

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bleaching

Bleaching adalah suatu tindakan untuk mencerahkan atau menghilangkan noda pada permukaan gigi secara kimiawi dengan menggunakan aplikasi larutan peroksida kuat. Warna merupakan masalah penting bagi seseorang yang ingin meningkatkan penampilan mereka, terutama perubahan warna gigi anterior dapat memberi dampak buruk bagi penampilan (Van der Geld *et al.*, 2007). Pemutihan gigi merupakan salah satu perawatan yang digunakan untuk mendapatkan warna gigi yang ideal selain penggunaan *veneers* dan pemasangan *crown* (Hulsmann dan Schafer, 2009). Pemutihan gigi relatif tidak invasif dan tidak membuang banyak jaringan keras gigi jika dibandingkan dengan perawatan seperti penggunaan *veneers* dan pemasangan *crown* (Attin *et al.*, 2010).

Bleaching dilakukan menggunakan material pemutih yang bisa bertindak sebagai material pengoksidasi (oksidator) atau agen pereduksi (reduktor). Bahan pemutih yang tersedia sebagai besarnya adalah oksidator. Bahan *bleaching* yang umum digunakan di bidang kedokteran gigi adalah hidrogen peroksida dan karbamid peroksida (Christensen, 2005). Karbamid adalah zat kimia yang secara bertahap terdegradasi sehingga melepaskan hidrogen peroksida dalam kadar rendah (Walton, 2008).

Secara garis besar *bleaching* dilakukan dengan teknik internal (melalui dalam pulpa) dan teknik eksternal (melalui permukaan email) (Walton, 2008).

Teknik internal digunakan untuk memutihkan gigi non-vital yang berkaitan dengan perawatan saluran akar sedangkan teknik eksternal diindikasikan untuk gigi vital. Teknik eksternal dapat dilakukan dengan cara *in-office bleaching* dan *home bleaching*. *Home bleaching* atau yang biasa disebut *nightguard bleaching* merupakan salah satu perawatan yang paling sering dipilih pasien (Paul *et al.*, 2007). Metode *home bleaching* digunakan sebagai metode pemutihan pada penelitian ini.

2.1.1 Material Bleaching

Kandungan utama material/bahan *bleaching* tergantung dari produsen pembuatnya, diantaranya hidrogen peroksida, karbamid peroksida, dan natrium perborat. Natrium perborat merupakan bahan *bleaching* secara internal. Bahan *bleaching* yang umum dipakai untuk *bleaching* eksternal adalah hidrogen peroksida dan karbamid peroksida dengan berbagai konsentrasi. Perawatan *home bleaching* biasanya menggunakan karbamid peroksida dengan konsentrasi $\pm 10\%$, sedangkan *in office bleaching* biasanya menggunakan hidrogen peroksida dengan konsentrasi 30-50% (Suprastiwi, 2005).

2.1.1.1 Hidrogen Peroksida

Hidrogen peroksida (H_2O_2) adalah pengoksidator kuat yang tersedia dalam berbagai tingkat kekuatan walaupun yang biasa dipakai adalah larutan yang distabilkan dengan kadar 30-50 % (Superoxol, Pehydrol). Menurut Greenwall (2006), hampir semua agen pemutih mengandung hidrogen peroksida dalam bentuk yang berbeda-beda. Hidrogen peroksida merupakan cairan bening, tidak berwarna, tidak berbau, lebih kental dari air, dan memiliki pH 4,5. Hidrogen peroksida relatif tidak stabil, mengalami dekomposisi secara perlahan dan melepaskan oksigen. Konsentrasi hidrogen peroksida mempengaruhi

keberhasilan prosedur *bleaching* yang berhubungan dengan durasi dan lama aplikasi (Gursoy, *dkk.*, 2008). Konsentrasi hidrogen peroksida yang digunakan sebagai bahan *bleaching* tersedia dari konsentrasi rendah hingga tinggi. Namun di klinik kedokteran gigi, hidrogen peroksida yang sering digunakan adalah konsentrasi 40%. Hidrogen peroksida 40% merupakan konsentrasi tinggi sehingga dalam pemakaiannya harus berhati-hati karena bersifat kaustik dan sangat mengiritasi jaringan lunak, sehingga dibutuhkan alat untuk melindungi jaringan lunak pada saat pengaplikasian. Daerah yang terkontak langsung dengan hidrogen peroksida harus segera dicuci dengan air (Herry, 2006).

Mekanisme reaksi hidrogen peroksida dalam pemutihan gigi sampai saat ini belum diketahui secara pasti, namun diduga terjadi penetrasi hidrogen peroksida ke dalam dentin dan email. Menurut Haywood dan Heymann (1991), hidrogen peroksida akan dipecah menjadi H₂O dan ion O yang kemudian akan mengoksidasi pigmen-pigmen gigi melalui reaksi oksidasi dan reduksi sehingga gigi tampak lebih putih (Tam, 2005). Pendapat lain dari Goldstein dan Garber (1995), bahwa hidrogen peroksida akan menghasilkan radikal bebas yang berpenetrasi ke dalam email dan dentin. Hidrogen peroksida memutus ikatan rantai panjang molekul kromofor menjadi molekul-molekul yang lebih kecil. Molekul-molekul yang lebih kecil tersebut dapat berdifusi ke dalam email dan dentin, sehingga memberi efek pemutihan gigi (Greenwall, 2006).

2.1.1.2 Karbamid Peroksida

Karbamid peroksida juga dikenal sebagai hidrogen peroksida urea, karena kombinasi dari urea dan hidrogen peroksida (Adam, 2010; Walton, 2008). Nama lain dari karbamid peroksida selain hidrogen peroksida urea adalah karbamid urea, urea peroksida, *perhydrol urea*, dan *perhydelure*. Karbamid

peroksida merupakan suatu senyawa yang tidak berbau, tidak toksik, dan berbentuk kristal putih yang dapat larut dalam alkohol, eter, dan air. Larutan karbamid peroksida sangat tidak stabil dan segera terurai menjadi bagian-bagiannya saat kontak dengan jaringan atau saliva (Suprastiwi, 2005).

Karbamid peroksida memiliki rumus kimia $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}_2$ yaitu senyawa organik terdiri dari hidrogen peroksida dan urea. Karbamid peroksida dapat digunakan dalam dua konsentrasi, yaitu konsentrasi tinggi (30-50%) yang dipakai untuk metode *in office bleaching* dan konsentrasi rendah (10-16%) yang digunakan untuk metode *home bleaching*. Pada karbamid peroksida 10% mengandung 3,6% hidrogen peroksida dan 6,4% urea. Urea dalam karbamid peroksida berperan sebagai penstabil agar efek bahan tersebut lebih panjang dan berperan memperlambat proses pelepasan hidrogen peroksida (Duschner, 2000).

