut. Faktor yang mempengaruhi ketahanan material terhadap *abrasive wear* antara lain:

- *Material hardness*
- Kondisi struktur mikro
- Ukuran abrasif
- Bentuk

Bentuk kerusakan permukaan akibat *abrasive wear*, antara lain :

- *Scratching* (Goresan)
- *Scoring* (Berpindah)
- *Gouging* (Terkelupas)

3. Keausan Lelah (*Fatigue Wear*)

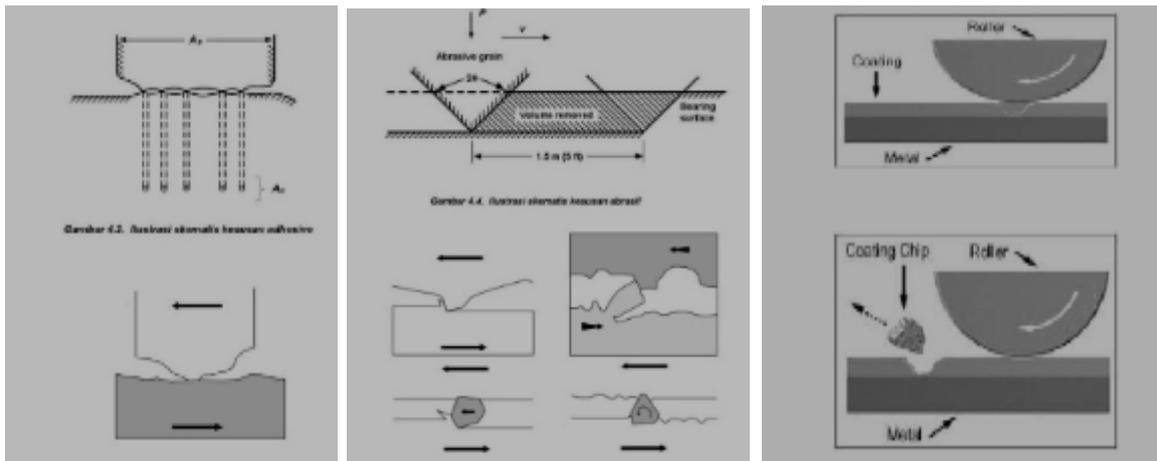
Merupakan mekanisme yang realtif berbeda dibandingkan dengan dua mekanisme sebelumnya, yaitu dalam hal interaksi permukaan. Baik keausan *adhesive* maupun abrasif melibatkan hanya satu interaksi, sementara pada keausan fatik dibutuhkan interaksi multi. Keausan ini terjadi akibat interaksi permukaan dimana permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak - retak mikro. Retak - retak mikro tersebut pada akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan material. Tingkat keausan sangat bergantung pada tingkat pembebanan.

4. Keausan Oksidasi/Korosif (*Corrosive Wear*)

Proses kerusakan dimulai dengan adanya perubahan kimiawi material di permukaan oleh faktor lingkungan. Kontak dengan lingkungan ini menghasilkan pembentukan lapisan pada permukaan dengan sifat yang berbeda dengan material induk. Sebagai konsekuensinya, material akan mengarah kepada perpatahan interface antara lapisan permukaan dan material induk dan akhirnya seluruh lapisan permukaan itu akan tercabut.

5. Keausan Erosi (*Erosion Wear*)

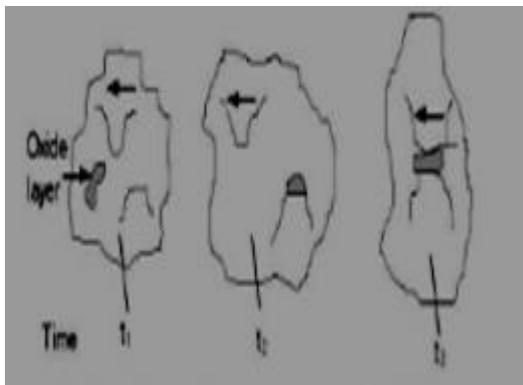
Proses erosi disebabkan oleh gas dan cairan yang membawa partikel padatan yang membentur permukaan material. Jika sudut benturannya kecil, keausan yang dihasilkan analog dengan *abrasive*. Namun, jika sudut benturannya membentuk sudut gaya normal (90°), maka keausan yang terjadi akan mengakibatkan *brittle failure* pada permukaannya.



