

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Resin Komposit

1. Pengertian Resin Komposit

Sistem resin berbasis komposit dan resin dimetakrilat sudah menjadi pilihan bahan untuk restorasi estetik langsung gigi anterior sejak sekitar awal tahun 1970 (Anusavice, 2003). Resin komposit banyak diaplikasikan dalam kedokteran gigi, termasuk bahan restorasi, semen untuk prothesa dan alat orthodontik (Ferracane, 2010). Komposisi resin komposit terdiri atas matriks resin organik, partikel bahan pengisian organik (*filler*), bahan *coupling agent* (silane), system *activator-inhibitor* dan *stabilizer* dan *optical modifiers* (Anusavice dkk., 2013)

2. Komposisi Resin Komposit

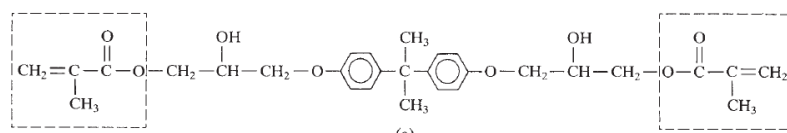
Bahan komposit alamiah adalah dentin dan email gigi. Komponen enamelin pada email mewakili matriks organik, sementara dalam dentin, matriks terdiri atas kolagen (Anusavice, 2003).

Bahan restoratif komposit mengandung beberapa komponen sebagai tambahan terhadap matriks resin, partikel *filler* anorganik dan *coupling agent*. Sistem aktivator-inisiator dibutuhkan untuk mengubah perekat resin dari lunak, bahan pengisi yang dapat dibentuk menjadi keras, restorasi yang tahan lama. Komponen lain termasuk untuk meningkatkan kemampuan kerja, penampilan dan ketahanan material. *Pigments* membantu untuk menyamakan warna struktur gigi. *Ultraviolet (UV)*

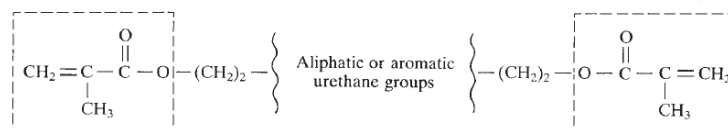
absorbers dan peningkatan stabilitas warna tambahan dan penghambat polimerisasi memperpanjang masa penyimpanan dan meningkatkan waktu kerja untuk resin yang diaktivasi secara kimiawi (Anusavice, 2003).

a. Matriks Resin

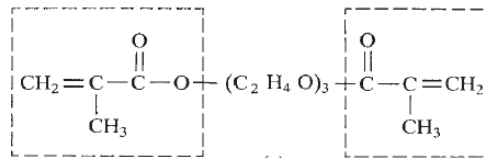
Monomer yang paling sering digunakan adalah Bis-GMA (*bisphenol-Aglycidyl methacrylate*) dan *urethane dimethacrylate* (UDMA), bersama dengan *tri-ethylene glycol dimethacrylate* (TEGMA) yang merupakan *comonomer* digunakan untuk kontrol viskositas dari bahan yang belum dicampur. Monomer dan *comonomer* molekul adalah *methacrylate difunctional*. Masing-masing ikatan ganda *carbon-carbon* dapat ikut serta dalam polimerisasi radikal bebas tambahan, untuk memberikan resin *cross-linked* setelah *setting* (McCabe & Walls, 2009).



Gambar 1. Bis-GMA (produk tambahan dari *bisphenol-A* dan *glycidylmethacrylate*) (McCabe & Walls, 2009).