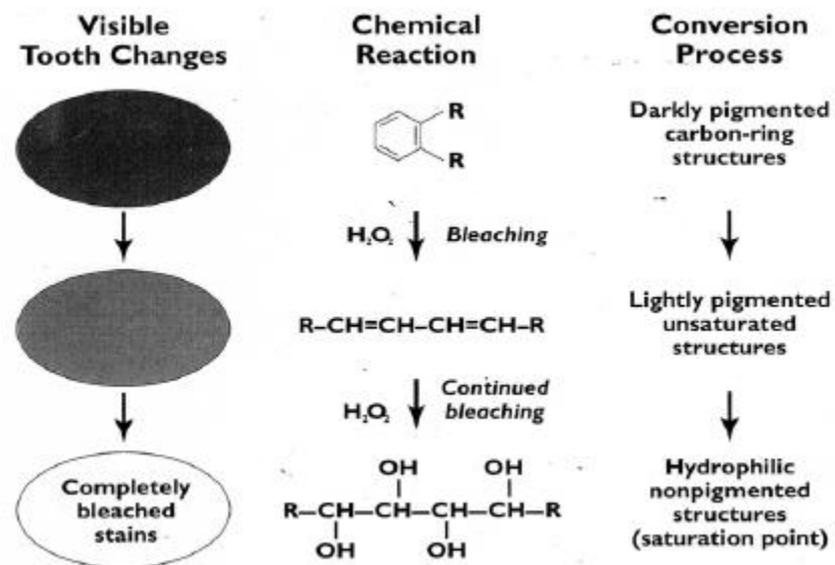
Bleaching menggunakan karbamid peroksida 10% telah disetujui di berbagai negara besar seperti Amerika (ADA), Canada (FDA), dan Eropa (SCCNFP) karena lebih aman, murah, dan efektif untuk pemutihan gigi vital (Meizarini, 2005; Suprastiwi, 2005). Kandungan bahan pemutih gigi yang utama adalah karbamid peroksida sebagai unsur aktif 10-15%, dan sisanya sekitar 85% adalah unsur non-aktif terdiri dari *glyserin* atau propilen glikol, *sodium stannate*, dan lain-lain. Karbamid peroksida dapat mengandung karbopol (polimer karboksipolimetilen) yang berfungsi sebagai menambah kekentalan dan daya lekat serta memperlambat proses pelepasan oksigen dari karbamid sehingga memungkinkan oksigen bereaksi lebih lama dengan bahan yang menyebabkan perwarnaan (Halim, 2006; Suprastiwi, 2005).

2.1.2 Mekanisme *Bleaching*

Reaksi yang terjadi pada proses *bleaching* adalah reaksi redoks (reduksi-oksidasi). Bahan *bleaching* hidrogen peroksida akan menghasilkan HO_2^- (*perhydroxy*) yang merupakan radikal bebas kuat dan H^+ sebagai radikal bebas lemah. Setelah terbentuk HO_2^- (*perhydroxy*) dalam jumlah yang besar, maka sebagian dari radikal bebas tersebut akan bereaksi dengan ikatan tidak jenuh. Hal ini menyebabkan gangguan pada konjugasi elektron dan perubahan penyerapan energi pada molekul organik email, selain itu terjadi perubahan berat molekul bahan organik gigi yang memantulkan gelombang cahaya spesifik penyebab diskolorasi pada bahan dengan berat molekul lebih rendah dan berkurangnya molekul yang merefleksikan cahaya, dengan demikian akan terbentuk molekul organik yang lebih kecil dengan warna yang lebih terang (Walsh, 2000). Sebagian radikal bebas yang tidak bereaksi atau yang disebut residual H_2O_2 akan tertinggal pada email dan dentin. Residual H_2O_2 yang tertinggal pada email menyebabkan perubahan morfologi struktur gigi karena kehilangan kalsium dan fosfat. Sedangkan residual yang tertinggal pada dentin menyebabkan melemahnya ikatan pada dentin dan menghambat polimerisasi (Spyrides, 2000). Selain itu, radikal-radikal bebas yang dihasilkan oleh bahan *bleaching* juga dapat berdampak pada resin komposit. Radikal bebas tersebut akan memutuskan ikatan karbon siklik yang terdapat pada matriks resin komposit. Reaksi ini akan mengubah ikatan karbon siklik menjadi ikatan ganda yang kemudian akan terputus lagi menjadi ikatan tunggal. Proses ini akan terus berlanjut hingga terjadi oksidasi sempurna. Dan reaksi tersebut menyebabkan ikatan Bis-GMA menjadi lemah dan terdegradasi. Selain memutus ikatan karbon siklik, radikal bebas juga memutus ikatan *siloxane*. Rantai *siloxane* yang putus

dapat menyebabkan terlepasnya partikel *filler* dan matriks resin sehingga dapat menimbulkan *microscopic cracks* yang menyebabkan meningkatnya kebocoran mikro (Gandaatmadja, 2010; Pruthi, 2010).

Mekanisme *bleaching* pada bahan karbamid peroksida hampir sama dengan mekanisme dengan bahan hidrogen peroksida. Hal tersebut dikarenakan karbamid peroksida akan terurai menjadi urea dan hidrogen peroksida. Komponen urea dalam karbamid peroksida akan menstabilkan hidrogen peroksida dan dengan kontak pada gigi yang lebih lama akan diperoleh efisiensi reaksi yang sempurna. Karbamid peroksida mula-mula terpecah menjadi hidrogen peroksida untuk kemudian terjadi reaksi redoks (Matis, 2003).



Gambar 2.1 Proses oksidasi pada *bleaching*

2.1.3 Prosedur Bleaching

2.1.3.1 Teknik Pemutihan Internal (Non-vital)

Teknik internal digunakan untuk memutihkan gigi non-vital yang berkaitan dengan perawatan saluran akar. Indikasi bagi teknik pemutihan internal adalah

perubahan warnanya berasal dari kamar pulpa, perubahan warna dentin, dan perubahan warna yang tidak dapat diatasi dengan pemutihan eksternal. Kontraindikasinya adalah perubahan warna email superfisial, pembentukan email yang tidak sempurna, kehilangan dentin yang parah, dan komposit yang berubah warna (Thosre dan Mulay, 2009). Metode yang paling sering digunakan adalah teknik termokatalitik dan *walking bleach* (Walsh, 2000).

2.1.3.2 Teknik Pemutihan Eksternal

Teknik pemutihan eksternal (aplikasi oksidator pada permukaan email gigi) digunakan untuk pemutihan gigi-gigi vital. Teknik *bleaching* eksternal dapat dilakukan oleh pasien di rumah dengan pantauan dokter gigi (*home bleaching*). Indikasi teknik pemutihan ini adalah perubahan warna email yang ringan, fluorosis endemik, dan perubahan warna terkait dengan umur. Kontraindikasinya adalah perubahan warna kehitaman yang parah, kehilangan email yang parah, dekat dengan tanduk pulpa, ada karies, gigi yang hipersensitif, dan restorasi korona yang buruk (Matis, 2003).

Telah banyak teknik yang dianjurkan untuk pemutihan eksternal pada gigi vital. Beberapa kasus perubahan warna berhasil dirawat dengan teknik ini tetapi ada pula yang tidak. Faktor-faktor yang menentukan adalah lokasi dan tingkat perubahan warnanya. Pemutihan gigi dengan teknik eksternal *nightguard bleaching* adalah satu perawatan yang paling sering dipilih pasien (Paul *et al.*, 2007). Teknik *nightguard bleaching* dilakukan di rumah dan penggunaannya sesuai aturan pabrik bergantung pada produk material pemutihan yang digunakan (Sundoro, 2000).