(a) Keausan *adhesive*

(b) Keausan *abrasive*

(c) Keausan lelah



(d) Keausan oksidai/korosi



(e) Keauan erosi

Gambar 2.2 Jenis-jenis mekanisme keausan
 Sumber: Metals Handbook Vol. 8 (1985, p. 468)

2.5.1 Perhitungan Keausan

Perhitungan keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, tujuannya adalah untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satu cara adalah menghitung laju keausan, maka digunakan perumusan laju keausan dengan menggunakan standard ASTM G99 yang merupakan suatu rumusan dan pemodelan yang mudah untuk menjelaskan keausan secara umum. Perubahan berat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta W = \text{Berat awal} - \text{Berat akhir} \dots\dots\dots (2-1)$$

Dimana :

$$\Delta W = \text{Berat (gram)}$$

Setelah nilai berat ditemukan, kemudian perubahan volume di hitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\Delta V = \frac{\Delta W}{\rho} \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana :

$$\Delta W = \text{perubahan berat spesimen (gram)}$$

$$\rho = \text{massa jenis material komposit (gram/cm}^3\text{)}$$

$$\Delta V = \text{perubahan volume spesimen (cm}^3\text{)}$$

Kemudian laju keausan material (K') dapat dihitung menggunakan rumus:

$$K' = \frac{\Delta V}{F.L} \dots\dots\dots (2-3)$$

Dimana :

$$K' = \text{nilai laju keausan spesifik (mm}^3\text{/Nm)}$$

$$\Delta V = \text{perubahan volume spesimen (cm}^3\text{)}$$

$$F = \text{beban normal (29,42 N)}$$

$$L = \text{panjang wear track (474,6 m)}$$

2.6 Densitas

Massa jenis atau densitas adalah suatu besaran kerapatan massa benda yang dinyatakan dalam berat benda per satuan volume benda tersebut. Besaran massa jenis dapat membantu menerangkan mengapa benda yang berukuran sama memiliki berat yang berbeda. Benda yang lebih besar belum tentu lebih berat daripada benda yang lebih kecil. Berdasarkan pengertian massa jenis yaitu berat benda persatuan volume benda, maka rumus untuk menghitung massa jenis adalah:

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots(2-4)$$

Dimana :

ρ : massa jenis

m : massa

V : volume

2.7 Penyusutan

Penyusutan keramik terjadi karena ada kaitannya dengan sifat thermal dan sifat fisik keramik, sifat thermal adalah kapasitas panas, koefisien ekspansi termal, dan konduktivitas termal. Ekspansi termal adalah perubahan dimensi (penyusutan) yang terjadi akibat adanya perubahan temperatur. Perhitungan untuk mendapatkan koefisien ekspansi termal dilakukan dengan mengamati perubahan panjang atau volume sampel akibat kenaikan temperatur yang terjadi. Besarnya koefisien ekspansi termal fisik dipengaruhi oleh pori-pori pada suatu material.

Keramik mempunyai koefisien termal yang sangat rendah, dengan nilai antara 0.5×10^{-6} dan $15 \times 10^{-6} (\text{°C})^{-1}$. Sebelum menjadi keramik tanah liat akan mengalami dua kali penyusutan, yaitu susut kering dan susut bakar. Selama tanah liat dibentuk menjadi keramik maka akan mengalami penyusutan ketika keramik kering. Hal ini terjadi karena menguapnya air pembentuk dan air selaput pada badan dan permukaan benda keramik sehingga menyebabkan butiran-butiran tanah liat menjadi rapat satu sama lainnya. Selama pembakaran keramik akan terjadi juga penyusutan, Hal ini disebabkan oleh penguapan sisa air pembentuk, penguapan air kimia, pembakaran sempurna (oksida) senyawa karbon, karbonat dan sulfat, terjadinya inversi kwarsa dan terjadinya proses vitrifikasi. Jumlah persentase penyusutan di pesyaratkan antara 5% sampai 15%, Budiyanto (2008).