Gambar 2. *Urethane dimethacrylate* (UDMA) (McCabe & Walls, 2009)



Gambar 3. *Triethylene glycol dimethacrylate (TEGDMA)*

(McCabe & Walls, 2009).

b. *Filler Anorganik*

Berbagai macam *filler* telah digunakan dalam komposit untuk meningkatkan sifat mekanisnya. Penerapan ini sudah dimulai sejak sekitar akhir tahun 1950, ketika *filler* seperti *quartz* diperkenalkan ke bahan pengisi dengan dasar metilmetakrilat (van Noort, 2002). Jenis *filler*, konsentrasi, ukuran partikel dan distribusi ukuran partikel dari *filler* yang digunakan dalam bahan komposit merupakan faktor utama pengatur sifat mekanis bahan. *Filler* biasa digunakan termasuk *quartz*, *fused silica* dan berbagai jenis *glass* termasuk aluminosilikat dan borosilikat, beberapa mengandung barium oksida (McCabe & Walls, 2009).

Beberapa sifat penting dari komposit dapat ditingkatkan dengan penambahan *filler (volume fraction)*: (1) penguat resin matriks, dengan meningkatkan kekerasan, kekuatan dan mengurangi keausan; (2) mengurangi pengerutan polimerisasi; (3) mengurangi ekspansi termal dan kontraksi; (4) meningkatkan kemampuan kerja dengan menambahkan viskositas (cairan monomer ditambah *filler* menghasilkan konsistensi pasta); (5)

mengurangi penyerapan air dan perubahan warna; dan (6) meningkatkan *radiopacity* dan sensitivitas diagnostic melalui penggabungan strontium (Sr) dan barium (Ba) *glass* dan logam berat lain (Anusavice, 2003).

c. Coupling Agents

Ikatan partikel *filler* dan matriks resin sangat penting. Ikatan tersebut dalam komposit didapatkan dengan penggunaan *silicon compound* organik atau *silane coupling agent*. Perlekatan ini menjadikan matriks polimer lebih fleksibel dalam distribusi tekanan ke modulus partikel *filler* yang lebih tinggi. *Coupling agent* adalah pengikat dua bahan dalam komposit. Penggunaan *coupling agent* yang tepat dapat meningkatkan sifat fisik dan mekanis serta menghambat kebocoran dengan mencegah penetrasi cairan sepanjang *interface filler resin* (O'Brien, 2002); (Anusavice, 2003).

d. Aktivator dan Inisiator

Polimerisasi komposit dapat dihasilkan secara sinar dan kimiawi. Pada sistem pengaktifan secara kimiawi, ketika inisiator *benzoyl peroxide* (atau katalis) bereaksi dengan akselerator *tertiary amine*, akan menghasilkan radikal bebas yang akan menyerang ikatan rangkap molekul oligomer sehingga akan terjadi polimerisasi. Sinar UV merupakan sinar yang pertama kali digunakan untuk pengaktifan resin komposit dengan sinar, namun

sekarang, pengaktifan resin diganti dengan *visible light cure*, yang dapat meningkatkan kemampuan berpolimerisasi lapisan yang lebih tebal sampai 2 mm. (O'Brien, 2002); (Anusavice, 2003).

Fotoinisiator yang sering digunakan adalah gugus *diketone* seperti *camphorquinone* (CQ) yang menyerap cahaya tampak berwarna biru dengan panjang gelombang antara 400-500 nm dan yang paling optimal sekitar 465 nm. Proses polimerisasi diinisiasi oleh radikal bebas yang dihasilkan dari hubungan *camphorquinone* dengan aktivator yaitu *tertiary amine* seperti *dimethyl aminoethyl methacrylate* (DMAEMA) (Anusavice dkk., 2013).