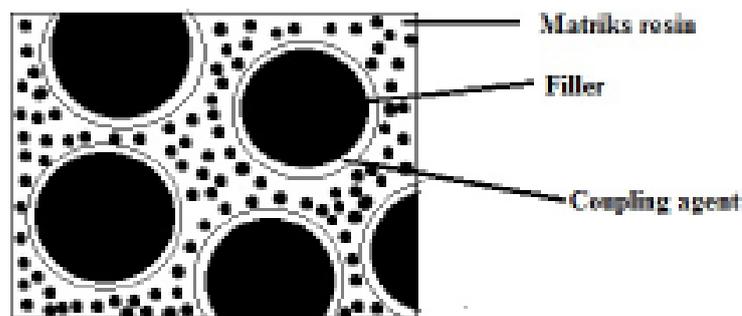
2.2 Resin Komposit

Resin komposit digunakan untuk menggantikan struktur gigi yang hilang dan memodifikasi warna dan kontur dari gigi, sehingga meningkatkan estetika pada permukaan fasial gigi (Sakaguchi, *et al.*, 2012). Resin komposit telah diperkenalkan ke dalam bidang konservatif kedokteran gigi yang digunakan untuk meminimalkan kelemahan dari resin akrilik yang menggantikan semen silikat yang merupakan satu-satunya bahan estetika yang tersedia sebelumnya. Tahun 1955, Buonocore menggunakan asam ortofosfat untuk meningkatkan adhesi resin akrilik ke permukaan email. Tahun 1962, Bowen mengembangkan monomer Bis-GMA dalam upaya untuk memperbaiki sifat fisik dari resin akrilik. Resin komposit telah berkembang secara terus menerus, sehingga perlu untuk selalu mengikuti perkembangannya (Hervas, *et al.*, 2006).

Resin komposit adalah suatu material yang setidaknya terdiri dari dua bahan berbeda yang digabungkan dan setiap komponen atau bahan memiliki struktur dan sifat yang berbeda-beda (Fortin, 2000). Tujuan dari hal ini adalah untuk menghasilkan bahan yang memiliki sifat-sifat yang tidak dapat dicapai hanya dengan satu komponen atau bahan saja (Mc Cabe *et al.*, 2008). Resin komposit merupakan bahan restorasi yang terdiri atas tiga komponen utama, yaitu: komponen organik (resin) yang membentuk matriks, bahan pengisi (*filler*) anorganik, dan bahan interfisial untuk menyatukan resin dan *filler* yang disebut sebagai *coupling agent* (Schmalz, 2009; Van Noort, 2008; Garcia, *et al.*, 2006; Powers, *et al.*, 2008; Craig, 2002). Selain itu resin komposit juga mengandung pigmen agar warna resin komposit dapat menyerupai warna struktur gigi dan inisiator serta akselerator untuk mengaktifkan mekanisme pengerasan/polimerisasi (Powers, *et al.*, 2008; Craig, 2002).

2.2.1 Komposisi Resin Komposit

Bahan restorasi komposit mengandung sejumlah komponen. Kandungan utama adalah matriks resin dan partikel pengisi anorganik (*filler*). Di samping kedua komponen bahan tersebut, beberapa komponen lain diperlukan untuk meningkatkan efektivitas dan ketahanan bahan. Suatu bahan *coupling* diperlukan untuk memberikan ikatan antar bahan pengisi anorganik (*filler*) dan matriks resin. Selain itu, bahan aktivator-inisiator juga diperlukan untuk polimerisasi resin. Resin komposit juga harus mengandung pigmen warna untuk memperoleh warna yang cocok dengan struktur gigi (Anusavice, 2004).



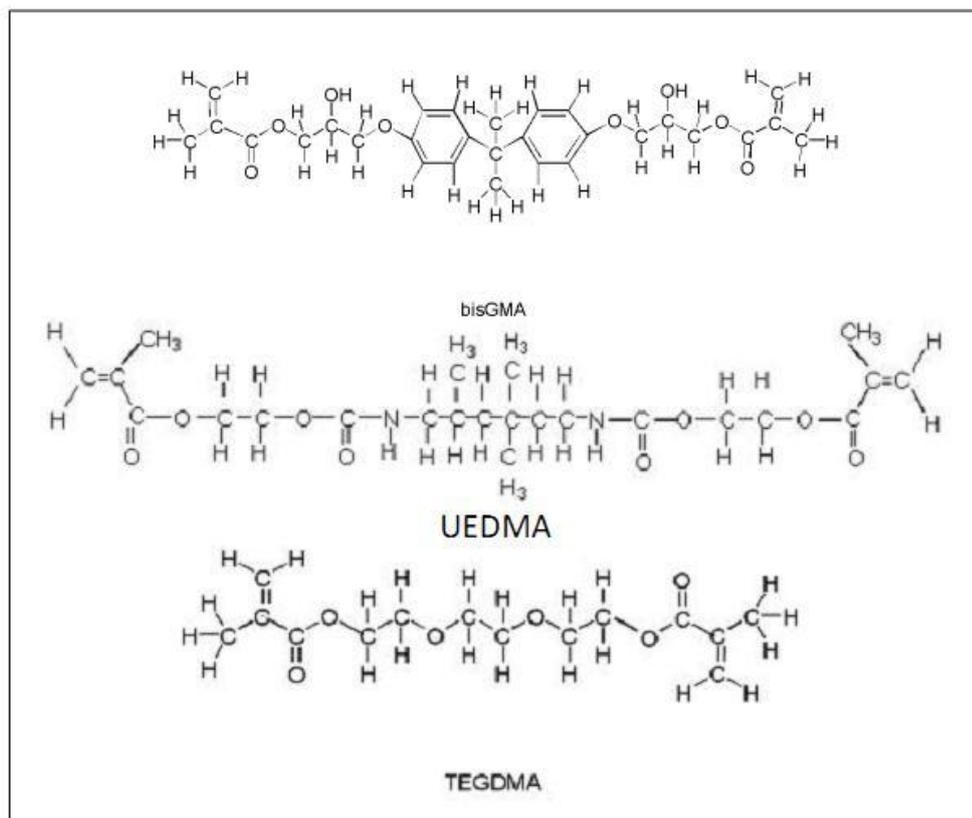
Gambar 2.2 Komposisi utama resin komposit yang terdiri dari matriks resin, bahan pengisi anorganik (*filler*), dan *coupling agent* (Anusavice, 2004).

2.2.1.1 Matriks Resin

Kebanyakan bahan komposit menggunakan monomer yang merupakan *diacrylate aromatic* atau *alipatik*. Bahan *dimetakrilat* monomer yang biasa umum digunakan dalam resin komposit adalah *bisphenol-A-Glycidyl Methacrylate* (Bis-GMA), *Urethane Dimethacrylate* (UDMA), dan *Triethylene Glycol Dimethacrylate* (TEGDMA). Bis-GMA dan *Urethane Dimethacrylate* merupakan jenis monomer dengan viskositas tinggi karena memiliki berat molekul yang besar dan berfungsi untuk mengurangi pengerutan saat berpolimerisasi. Selain itu terdapat juga monomer dengan viskositas rendah seperti, *Methyl Methacrylate* (MMA),

Ethylene Glycoldimethacrylate (EDMA), dan *Triethylene Glycol Dimethacrylate* (TEGDMA).