2.7.1 Kestabilan Dimensi

Pada setiap pengeringan dan pembakaran badan keramik selalu diikuti dengan penyusutan pada badan keramik, Hartonmo (1994). Penyusutan ini perlu diperhatikan untuk mengetahui toleransi ukuran cetakan badan keramik sebelum dibakar sehingga setelah dibakar didapatkan ukuran badan keramik yang diinginkan. Keramik dapat dikatakan mempunyai kestabilan dimensi yang baik jika prosentase penyusutan (*shrinkage*) yang terjadi akibat pengeringan dan pembakaran semakin rendah.

Penyusutan hasil proses pembakaran badan keramik khususnya pada badan *porcelain* terjadi karena proses *vitrification*, Reed (1989). Penyusutan dimulai pada temperatur 950 °C yaitu ketika awal terjadinya difusi antar partikel, pada temperatur 1150 °C penyusutan yang terjadi semakin besar karena mulai terjadi proses *vitrification*. Penyusutan (*shrinkage*) dipengaruhi oleh berbagai macam faktor yang sangat kompleks. Secara garis besar penyusutan pada badan keramik dipengaruhi oleh:

- Komposisi bahan baku kandungan badan keramik

Komposisi bahan baku kandungan badan keramik (*green ware*) sangat berpengaruh pada penyusutan badan keramik. Penyusutan pada badan keramik dapat berkurang oleh adanya material bahan baku non plastis, Kingery et al (1975). Semakin tinggi kandungan material bahan baku non plastis pada badan keramik maka penyusutannya akan semakin rendah. Hal ini disebabkan karena material bahan baku non plastis memiliki sifat penyusutan yang rendah, Astuti (1997). Sebagai contoh pada batu bata (*fire clay brick*), pada umumnya batu bata memiliki kandunga *grog schamot* yang tinggi sehingga sangat mengurangi penyusutan hasil pembakaran. Namun, semakin tinggi kandungan bahan baku non plastis pada badan keramik akan mengakibatkan kesulitan pada proses pembentukan badan keramik, karena material bahan baku non plastis kurang dapat mengikat material bahan baku lainnya.

- Proses pembentukan badan keramik

Seperti halnya logam, badan keramik dibentuk dengan berbagai macam metode teknik pembentukan. Masing-masing teknik pembentukan badan keramik memiliki kelebihan, kekurangan dan fungsi yang tersendiri. Untuk masalah penyusutan keramik, besarnya penyusutan juga dapat dipengaruhi oleh jenis proses pembentukan badan keramik, Kingery et al (1975). Teknik pembentukan yang digunakan pada pembentukan badan keramik secara tidak langsung berhubungan dengan kadar air yang digunakan pada proses pembentukan badan keramik. Semakin tinggi kadar air yang digunakan pada proses pembentukan badan keramik, maka semakin tinggi pula penyusutan badan keramik yang akan dihasilkan, Astuti (1997). Hal ini disebabkan karena unsur air dapat terikat dengan baik pada material bahan baku keramik, terutama *clay*. Pada waktu proses pengeringan dan pembakaran, unsur air akan menguap sehingga pertikel bahan baku keramik akan tertarik oleh gaya ikat/tarik antar partikel, akibatnya terjadi penyusutan pada badan keramik.

- Porositas pada badan keramik

Sebagai hasil proses pembentukan, pada umumnya badan keramik yang belum dibakar (*green ware*) mengandung 25% sampai 50% volume porositas. Pori-pori ini memiliki fungsi untuk jalan mengalir keluarnya uap air dan gas dari badan keramik selama proses pengeringan dan pembakaran. Selama proses pembakaran, pori-pori ini akan tereliminasi dan mengakibatkan penyusutan pada badan keramik, Kingery et al (1975).