e. Inhibitor

Inhibitor ditambahkan ke dalam resin untuk mengurangi atau mencegah terjadinya polimerisasi monomer yang spontan. *Inhibitor* memiliki potensial reaktifitas yang kuat dengan radikal bebas. Jika radikal bebas terbentuk, misalnya dengan paparan singkat dengan penyinaran ruang ketika bahan disebarkan, *inhibitor* bereaksi dengan radikal bebas lebih cepat dari pada radikal bebas beraksi terhadap monomer. Hal ini mencegah penyebaran rantai dengan memusnahkan reaksi sebelum radikal bebas menginisiasi polimerisasi. Setelah seluruh *inhibitor* digunakan, penyebaran rantai dimulai. *Inhibitor* yang khas adalah *butylatedhydroxytoluene* (BHT) yang digunakan dalam konsentrasi kurang lebih 0.01 wt%. *Inhibitor* memiliki dua fungsi,

yaitu memperpanjang masa penyimpanan resin dan menjamin waktu kerja yang cukup (Anusavice, 2003).

f. Optical Modifiers

Untuk hasil yang natural, komposit harus memiliki *shading* dan translusensi yang sesuai dengan warna struktur gigi (Anusavice, 2003).

Resin komposit dapat memiliki warna yang sama dengan gigi karena terdapat pigmen anorganik yang ditambahkan dalam jumlah sedikit. Pada umumnya, resin komposit tersedia dalam 10 atau lebih tingkatan warna yang dapat mewakili warna gigi normal pada manusia (kuning sampai abu-abu) (Craig, Powers, & Wataha, 2004).

3. Sifat Resin Komposit

Resin komposit memiliki beberapa sifat, baik menguntungkan maupun merugikan. Resin komposit memiliki sifat yang lebih estetik daripada amalgam. Karena sifat estetisnya, penghantar panas yang rendah, relatif mudah dimanipulasi, tahan lama untuk gigi anterior dan tidak larut dalam cairan mulut menjadikan resin komposit yang paling banyak digunakan secara luas (Anusavice, 2003)

Resin komposit memiliki sifat yang merugikan yaitu mudah terjadinya penyusutan/*shrinkage*. Penyusutan tersebut disebabkan karena adanya matriks resin dengan berat molekul yang rendah. Salah satu matriks resin yang memiliki berat molekuler rendah adalah TEDGMA.

Matriks resin tersebut memiliki berat molekuler 286,3 g/mol (Barszczewska-rybarek & Jurczyk, 2015). Terdapat dua teknik yang dapat diterapkan untuk mengurangi resiko terjadinya polimerisasi *shrinkage* resin komposit, yaitu dengan dilakukan restorasi indirect (inlay) atau pengaplikasian *layer by layer* (Craig dkk., 2004)

4. Polimerisasi Resin Komposit

Menurut Ferracane (2005), polimerisasi merupakan reaksi kimia yang membentuk molekul kecil menjadi rantai polimer besar. Molekul monomer berada di jarak intermolekuler 3-4 Å, tetapi saat polimerisasi, jarak antara polimer yang terbentuk hanya 1.5 Å. Besarnya penyusutan polimerisasi ditentukan dari jumlah ikatan kovalen yang terbentuk, yang berasal dari derajat konversi ikatan karsbon ganda dari monomer, dan juga dari ukuran molekulnya. Semakin besar molekulnya, untuk volume material yang sama, semakin kecil jumlah ikatan yang terbentuk, dengan demikian, semakin kecil penyusutan polimerisasi (Alvarez-Gayosso, dkk., 2004).

Menurut Powers & Sakaguchi (2006), proses polimerisasi terbagi menjadi tiga tahap, yaitu inisiasi, propagasi dan terminasi. Tahap inisiasi merupakan pembentukan radikal bebas dari suatu molekul yang diperlukan untuk tahap propagasi. Inisiator radikal dapat menghasilkan radikal. Tahap propagasi adalah tahap reaksi yang cepat karena menyerang molekul lain oleh radikal yang terbentuk dan menghasilkan radikal baru. Monomer yang telah bereaksi dengan radikal bebas bereaksi dengan molekul lain

sehingga terjadi perpanjangan rantai. Pada tahap terminasi terjadi proses pemutusan rantai. Reaksi penggabungan reaktan radikal yang membentuk molekul tunggal sehingga terjadi terminasi (Handayani, 2010). Reaksi polimerisasi resin komposit dengan *light-cured* di inisiasi oleh sinar biru, sedangkan polimerisasi *self-cured* diinisiasi secara kimia oleh inisiator peroxida dan akselerator amine.