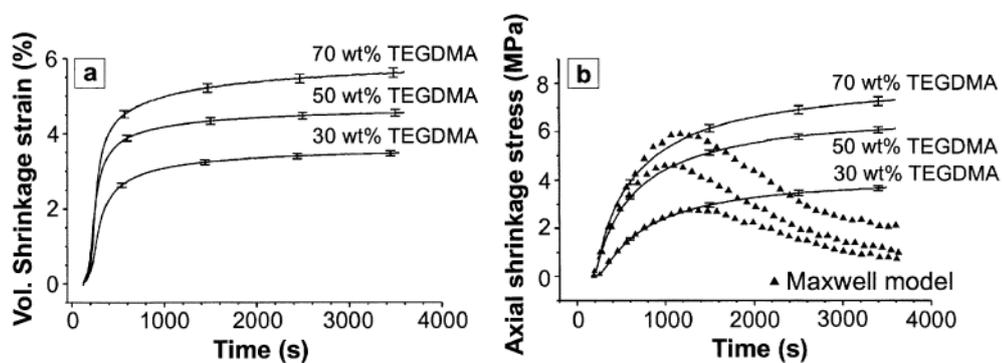
Kepadatan dari *dimethacrylate* dapat mengurangi penyusutan saat polimerisasi dan *dimethacrylate* dapat meningkatkan kekuatan serta kekakuan dari polimer, sehingga hasilnya matriks resin sangat tahan terhadap pelunakan dan degradasi oleh panas dan pelarut seperti alkohol (Koudi dan Patil, 2007).



Gambar 2.3 Struktur kimia Bis-GMA, UEDMA, dan TEGDMA (Garcia *et al.*, 2006)

Bis-GMA adalah dimetakrilat yang umum digunakan pada resin komposit. Bis-GMA memiliki viskositas yang tinggi sehingga membutuhkan tambahan dari dimetakrilat lain yang memiliki viskositas rendah, seperti *Methyl Methacrylate* (MMA), *Ethylene Glycoldimethacrylate* (EDMA), dan *Triethylene Glycol Dimethacrylate* (TEGDMA). Namun, monomer ini menyebabkan *shrinkage*

polimerisasi yang lebih besar. Semakin besar proporsi dari monomer, maka dapat menyebabkan semakin besarnya *shrinkage* polimerisasi dan resiko kebocoran pada celah marginal. Dan semakin besar berat molekul rata-rata dari monomer ataupun kombinasi monomer, maka semakin besar persentase *shrinkage* (Albers, 2002; Garcia *et al.*, 2006). Semakin banyak TEGDMA yang menggantikan Bis-GMA, semakin besar *shrinkage* yang dihasilkan (Feilzer, *et al.*, 2003).



Gambar 2.4 Grafik menunjukkan bahwa semakin banyak TEGDMA yang menggantikan Bis-GMA, maka semakin besar pula *shrinkage* yang dihasilkan (Feilzer, *et al.*, 2003).

2.2.1.2 Bahan Pengisi (*Filler*)

Penambahan *filler* sebagian besar menentukan sifat mekanik dari bahan restorasi (Albers, 2002; LeSage, 2007). Partikel-partikel *filler* ditambahkan ke fase organik untuk memperbaiki sifat fisik dari matriks, seperti berkurangnya pengerutan karena jumlah resin sedikit, berkurangnya penyerapan air, dan ekspansi koefisien panas. Dan meningkatkan sifat mekanik, seperti kekuatan, kekakuan, kekerasan, dan ketahanan abrasi (Albers, 2002; Anusavice, 2004; Garcia *et al.*, 2006). Faktor-faktor penting lainnya yang menentukan sifat dan aplikasi klinis komposit adalah jumlah bahan pengisi yang ditambahkan, ukuran

partikel dan distribusi, dan kekerasan (Albers, 2002; Cakir *et al.*, 2007; Khaled, 2011).

Partikel *filler* yang digunakan bervariasi dalam komposisi kimia, morfologi, dan dimensi. Pengisi utama adalah *silicon dioksida*, *silikat boron*, dan *silikat aluminium lithium* juga umum digunakan. Bahan pengisi halus yaitu *Quartz*, *Lithium aluminium silicate*, *barium*, *strontium*, *zinc* terdapat pada *fine filler*. Bahan pengisi sangat halus yaitu *colloidal silica particles* biasanya terdapat pada *microfine filler*. Radiopak bahan pengisi disebabkan oleh sejumlah kaca dan porselen yang mengandung logam berat seperti *Barium* (Ba), *strontium* (Sr) dan *Zirconium* (Zr). Kaca pengisi yang paling sering dipakai adalah kaca barium (Albers, 2002; Cakir, *et al.*, 2007; Powers, *et al.*, 2008; Khaled, 2011).

2.2.1.3 Coupling Agent

Komponen penting yang terdapat pada resin komposit yang banyak dipergunakan saat ini adalah *coupling agent*. *Coupling agent* memperkuat ikatan antara matriks dan *filler* dengan cara bereaksi secara kimia. *Coupling agent* antara partikel *filler* dan resin matriks diperoleh melalui *silane alcoxy* trifungsional, yang disebut "*silane*" dalam literatur (Shmalz *et al.*, 2009). *Silane* bereaksi dengan permukaan *filler* anorganik dan dengan matriks organik untuk memungkinkan kedua bahan utama tersebut berikatan dengan baik (Powers *et al.*, 2008). Adhesi yang baik dari kedua bahan utama itu diperlukan untuk meminimalkan hilangnya partikel *filler* dan menurunkan potensi keausan (Hatrack *et al.*, 2011). Hal ini membuat matriks resin memindahkan tekanan kepada partikel *filler* yang lebih kaku (Albers, 2002; Cakir *et al.*, 2007; Khaled, 2011). Kegunaan *coupling agent* tidak hanya untuk memperbaiki sifat kimia dari komposit tetapi juga meminimalkan hilangnya partikel *filler* akibat penetrasi

cairan antara resin dan *filler* (Albers, 2002; Cramer *et al.*, 2011; Cakir *et al.*, 2007).

2.2.1.4 Sistem Aktivator dan Inisiator

Monomer metil metakrilat dan dimetil metakrilat berpolimerisasi dengan mekanisme polimerisasi tambahan yang diawali oleh radikal bebas. Radikal bebas dapat berasal dari aktivasi kimia atau pengaktifan energi eksternal (panas atau sinar). Karena penggunaan resin komposit biasanya menggunakan aktivasi sinar atau kimia (Anusavice, 2004; Cramer, *et al.*, 2011).

a. Self Cure

Resin yang diaktivasi secara kimia memiliki sistem dua pasta, yang membutuhkan pencampuran sebelum penempatan. Pencampuran merupakan langkah penting, karena pencampuran harus menyeluruh dan harus dipastikan bahwa aktivator (N, N-dimetil-p-toluidien) sudah tercampur dengan inisiator (*benzoyl peroxide*) yang membentuk radikal bebas. Proses ini dapat memasukkan udara ke dalam bahan, sehingga menciptakan rongga yang mengurangi kekuatan komposit (Nicholson, 2002).

b. Light Cure

Komposit yang diaktifkan dengan sinar menggunakan sistem satu pasta yang mengandung fotoinisiator yang sensitif terhadap cahaya biru (yaitu cahaya dengan panjang gelombang 470 nm). *Setting* dimulai dengan menggunakan *light curing unit* yang memancarkan sinar dengan panjang gelombang 470 nm dan dengan intensitas cahaya minimal 500 W (Nicholson, 2002). Komposit yang diaktifkan dengan sinar tampak lebih luas penggunaannya dibandingkan bahan yang diaktifkan secara kimia. Resin komposit yang mengeras dengan sinar terdiri dari satu pasta saja. Sistem pembentuk radikal bebas yang terdiri atas molekul-

molekul fotoinisiator *champroquinone* dan aktivator amin yang terdapat dalam pasta tersebut. Bila tidak disinari maka kedua komponen tersebut tidak akan bereaksi. Sebaliknya, bila disinari dengan panjang gelombang yang tepat akan merangsang fotoinisiator bereaksi dengan aktivator amin tersier membentuk radikal bebas (Anusavice, 2004). Keuntungan dari komposit yang diaktivasi sinar ini adalah *working time* yang panjang sehingga operator tidak terburu-buru saat mengaplikasikan resin komposit dan restorasi dikerjakan secara *incremental* sehingga penyusutan saat polimerisasi lebih rendah dan juga menghasilkan restorasi dengan stabilitas warna yang lebih baik (Soratur, 2002 ; Susanto, 2005).