Besarnya porositas pada badan keramik dipengaruhi oleh; ukuran partikel material bahan baku penyusun badan keramik dan distribusi besar butir material bahan baku penyusun badan keramik. Ukuran partikel bahan baku keramik yang halus bersifat mudah mengikat unsur air, kandungan unsur air meningkatkan jika ukuran partikel bahan baku semakin kecil. Sehingga badan keramik yang terbuat dari partikel material bahan baku berukuran kecil akan menghasilkan penyusutan yang tinggi. Secara ideal, untuk mendapatkan kepadatan partikel yang efektif pada badan keramik, perbandingan ukuran partikel bahan baku keramik yang digunakan adalah 70% berupa partikel agak kasar dan 30% berupa partikel halus, dengan distribusi besar butir yang merata. Jika distribusi besar butir tidak terdistribusi merata akan terjadi perbedaan densitas yang akan dapat menyebabkan warping pada badan keramik saat proses pembakaran. Jika badan keramik terbuat dari partikel material bahan baku berukuran seragam, tidak memungkinkan terbentuk badan keramik yang memiliki konsentrasi kepadatan yang tinggi, Kingery et al (1975).

2.7.2 Perhitungan Susut Bakar

Susut bakar suatu benda keramik adalah suatu besaran yang dapat diukur tentang menyusutnya (ukuran) benda karena pembakaran. Hal ini bukan hanya karena menguapnya air bebas, tetapi karena adanya perubahan sifat-sifat kimia dan fisika tanah liat menjadi keramik secara permanen. Tanah liat lunak bila tercampur air mudah diurai dan plastis, tetapi setelah dibakar tanah liat menjadi keras membatu dan kedap air serta ukurannya menyusut dibandingkan dengan ukuran pada waktu sebelum dibakar. Untuk menghitung nilai susut bakar menggunakan perumusan sebagai berikut:

$$\text{Susut Bakar} = \frac{\text{Volume sebelum bakar} - \text{Volume sesudah bakar}}{\text{Volume sebelum bakar}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2-5)$$

Sumber: Budiyanto (2008)

2.8 Proses Pembuatan Keramik Modern

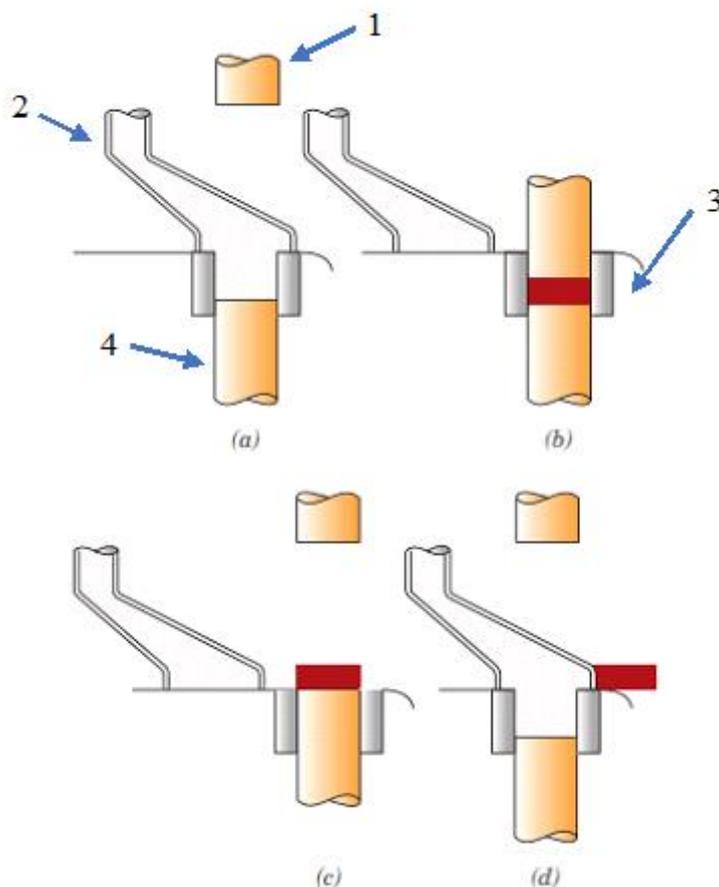
Berdasarkan segi pembuatan keramik modern, prosesnya diantaranya adalah:

1. Pembentukan

Proses pembentukan ini diantaranya adalah *slip casting*, *pressure casting*, *injection molding*, dan *extrusion*. Pada penelitian ini untuk pembentukan spesimen akan dilakukan dengan *pressure casting*. Setelah dibentuk, keramik akan dikeringkan pada udara atmosfer kemudian keramik dipanaskan dengan proses densifikasi (*densification*) agar material yang terbentuk lebih kuat dan padat. Setelah itu keramik akan di glasir agar tahan terhadap reaksi kimia dan juga kedap terhadap air, Callister (2007).