5. Klasifikasi Resin Komposit

Resin komposit diklasifikasikan dalam berbagai cara, tergantung pada komposisinya, untuk membuat dokter gigi lebih mudah dalam mengenali dan menggunakan untuk tujuan terapeutik. Klasifikasi yang sangat populer dan masih digunakan adalah teori Lutz dan Phillips, yang membagi berdasarkan ukuran partikel *filler*. Lutz dan Phillips membagi resin komposit menjadi *macrofiller* (ukuran partikel 0,1 sampai 100 μ), *microfiller* (ukuran partikel 0,04 μ) dan *hybrid (filler* dari ukuran yang berbeda). Klasifikasi yang lebih terperinci dari Williems dkk berdasarkan jumlah parameter, seperti modulus Young, presentase (dari volume) filler anorganik, ukuran partikel, kekasaran permukaan dan tegangan tekan (Hervás-García, dkk., 2006). Komposit juga di klasifikasikan berdasarkan viskositasnya, seperti contohnya resin komposit *flowable* dan resin komposit *packable* (Roberson, Heymann, & Swift, 2006).

a. Resin Komposit *Macrofiller*

Resin komposit *macrofill* pertama kali diperkenalkan pada sekitar tahun 1960. Namun, saat ini resin komposit *macrofill* sudah

jarang digunakan di klinisi. Ukuran partikel resin komposit *macrofill* rata-rata kurang lebih 8 μm . Resin komposit *macrofill* berdasarkan berat pada umumnya mengandung 75% - 80% *filler* anorganik. Resin komposit ini memiliki struktur permukaan yang kasar karena ukuran partikel yang cukup besar dan sifatnya yang sangat keras (Roberson dkk, 2006).

b. Resin Komposit *Microfiller*

Resin komposit *microfill* mengandung partikel silika amorf berukuran kurang dari 0,1 μm , dengan rata-rata kurang lebih 0,04 μm . Ukuran mikroskopis dari partikel silika amorf menjadikan *macrofill* mudah dipoles (Burgess, Walker, & Davidson, 2002). Namun, sifat mekanis dari *macrofill* diketahui rendah untuk aplikasi bertekanan tinggi di daerah oklusal (Schneider, Cavalcante, & Silikas, 2010).

c. Resin Komposit *Nanofiller*

Kategori terbaru dari resin komposit adalah resin komposit tipe *nanofilled composite*. Resin komposit ini mengandung dua jenis partikel *filler* yaitu nanomer dan *nanocluster*. Partikel *nanocluster* berukuran 0,4 – 1 μm . Partikel nanomer mengandung silika dengan ukuran 25 – 70 nm dengan penambahan *silane* dan secara sempurna dapat berikatan dengan resin matriks. Kombinasi kedua partikel dapat mengurangi celah interstitial dari partikel

filler sehingga dapat meningkatkan muatan *filler* (Schneider dkk., 2010).

Menurut Mitchell (2008), keuntungan yang dimiliki resin komposit *nanofiller* adalah

1. Kandungan *filler* yang tinggi dapat meningkatkan sifat fisik resin komposit tanpa meningkatkan viskositasnya.
2. Mudah dilakukan pemolesan, memiliki nilai estetis yang tinggi, serta tahan lama.
3. Meningkatkan ketahanan terhadap keausan.
4. Mengurangi *volumetric shrinkage* (1,5% - 1,7%) dibandingkan dengan resin komposit jenis lain.