c. *Dual Cure*

Resin komposit *dual cure* memiliki sistem dua pasta yang mengandung inisiator-aktivator dan keduanya diaktivasi dengan sinar kemudian diaktivasi juga secara kimiawi (Mitchell, 2014). Keuntungan dari jenis ini adalah saat dibutuhkan restorasi pada tempat yang susah untuk dijangkau *light curing unit* karena saat dua pasta telah dimanipulasi dan ditempatkan pada gigi dan digunakan *light curing unit* untuk menginisiasi *setting reaction* dan dilanjutkan dengan reaksi kimia dengan sendirinya. Proses *dual cure* ini sangat membantu saat perawatan endodontik dan penempatan bahan komposit inti pada ruang kanal. *Light curing unit* mungkin tidak dapat mencapai kanal, tetapi komposit akan teraktivasi secara kimia dengan sendirinya (Hatrack *et al.*, 2011).

2.2.1.5 Sistem Inhibitor

Penambahan sistem inhibitor pada resin komposit bertujuan untuk meminimalkan atau mencegah polimerisasi spontan dari monomer. Inhibitor ini mempunyai potensi reaksi yang kuat dengan radikal bebas untuk mengawali proses polimerisasi (Cramer, *et al.*, 2011). Bahan penghambat yang sering

dipakai adalah *butylated hydroxytoluene* dengan konsentrasi 0,01% berat (Anusavice, 2004).

2.2.1.6 Modifier Optic

Resin komposit kedokteran gigi harus memiliki warna visual (*shading*) dan translusensi yang dapat menyerupai struktur gigi. Resin komposit banyak disukai karena tingkat translusensi dan radiopaknya yang tinggi. Kebutuhan estetik membuat resin komposit memiliki warna yang semirip mungkin dengan gigi. Penambahan bahan pigmen yang berbeda menjadi elemen yang sangat penting untuk suatu resin komposit, karena bahan ini membuat komposit menjadi sewarna dengan gigi. Bahan ini mengandung *ferric oxide* (F_2O_3) dan *ferric hydroxide*, dimana dapat memberikan warna yang baik, stabil dalam waktu lama pada lingkungan rongga mulut, dan cukup bervariasi sehingga terdapat bermacam-macam *shade* (Nicholson, 2002; Malhotra, N, *et al.*, 2010).

Translusensi atau opasitas dibuat untuk menyesuaikan dengan warna email dan dentin. Untuk meningkatkan opasitas, pabrik pembuat menambahkan titanium oksida dan aluminium oksida dalam jumlah kecil. Hal tersebut dikarenakan oksida merupakan bahan pembuat opak yang efektif. *Modifier optic* mempengaruhi kemampuan transmisi cahaya dari komposit (Anusavice, 2004).

2.2.2 Sifat-Sifat Resin Komposit

Secara fisik dari resin komposit adalah memiliki nilai estetik yang baik sehingga nyaman digunakan pada gigi anterior. Selain itu juga kekuatan, waktu pengerasan, dan karakteristik permukaan menjadi pertimbangan dalam penggunaan komposit. Sifat mekanis pada bahan restorasi resin komposit merupakan faktor yang penting terhadap kemampuan bahan ini bertahan pada kavitas. Sifat ini juga harus menjamin bahan tambalan berfungsi secara efektif,

aman, dan tahan untuk jangka waktu tertentu (Anusavice, 2004; Hatrick *et al.*, 2011).

2.2.2.1 Penyerapan Air

Resin komposit memiliki kemampuan untuk menyerap air (*water sorption*). Kemampuan menyerap air pada resin komposit *hybrid* lebih rendah daripada resin komposit *microfiller*. Hal ini dikarenakan oleh besarnya fraksi volume dari polimer. Kualitas dan stabilitas dari *silane coupling agent* sangat penting untuk meminimalkan kegagalan ikatan antara *filler* dan *polymer* serta kemampuan untuk menyerap air (Sakaguchi, *et al.*, 2012).

2.2.2.2 Penyusutan saat Polimerisasi (*Polymerization Shrinkage*)

Potensi penyusutan saat polimerisasi lebih besar pada komposit *microfiller*, karena memiliki volume matriks resin yang tinggi. Penyusutan ini menciptakan stres saat polimerisasi antara struktur gigi dan komposit. Bahkan setelah dilakukan prosedur etsa dan bonding, stres dari *polymerization shrinkage* dapat melebihi dari *bond strength* dari sebuah komposit ke struktur gigi sehingga dapat mengakibatkan kebocoran tepi. Resin komposit harus diaplikasikan secara *incremental* guna mengurangi penyusutan saat polimerisasi (Powers, *et al.*, 2008).

2.2.2.3 Warna

Resin komposit merupakan sebuah bahan restorasi yang estetik, sehingga warna merupakan hal yang penting. Stabilitas warna pada resin komposit dipengaruhi oleh faktor ekstrinsik dan intrinsik. Faktor ekstrinsik meliputi intensitas, durasi saat polimerisasi, dan terpaparannya komposit dengan faktor lingkungan, seperti kopi, teh, jus anggur, anggur merah dan minyak wijen. Faktor intrinsik meliputi komposisi dari monomer, *filler*, dan tipe *photo-inisiator* (Catelan,

et al., 2013). Resin komposit disesuaikan dengan warna gigi dengan memiliki warna visual (*shading*) dan translusensi yang dapat menyerupai struktur gigi. Translusensi atau opasitas dibuat untuk menyesuaikan dengan warna email dan dentin (Sakaguchi, *et al.*, 2012).

2.2.2.4 *Setting Time*

Resin komposit yang diaktifkan secara kimia memerlukan *setting time* 3 hingga 5 menit. *Setting time* yang pendek tersebut dicapai dengan mengatur konsentrasi inisiator dan akselerator. *Setting time* resin komposit yang diaktifkan dengan sinar tergantung dari intensitas dan penetrasi dari *blue light* (O'brien, 2002).

2.2.2.5 Kekuatan dan Modulus

Besar kekuatan fleksural dan kompresi dari berbagai jenis resin komposit adalah mirip antara satu sama lain. Modulus fleksural dan kompresi dari resin komposit *microfiller flowable* lebih rendah 50% daripada nilai pada resin komposit *hybrid packable* yang menggambarkan jumlah volume *filler* yang lebih rendah pada resin komposit *microfiller flowable* (Sakaguchi, *et al.*, 2012).