- *Pressure Casting*

Pada proses ini, serbuk keramik dituangkan pada cetakan dan diberi tekanan. Tekanan tersebut membuat bubuk keramik menjadi lapisan solid keramik yang berbentuk seperti cetakan, Callister (2007).



Gambar 2.3 Pressure casting
Sumber: Callister (2007, p.482)

Dari gambar di atas dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Gerakan mengisi. *Punch* (1) masih berada diatas, kemudian adonan keramik dimasukkan ke dalam cetakan melalui corong yang melengkung (2).
- Gerakan menekan. Setelah adonan keramik mengisi cetakan (3), corong akan bergerak menjauhi cetakan dan *punch* menekan serbuk.
- Gerakan mendorong. Setelah proses penekanan, *punch* akan terangkat ke atas, begitu juga *dies* (4) akan mendorong spesimen ke atas permukaan.
- Gerakan menggeser. Setelah spesimen diatas permukaan cetakan, corong akan menggeser spesimen dan menempati rongga cetakan kembali untuk pengisian serbuk lagi.

- *Slip Casting*

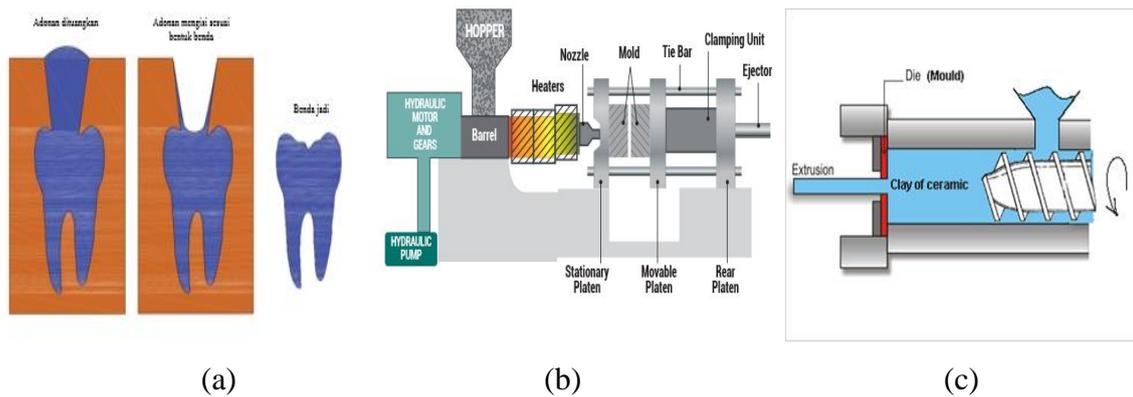
Slip casting adalah proses untuk membuat keramik yang berlubang. Proses ini menggunakan cetakan dengan dinding yang berlubang-lubang kecil dan memanfaatkan daya kapilaritas air, Callister (2007)

- *Injection Molding*

Proses ini digunakan untuk membuat objek yang kecil dan rumit. Metode ini menggunakan piston untuk menekan bubuk keramik melalui pipa panas masuk ke cetakan. Pada cetakan tersebut, bubuk keramik didinginkan dan mengeras sesuai dengan bentuk cetakan. Ketika objek tersebut telah mengeras, cetakan dibuka dan bagian keramik dipisahkan.