d. Resin Komposit *Hybrid*

Sifat estetis yang menengah tetapi memiliki sifat mekanis yang baik dengan penggabungan ukuran rata-rata partikel *filler* yang berbeda (15–20 μm dan 0,01–0,05 μm) (Schneider dkk., 2010). Komposit *hybrid* merupakan kombinasi ideal dari estetis dan daya tahan pada restorasi komposit. Sifat fisik dan mekanis untuk komposit *hybrid* umumnya berkisar antara komposit konvensional dan *macrofiller*. Resistensi terhadap fraktur dihubungkan dengan jumlah *filler* pada komposit. Komposit yang memiliki *filler* banyak berarti memiliki resistensi terhadap fraktur yang tinggi, karena itu *hybrid* lebih resisten terhadap fraktur dari *macrofill* (Donly & García-Godoy, 2002). Resin komposit lain

yang memiliki kandungan dua atau lebih *filler* dengan ukuran partikel yang berbeda dapat dikategorikan sebagai resin komposit *hybrid* (Anusavice, 2003).

e. Resin Komposit *Flowable*

Merupakan resin komposit dengan viskositas rendah, membuat resin komposit ini menjadi lebih cair dibandingkan resin komposit konvensional. Presentase *filler* anorganik lebih rendah dan beberapa sifat yang ditujukan utamanya untuk meningkatkan *handling properties* telah dihilangkan dari komposisinya. Manfaat utamanya adalah tingginya sifat kebasahan terhadap permukaan gigi, memastikan penetrasi ke setiap celah; kemampuan untuk membentuk lapisan dengan ketebalan minimum, sehingga meningkatkan atau mengeluarkan udara yang masuk atau terjebak; fleksibilitas yang tinggi, sehingga kecil kemungkinannya untuk diaplikasikan di area konsentrasi tekanan; *radiopacity* dan tersedia dalam beberapa warna. Kekurangannya adalah curing shrinkage yang tinggi karena jumlah *filler* dan sifat mekanis yang rendah (Hervás-García dkk., 2006).

f. Resin Komposit *Packable*

Menurut Powers & Sakaguchi (2006), *packable* merupakan suatu istilah yang digunakan untuk menyebut resin komposit pasta yang memiliki viskositas tinggi. Komposit *packable* membentuk dua kategori komposit *hybrid*. Bahan ini diperkenalkan pada

sekitar akhir tahun 1990 untuk membantu klinisi mengaplikasikan resin komposit yang tekniknya serupa dengan restorasi amalgam. Sifat *packable* berasal dari inklusi memanjang, berserat, partikel *filler* sekitar 100 μm panjangnya, serta permukaan bertekstur yang cenderung saling mengikat dan menahan aliran. Permukaan yang kasar, berserat dan *filler* partikulat menjadikan konsistensi *packable* dan memungkinkan sifat lain untuk dioptimalkan untuk kinerja klinis (Anusavice, 2003).

B. Sisal

1. Pengertian Sisal

Sisal merupakan serat alami yang berasal dari tumbuhan dengan nama ilmiah *Agave sisalana* yang termasuk dalam golongan family *Agavaceae* (*Agave*). Sisal sepenuhnya sumber energi yang bersifat *biodegradable* dan sangat terbarukan. Serat tersebut biasanya dihasilkan dengan mesin *decortications* dimana daunnya dihancurkan di antara penggilas dan digesekkan secara mekanis. Seratnya kemudian dicuci dan dikeringkan secara mekanis atau alami. Serat kering hanya mewakili 4% dari jumlah berat total daun tersebut. Helaian mengkilap, biasanya berwarna putih agak krem, rata-rata 80 sampai 20 cm panjangnya dan 0,2 sampai 0,4 mm diameternya. Serat sisal cukup kasar, keras dan tahan lama. Hal ini digunakan untuk penggunaan pengikat karena kekuatan, daya tahan, kemampuan untuk meregang, afinitas untuk zat warna tertentu,

dan ketahanan terhadap kerusakan pada air asin (Natarajan dkk., 2014); (Kumaresan, Sathish, & Karthi, 2015).