Tabel 2.1 Macam Kekuatan dari Tipe-Tipe Resin Komposit (Sakaguchi, *et al.*, 2012 ; McCabe, *et al.*, 2008)

<i>Property</i>	<i>Nanocomposite</i>	<i>Multipurpose</i>	<i>Microfill</i>	<i>Hybrid</i>
<i>Flexural Strength</i>	180	80-160	60-120	150
<i>Flexural Modulus</i>	-	8.8-13	4.0-6.9	-
<i>Flexural Fatigue Limit</i>	-	60-110	-	-
<i>Compressive Strength</i>	460	240-290	240-300	300
<i>Compressive Modulus</i>	-	5.5-8.3	2.6-4.8	-

<i>Diametral Tensile Strength</i>	81	30-55	25-40	50
<i>Linear Polymerization Shrinkage</i>	-	0,7-1,4	2-3	-

2.2.2.6 Biokompatibilitas

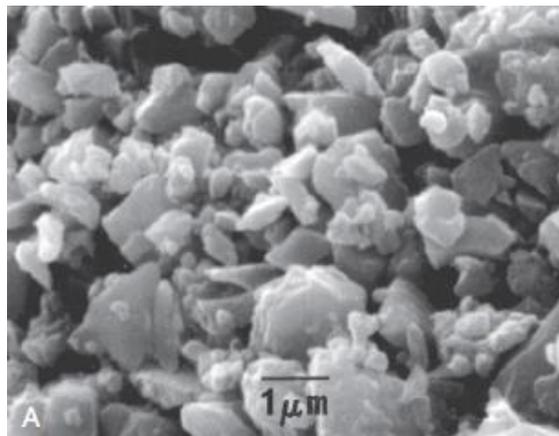
Pertimbangan terhadap biokompatibilitas bahan restorasi biasanya berhubungan dengan efek terhadap pulpa dari dua aspek yaitu, keracunan kimia dari bahan atau adanya kebocoran tepi. Bahan kimia yang berasal dari komposit dapat membahayakan pulpa jika ada komponen yang dikeluarkan atau berdifusi dari bahan dan selanjutnya mencapai pulpa. Berdasarkan sudut pandang imunologis, pada keadaan yang amat jarang terjadi, pasien dan tenaga kedokteran gigi dapat mengalami reaksi alergi terhadap bahan ini. Bahan komposit yang tidak mengeras pada dasar suatu kavitas dapat bertindak sebagai penampung dari komponen yang tidak larut dan dapat menyebabkan adanya peradangan pulpa jangka panjang. Situasi ini merupakan bahan pertimbangan dalam menggunakan bahan yang diaktifkan dengan sinar. Pertimbangan lainnya dihubungkan dengan pengerutan komposit selama polimerisasi dan kebocoran tepi. Kebocoran tepi dapat menyebabkan pertumbuhan bakteri dan mikroorganisme yang dapat mengundang adanya karies sekunder, reaksi pulpa atau keduanya (Anusavice, 2004).

2.2.3 Macam Resin Komposit

Beberapa sistem klasifikasi telah diperkenalkan untuk bahan tumpatan resin komposit. Klasifikasi resin komposit berdasarkan ukuran partikel *filler*, yaitu:

2.2.3.1 Resin Komposit Konvensional

Resin komposit konvensional kadang-kadang disebut juga sebagai komposit tradisional pasi makro atau *macrofiller* (Anusavice, 2004). Merupakan resin komposit generasi pertama yang dikembangkan pada tahun 1970-an. Komposit ini berasal dari resin akrilik yang ditambah *filler* anorganik seperti, *glass*, *quartz*, dan *boron glass* dengan ukuran rata-rata partikel sebesar 10-20 μm dan 40 μm untuk ukuran partikel yang lebih besar. Resin komposit tipe ini mempunyai daya tahan yang baik terhadap fraktur dan dapat dipolish tetapi hasilnya tidak begitu baik (*semipolishable*). Hal ini disebabkan karena perbedaan kekerasan antara bahan pengisi dan matriks resin sehingga setelah pemolesan akan didapatkan permukaan yang kasar. Bahan ini diindikasikan untuk restorasi kavitas klas IV, untuk gigi posterior, dan pembuatan *core*. Restorasi cenderung berubah warna karena makanan atau minuman sehingga jarang digunakan lagi di klinik (Albers, 2002; LeSage, 2007; Garcia, *et al.*, 2006; Hatrick, *et al.*, 2011).

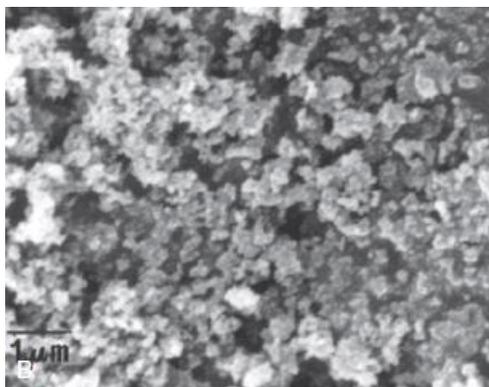


Gambar 2.5 Resin Komposit Konvensional (Sakaguchi, *et al.*, 2012)

2.2.3.2 Resin Komposit Mikrofill

Merupakan pengembangan dari resin komposit konvensional dengan mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh resin komposit konvensional yang kasar. Resin komposit mikrofill terdiri dari bahan pengisi *silica* dengan ukuran

filler 0,02 μm . Ukuran partikel yang lebih kecil menunjukkan permukaan komposit mikrofil halus, mudah dipoles serta dapat meningkatkan kontak daerah permukaan yang luas. Kelebihan resin ini adalah kemampuan untuk menghasilkan permukaan akhir yang lebih halus yang sesuai untuk restorasi estetika. Kekurangan yang ada yaitu ikatan antara partikel komposit dan matriks dapat mengeras merupakan ikatan yang lemah, mempermudah pecahnya restorasi, sehingga resin komposit jenis ini tidak diindikasikan untuk gigi yang harus menahan beban kunyah berat. Hal ini dapat diperkirakan karena hampir 50-70% volume bahan tambahan terdiri dari resin. Kandungan resin yang lebih besar dibanding *filler* mengakibatkan absorpsi air, koefisien panas yang tinggi, serta menurunnya modulus elastisitas (Albers, 2002; Schneider, *et al.*,2010). Bahan ini diindikasikan untuk restorasi kavitas klas III, kavitas klas IV, kavitas klas V, dan untuk labial *veneers* (Anusavice, 2004).

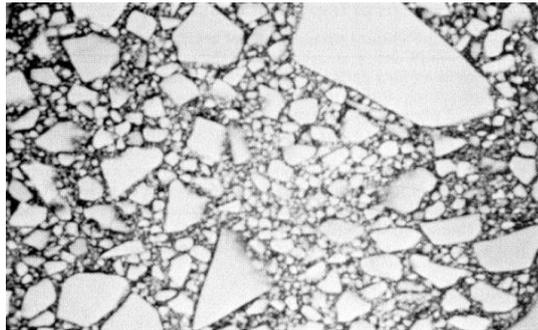


Gambar 2.6 Resin Komposit *Microfiller* (Sakaguchi, *et al.*,2012)

2.2.3.3 Resin Komposit Partikel Kecil / Mikro

Resin komposit berpartikel kecil muncul sebagai perkembangan alami dengan memiliki dua kelebihan yaitu permukaannya yang halus seperti *microfilled* dan sifat mekanik seperti *macrofilled*. Komposit berpartikel kecil umumnya mengandung lebih banyak pasi anorganik dibandingkan dengan komposit konvensional. Komposit berbahan pengisi partikel kecil menggunakan

quartz sebagai bahan pengisi, namun lebih banyak menggunakan partikel *fine glass* sebagai *filler*. Partikel *filler* dari komposit ini berukuran 1-5 *microns* (μm). Bahan ini diindikasikan untuk aplikasi pada daerah dengan tekanan dan abrasi tinggi seperti kelas I dan II (Chandra, 2000).