- *Extrusion*

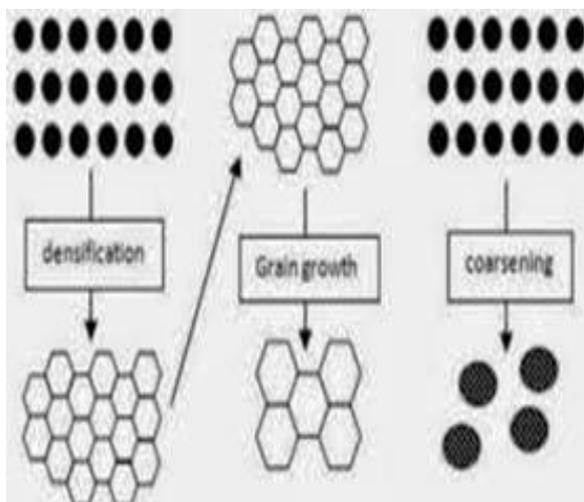
Extrusion adalah proses kontinu yang mana bubuk keramik dipanaskan didalam sebuah tong yang panjang. Terdapat baling-baling yang memutar dan mendorong material panas tersebut kedalam cetakan. Karena prosesnya yang kontinu, setelah terbentuk dan didinginkan, keramik dipotong pada panjang tertentu. Proses ini digunakan untuk membuat pipa keramik, ubin dan bata modern.



Gambar 2.4 (a) Slip casting, (b) *injection molding*, (c) Extrusion
Sumber : Callister (1940, p.478)

2. 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 1000 °C sampai 1700 °C. Pada proses pemanasan, partikel-partikel bubuk menyatu dan memadat. Proses pepadatan 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, Callister (2007).

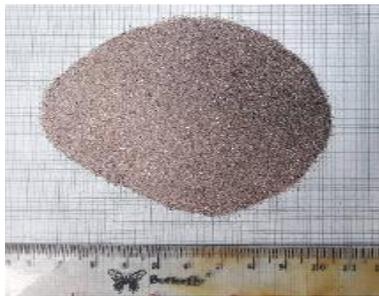


Gambar 2.5 Proses desifikasi
Sumber: Callister (2007, p.487)

2.9 Bahan Baku Tambahan

Zirconium (Zr) merupakan salah satu bahan keramik yang memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan beberapa bahan keramik lainnya, diantaranya adalah mempunyai ketangguhan dan strength yang relatif tinggi. Dibalik keunggulannya tersebut,

zirconium juga mempunyai beberapa kelemahan seperti bentuk kristalnya sangat tidak stabil, dengan kata lain *zirconium* dalam hampir tidak pernah dijumpai dalam bentuk senyawa tunggal (ZrO_2), tetapi selalu bercampur dengan senyawa lain. Seperti misalnya dalam pada umumnya dijumpai dalam bentuk senyawa *Zirconium Silikat* ($ZrSiO_4$) yang biasa disebut sebagai pasir zirkon, sehingga bila ingin mendapatkan senyawa *Zirconium* murni maka perlu dimurnikan atau distabilkan terlebih dahulu, Priyono (2012). Zirkon ($ZrSiO_4$) memiliki sifat fisik yang tercantum dalam Tabel 2.1.



Gambar 2.6 Zirkon ($ZrSiO_4$)
Sumber: Tingley (2015, p.29)

Beberapa macam senyawa zirconium tercantum pada tabel 2.1 dibawah.

Tabel 2.1
Zirconium Bearing Minerals

Mineral	Chemical formula	Specific gravity	Hardness (Mohs' scale)	ZrO ₂ content (%)
Zircon	$ZrSiO_4$	4,2-4,86	7,5	63-67
Baddeleyite	ZrO_2	5,5-6	6,5	98-100
Eudialyte	$(NaCaFe)_6 Zr(OH,Cl) (SiO_3)_6$	2,9-3	5-5,5	1,2
Caldasite	Mixture of fibrous bad deleyite, zircon, altered zircon, and other minerals	-	-	60-75
Vlasovite	$Na_2ZrSi_4O_{11}$	2,97	6	29
Gittinsite	$CaZrSi_2O_7$	3,6	3,5-4	40,3
Zirkelite	$(CaFe)(ZrTiTh)_2O_5$	4,7	5,5	-

Sumber : Tingley (2015,p.8)

Tabel 2.2
Physical Properties of ZrSiO₄

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 (gram/ cm ³)	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)