Sifat mekanis dan sifat fisis serat sisal dipengaruhi oleh asal, posisi dan usia tanaman, juga tergantung pada kondisi percobaan seperti diameter serat, panjang alat ukur, kecepatan dan suhu pengujian. Serat bagian bawah umumnya mempunyai kekuatan tarik dan modulus yang lebih rendah dibandingkan dengan serat bagian atas. Kekuatan tahan pecah serat bagian bawah lebih tinggi daripada serat bagian atas. Serat bagian tengah lebih kaku dan kuat (Kusumastuti, 2009).



Gambar 4. Tanaman *Agave sisalana*



Gambar 5. Serat sisal

2. Komposisi Sisal

Menurut Botaro dkk., (2010), serat sisal mengandung 64,5% *cellulose*, 17,5% *hemicelluloses*, 9,4% *lignin*, 3,5% ekstraktif, 9,0% kelembaban dan 0,9% *ash by weight*. Terdapat variasi komposisi kimiawi dari serat sisal dapat dihubungkan dengan fakta bahwa komposisi kimiawi serat *lignocellulosic* bergantung pada berbagai faktor, seperti spesies, varietas, tipe tanah yang digunakan, kondisi cuaca, bagian serat yang diekstraksi dan usia tumbuhan (Rowell, Han, & Rowell, 2000); (Guimarães dkk., 2009).

Hemiselulosa merupakan rantai bercabang dari monomer glukosa, bersifat amorf, hidrofilik, serta larut dalam hidrolisa asam dan basa. Selulosa merupakan rantai lurus dari monomer glukosa yang tersambung dengan ikatan β 1-4 glikosida. Lignin merupakan polimer hidrokarbon kompleks yang terdiri atas senyawa *aliphatic* dan *aromatic* (Li dkk., 2007)

Tabel I. Sifat Mekanis Serat Sisal

(Kusumastuti, 2009)

Densitas (kg/m^3)	<i>Moisture</i> <i>Content (%)</i>	Kekuatan Tarik (MPa)	Modulus (GPa)	<i>Maximum</i> <i>Strain (%)</i>	Diameter (μm)
1450	11	604	9,4-15,8	-	50-200
1450	-	530-640	9,4-22	3-7	50-300
-	-	347	14	5	-
1030	-	500-600	16-21	3,6-5,1	-
1410	-	400-700	9-20	5-14	100-300

1400	-	450-700	7-13	4-9	-
-	-	530-630	17-22	3,64-5,12	100-3--
1450	-	450-700	7-13	4-9	-

Serat sisal memiliki sifat mekanis yang lebih baik. Sisal sebagai *filler* komposit telah dimanfaatkan dan digunakan dalam bidang konstruksi dan otomotif (Rojas, Bedoya, & Ciro, 2015).

C. Kekuatan Tarik

Menurut Anusavice (2003), tegangan tarik dapat disebabkan oleh beban yang cenderung meregangkan atau memanjangkan sebuah spesimen. Kekuatan tarik dapat terjadi ketika pasien mengunyah makanan dan saat pasien mencoba membuka mulut.

Semakin besar kekuatan tekan dan kekuatan tarik pada partikel komposit, menggambarkan besar fraksi volume dari kekuatan tinggi komponen *filler* komposit (O'Brien, 2002).

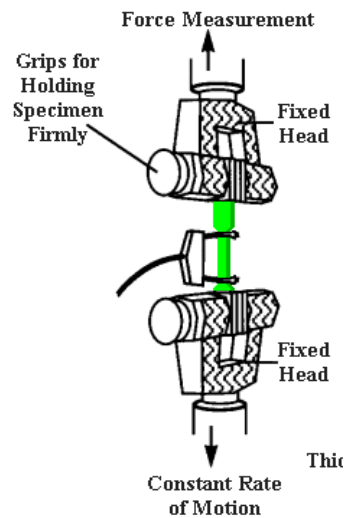
Spesimen diletakkan dan dikaitkan dengan cengkeraman alat uji tarik sehingga dapat ditarik dengan kekuatan tertentu dan didapatkan hasil besar gaya tarikan.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