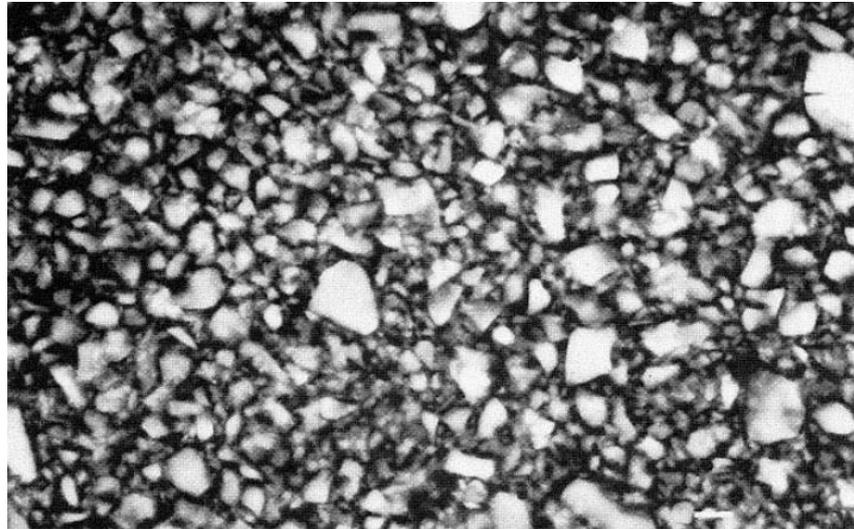


Gambar 2.7 Resin Komposit Partikel Mikro (Anusavice, 2004).

2.2.3.4 Resin Komposit *Hybrid*

Resin komposit *hybrid* merupakan kombinasi ideal dari estetik dan daya tahan pada restorasi komposit. Sifat fisik dan mekanis untuk komposit *hybrid* umumnya berkisar antara komposit konvensional dan komposit *microfiller* (Albers, 2002; Donly, *et al.*, 2002; Schneider, *et al.*, 2010). Resistensi terhadap fraktur dihubungkan dengan jumlah *filler* pada komposit. Komposit yang memiliki *filler* banyak berarti memiliki resistensi terhadap fraktur yang tinggi, karena itu komposit *hybrid* lebih resisten terhadap fraktur dibanding dengan komposit *microfiller* (Donly, *et al.*, 2002). Resin komposit *hybrid* mempunyai ukuran *filler* 0,6-1 μm . Partikel bahan pengisi dalam komposit *hybrid* terdiri dari silika koloid dan partikel gelas yang berisi metal berat. Kelebihan bahan ini yaitu memiliki *compressive strength* yang paling tinggi. Resin komposit *hybrid* mengandung dua macam *filler*, yaitu partikel *macrofiller* dan partikel *microfiller*. Resin komposit *hybrid* kurang baik pada pemolesan dibanding dengan resin komposit *microfiller*,

tetapi tipe ini lebih tahan terhadap abrasi sehingga dapat digunakan sebagai bahan restorasi klas IV (O'Brien, 2002).



Gambar 2.8 Resin Komposit *Hybrid* (Anusavice, 2004)

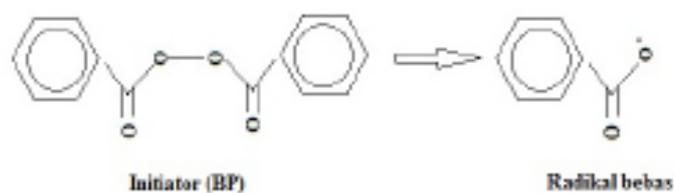
2.2.4 Polimerisasi Resin Komposit

Suksesnya restorasi komposit secara klinis bergantung pada polimerisasi yang sempurna (Aguiar, F, *et al.*, 2007; Lopes, *et al.*, 2008; Bektas, *et al.*, 2012). Polimerisasi adalah reaksi intermolekuler berantai yang secara fungsional mampu berlangsung secara tidak terbatas. Polimerisasi terjadi melalui serangkaian reaksi kimia dimana polimerisasi dibentuk oleh sejumlah monomer individual. Unit monomer tersebut berhubungan satu dengan yang lain sepanjang rantai polimer ikatan kovalen. Resin komposit adalah monomer dimana bahan ini mengeras melalui mekanisme tambahan yang diawali oleh radikal bebas. Radikal bebas ini dapat diaktivasi kimia atau energi dari luar (panas, penyinaran) (Verawaty, 2006).

Resin komposit mengeras melalui mekanisme polimerisasi yang dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu:

- a. Resin diaktivasi secara kimiawi (*Self Cure*)

Resin yang diaktivasi secara kimiawi ini diperjualbelikan dalam bentuk dua pasta. Salah satu pastinya berisi inisiator *benzoyl peroxide*, sedangkan yang lainnya berisi aktivator *tertiary amine*. Bila kedua bahan ini diaduk, *amine* akan bereaksi dengan *benzoyl peroxide* dan membentuk radikal bebas sehingga mekanisme pengerasan akan dimulai (Anusavice, 2004).



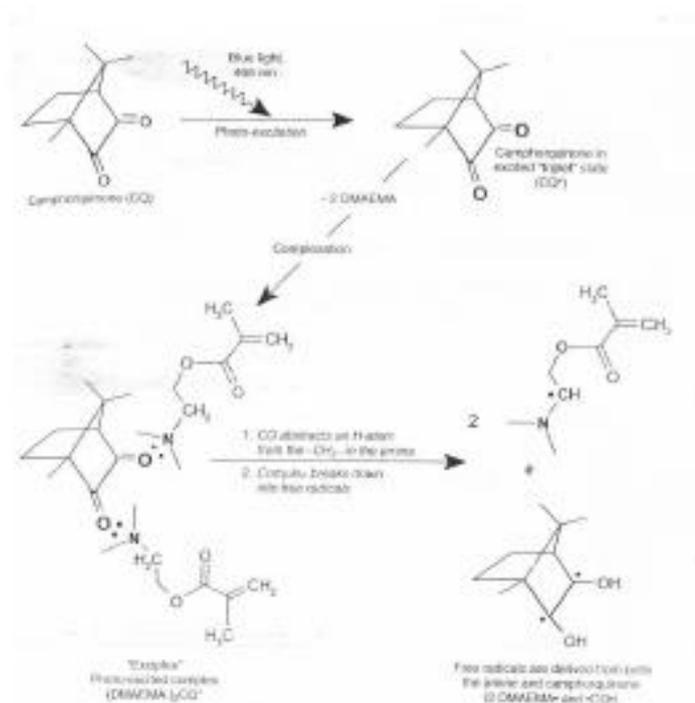
Gambar 2.9 Resin diaktivasi secara kimia (Albers, 2002).

b. Resin diaktivasi oleh sinar (*Light Cure*)

Bahan resin komposit yang dipolimerisasi dengan sinar diperjualbelikan dalam bentuk pasta dan dimasukkan dalam sebuah semprit. Sistem pembentuk radikal bebas yang terdiri atas molekul-molekul fotoinisiator dan aktivator *amine* terdapat dalam bentuk pasta tersebut. Bila tidak disinari, maka kedua komponen tersebut tidak akan bereaksi. Sebaliknya, sinar dengan panjang gelombang yang tepat dapat merangsang fotoinisiator bereaksi dengan *amine* dan membentuk radikal bebas (Anusavice, 2004).

Keuntungan dari polimerisasi sinar adalah proses pengerasan yang cepat, terkontrol, dan bahan resin komposit menunjukkan warna yang lebih stabil dibandingkan dengan sistem polimerisasi *self-cured* (polimerisasi secara kimiawi) (Albers, 2002; LeSage, 2007). Namun secara klinis ditemukan beberapa kelemahan, yaitu *shrinkage* dan menurunnya kekerasan. Resin komposit yang diaktivasi oleh sinar akan mengalami pengerutan polimerisasi ke arah sumber sinar (Albers, 2002; Garcia, *et al.*, 2006; Bektas, *et al.*, 2012).