2.10 Pembuatan Gigi Tiruan dari Keramik

Dalam bidang kedokteran gigi (prostesa), 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. Salah satu bentuk kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan dalam bidang kedokteran gigi adalah penggunaan *zirconia* / non-logam dalam bahan pembuatan restorasi. *Zirconia* berasal dari unsur *zirconium* (Zr) yang memiliki nomor atom 40 dan berat atom 91,22. Sebagai bahan pembuatan restorasi dalam bidang kedokteran gigi, *zirconia* memiliki sifat fisik, mekanis, kimia dan biologis yang sangat baik. *Zirconia* memiliki titik leleh yang tinggi dan konduktivitas termal yang rendah. Syarat gigi tiruan yang baik adalah sebagai berikut:

1. Material tidak berbau, berasa, halus, bersih, dan tidak mengiritasi, ukuran dan bentuk harus sesuai, serta mempunyai retensi dan stabilisasi waktu dipakai dan berfungsi sehingga enak dipakai.

2. Dapat berfungsi untuk mengunyah makanan, mengucapkan kata dengan jelas, gerakan seperti tertawa, menguap, batuk, minum dan lain-lain,
3. Estetis dalam ukuran, bentuk, warna gigi dan gusi
4. Fungsional kuat terhadap tekanan pengunyahan dan pengaruh zat dalam makanan, minuman, cairan ludah dan obat, keras dan tidak mudah krops (karena akan mempengaruhi kekuatan).

Perbandingan proses pembuatan gigi palsu di Abadi Dental Laboratory dengan pada penelitian ini tersaji pada tabel 2.2.

Tabel 2.3
Perbandingan Pembuatan Gigi Palsu

Proses	Gambar	Abadi Dental <i>Laboratory</i>	Gambar	Penelitian
Pembuatan Malam		Pembuatan malam bisa banyak		Pembuatan malam terbatas
Pembuatan Mold		Satu <i>mold</i> bisa untuk 4 gigi		Satu <i>mold</i> terbatas hanya 2 gigi karena <i>riser</i> lebih besar
Bahan		Akrilik atau Porcelain		Serbuk keramik aditif zirkon
Pressure		<i>Hot Press</i>		Mekanik menggunakan <i>Hydraulic Press</i>
Pembakaran		Sekaligus bersamaan dengan <i>hot press</i>		Pada tungku pembakaran setelah dilakukan <i>press</i>
Hasil		Rapi dan Halus		Kurang rapi dan permukaan kasar

2.11 Pengujian Invitro

Pengujian in vitro adalah pengujian yang dilakukan diluar organisme hidup, tetapi prosedur perlakuannya dalam kondisi lingkungan terkontrol. Pengujian in vitro yang dimaksud pada penelitian ini adalah pengujian aplikasi gigi pada lingkungan terkontrol dalam kondisi 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 1-1,5 liter. 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, Amerogen (1991).

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.

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.

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.

2.12 Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM merupakan salah satu jenis mikroskop yang bisa digunakan untuk mendapatkan pembesaran gambar yang melebihi mikroskop optik biasa. Cara terbentuknya gambar pada SEM berbeda dengan apa yang terjadi pada mikroskop optik. Pada SEM, gambar di buat berdasarkan deteksi elektron baru (elektron sekunder) atau elektron pantul yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel tersebut dipindai dengan sinar elektron. Elektron sekunder atau elektron pantul yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor CRT (cathode raytube). Di layar CRT inilah gambar struktur obyek yang sudah diperbesar agar bisa dilihat.

2.13 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka diatas maka hipotesis yang dapat di simpulkan adalah penambahan pasir zirkon ($ZrSiO_4$) yang semakin banyak pada pembuatan keramik akan menyebabkan laju keausan menurun, Hal ini karena dipengaruhi oleh komponen bahan yang lebih keras. Proses sintering sangat mempengaruhi perubahan dimensi sampel (*shrinkage*), dimana semakin tinggi temperatur sintering maka penyusutan akan semakin meningkat. Karena pada saat pembakaran dilakukan terjadi proses penguapan air yang diikuti dengan proses pemadatan bahan keramik dan pengecilan pori-pori keramik.