σ = tegangan tarik

F = gaya tarikan

A = luas penampang



Gambar 6. Prosedur uji kekuatan tarik

D. Landasan Teori

Resin komposit merupakan tumpatan berwarna gigi yang sering digunakan dalam kedokteran gigi karena sifat estetisnya. Sifat mekanisnya juga menjadi salah satu alasan material ini digunakan. Resin komposit mengandung beberapa material, seperti resin matriks, coupling agents, filler (bahan pengisi), dan material pendukung lainnya. Resin matriks terdiri dari material organik, seperti TEGDMA, Bis-GMA dan UDMA. Coupling agents merupakan bahan yang menyatukan matriks dan filler atau bahan organik dan anorganik.

Filler adalah bahan anorganik yang terdapat dalam resin komposit dan berpengaruh besar dalam sifat mekanis resin komposit, semakin banyak jumlah filler, maka semakin baik sifat mekanis resin komposit tersebut. Filler diklasifikasikan berdasarkan ukuran partikelnya, *macrofiller*, *microfiller*, *nanofiller* dan *hybrid*. Salah satu bahan *filler* anorganik yang paling sering

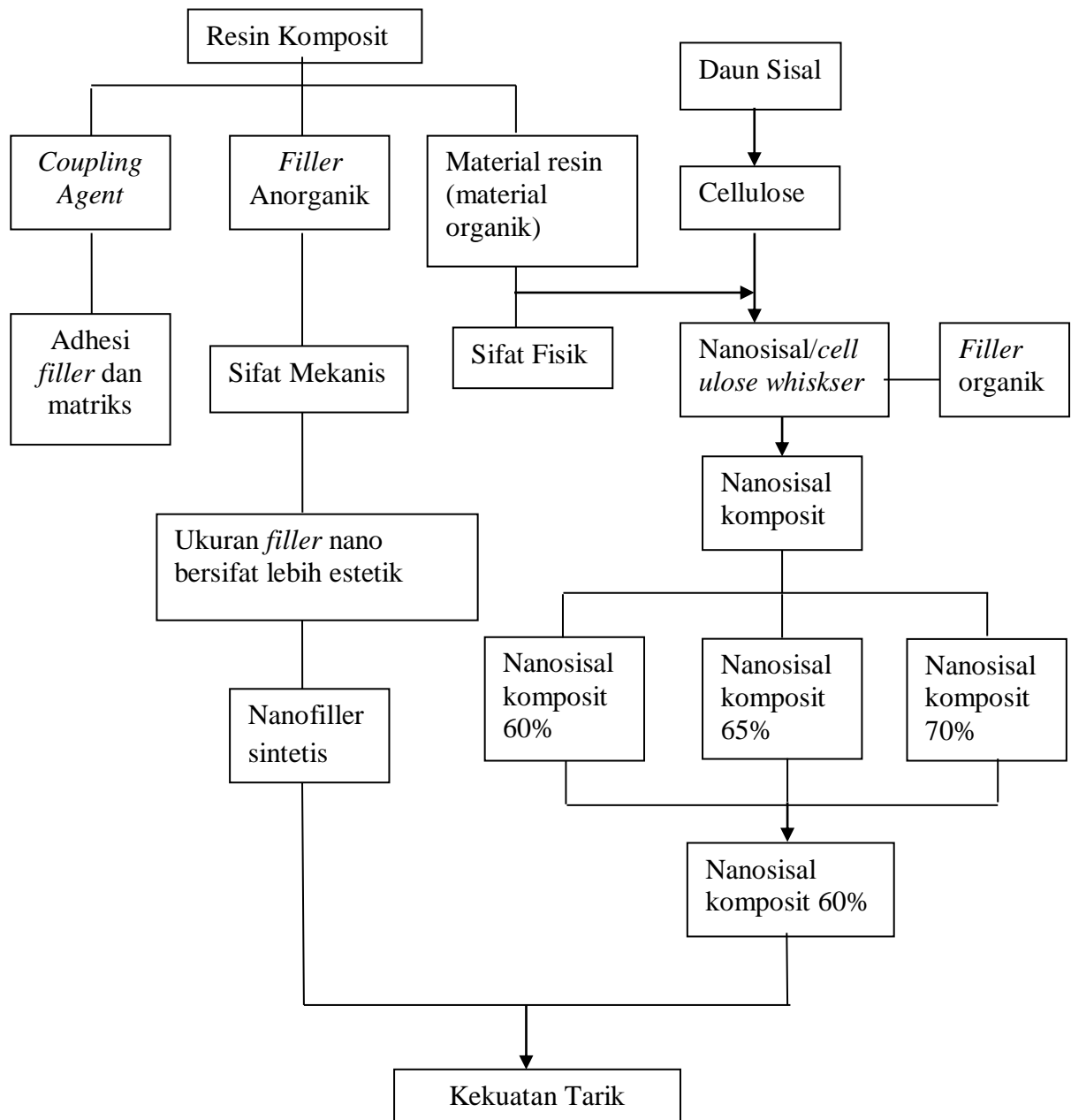
digunakan adalah *glass* karena sifat mekanisnya. Namun, *filler* sintesis ini memiliki kelemahan yang sangat serius. Pembuatan material tersebut memerlukan energi dan mengakibatkan dampak yang tidak baik untuk lingkungan. Filler anorganik juga bersifat *non-biodegradable*, tidak dapat didaur ulang dan tidak dapat diperbarui. Oleh karena itu, serat alam sebagai pengganti *filler* dalam resin komposit mulai banyak dikembangkan.

Penggunaan serat alami dalam kedokteran gigi belum banyak digunakan. Salah satu serat alami yang dapat digunakan adalah serat sisal (*Agave sisalana*). Serat ini memiliki sifat mekanis yang baik, murah, mudah didapatkan dan tidak berdampak buruk untuk lingkungan. Serat alami bersifat organik sehingga tidak diperlukan bahan untuk menyatukan dengan resin matriks yang juga bersifat organik, karena dapat berikatan secara langsung.

Jumlah volume *filler* nanosisal yang direkomendasikan dari hasil penelitian uji kekuatan mekanis sebelumnya adalah nanosisal dengan volume *filler* 60% yang paling optimal. Kekuatan mekanis *filler* komposit menggunakan serat alami akan terus bertambah sampai volume *filler* 60% dan berkurang saat volume *filler* mencapai 65% - 70%. Komposit nanosisal akan mulai retak jika jumlah volume *filler* mencapai sedikit di atas volume 60%. Pada hasil uji kekuatan tarik yang dilakukan pada serat alami lain didapatkan bahwa kekuatan akan terus meningkat sampai volume *filler* 58% - 65% kemudian kekuatan akan menurun saat jumlah *filler* di atas volume tersebut.

Untuk mengetahui ketahanan suatu material restorasi dapat diukur sifat mekanisnya, salah satunya adalah kekuatan tarik. Kekuatan tarik dilakukan untuk mengetahui seberapa besar gaya tarikan yang diterima oleh suatu spesimen dengan menggunakan sebuah alat. Kekuatan tarik merupakan salah satu sifat mekanis paling penting dalam material restorasi. Material restorasi dengan kekuatan tarik yang rendah menyebabkan tumpatan pada gigi akan mudah rusak dan lepas.

E. Kerangka Konsep



F. Hipotesis

Terdapat perbedaan kekuatan tarik antara resin komposit nanosisal 60% *filler* dengan resin komposit *nanofiller*.