Proses polimerisasi terjadi dalam tiga tahapan, yaitu tahap inisiasi, dimana molekul besar terurai karena proses panas menjadi radikal bebas. Proses pembebasan tersebut menggunakan sinar tampak yang dimulai dengan panjang gelombang 460-485 nm. Tahap kedua adalah propagasi, pada tahap ini monomer yang diaktifkan akan saling berikatan sehingga tercapai polimer dengan jumlah monomer tertentu. Tahap terakhir adalah terminasi, dimana rantai membentuk molekul yang stabil (Aguiar, F, *et al.*, 2007).



Gambar 2.10 Resin diaktivasi sinar (Albers, 2002).

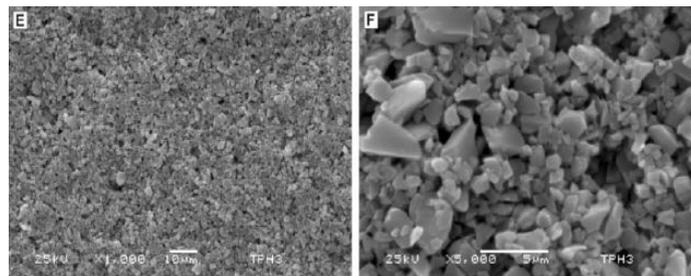
Menurut Price, *et al.* (2000), jarak sumber sinar paling ideal guna mendapatkan polimerisasi yang optimal adalah 1-2 mm dengan ketebalan material resin komposit 1,5-2 mm. Jika jarak sumber sinar mencapai 5-6 mm, maka sinar yang diterima resin komposit tidak dapat terjadi polimerisasi yang optimal sehingga menyebabkan penurunan sifat fisik dan mekanik (Van Ende, A, *et al.*, 2012).

2.3 Resin Komposit *Nanohybrid*

Resin komposit *nanohybrid* adalah versi terbaru dari resin komposit *hybrid* menggunakan teknologi partikel nano (Milia, *et al.*, 2012). Resin komposit *nanohybrid* memadukan partikel berukuran nano (*nanomeric*) dengan partikel bahan pengisi yang lebih konvensional dengan ukuran 0,4 hingga 5 *micron*. Penggunaan teknologi partikel nano meningkatkan sifat dari resin komposit secara nyata (Kaur, *et al.*, 2011). Resin komposit *nanohybrid* memiliki banyak kelebihan, yaitu dapat digunakan untuk restorasi gigi anterior dan posterior, mengurangi terjadinya pengerutan pada saat polimerisasi, permukaan lebih halus karena terdiri dari partikel berukuran nano, mempunyai sifat mekanik lebih baik, dan memiliki nilai estetik yang tinggi dan sesuai untuk digunakan sebagai tambalan pada gigi anterior (Gerdolle, *et al.*, 2008).

Resin komposit *nanohybrid* terdiri dari ukuran partikel yang berbeda-beda. Ukuran partikel yang bervariasi menyebabkan distribusi bahan pengisi yang homogen di dalam matriks, karena bahan pengisi berukuran nano mampu mengisi jarak antar partikel yang besar dengan sempurna dan dapat membantu menghasilkan resin komposit dengan muatan bahan pengisi yang dapat dibandingkan dengan komposit *hybrid* konvensional. Resin komposit *nanohybrid* memadukan sifat baik dari resin komposit bahan pengisi makro (sifat fisik dan mekanis sangat baik) dengan resin komposit bahan pengisi mikro (kualitas *finishing* dan *polishing* yang memuaskan). Resin komposit *nanohybrid* disebut sebagai resin *universal* pertama dengan kemampuan *polish* dari resin komposit bahan pengisi mikro yang mempunyai kekuatan baik (Milia, *et al.*, 2012; Gerdolle, *et al.*, 2008).

Partikel bahan pengisi pada resin komposit *nanohybrid* dapat mencapai 71% volume dan 87% berat sehingga akan mengurangi penyusutan polimerisasi. Hal lain yang juga mengurangi pengerutan polimerisasi dari resin komposit *nanohybrid* yaitu kuatnya ikatan antar permukaan dari matriks resin dengan *filler* partikel nano (Kaur, *et al.*, 2011).



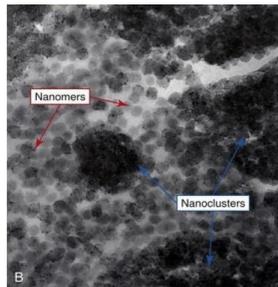
Gambar 2.11 Resin Komposit *Nanohybrid* (Moraes, *et al.*, 2009)

2.4 Resin Komposit Nanofiller

Nanoteknologi merupakan pengembangan baru dari resin komposit yang ditandai dengan kandungan *nanoparticles* yang berukuran sekitar 25 nm dan *nanoaggregates* sekitar 75 nm, yang terdiri dari partikel *zirconium / silica* atau *nanosilica*. Agregat diperlakukan dengan *silane* sehingga mereka mengikat resin. Sebagai ukuran partikel pengisi yang lebih kecil, resin yang dibuat dengan jenis partikel ini dapat memberikan hasil restorasi yang lebih baik bila diamati dari tekstur permukaannya. Teknologi ini juga telah mencapai sifat mekanik yang cukup kompeten untuk resin komposit yang dapat digunakan sebagai restorasi gigi anterior maupun posterior (Hervas *et al.*, 2006).

Ukuran partikel *filler* ini yaitu sebesar 20-75 nm. Resin komposit ini mengandung dua jenis partikel *filler* yaitu *nanomer* dan *nanocluster*. Resin komposit *nanofiller* terbuat dari *zirconium/silica* atau nanosilika ukuran partikel yang sangat kecil, volume anorganik *fillernya* 78,5%, mudah dilakukan pemolesan, kekuatan baik dan modulus tinggi. Resin komposit *nanofiller*

diperkenalkan dipasaran kedokteran gigi dengan tujuan menyediakan hasil estetik yang lebih baik, permukaan yang lebih halus dan mengkilat, resistensi dan daya penggunaan lebih baik, serta daya atrisi yang lebih rendah sehingga resin komposit *nanofiller* lebih sering digunakan (Tjuatja, *dkk.*, 2011).



Gambar 2.12 Resin Komposit *Nanofiller* (Sakaguchi, *et al.*, 2012)

2.5 Kebocoran Mikro

Material restoratif seringkali tidak melekat pada email atau dentin dengan kekuatan yang cukup untuk menahan tekanan atau kontraksi dari polimerisasi, *wear*, atau siklus termal (Craig & Powers, 2002). Bakteri, debris makanan, atau saliva dapat masuk ke dalam celah antara restorasi dengan gigi jika perlekatan tidak terbentuk atau perlekatan terlepas. Hal seperti itu dikenal dengan sebutan *microleakage* (kebocoran mikro). Kebocoran mikro merupakan bocornya ion, bakteri, atau organisme lain pada celah mikroskopik antara restorasi dengan dinding kavitas (Kumar & Lakshminarayanan, 2004).

Terjadinya kebocoran mikro merupakan akibat dari kegagalan adaptasi tumpatan terhadap dinding kavitas. Kebocoran mikro dapat mempengaruhi keberhasilan jangka panjang restorasi (Walton, 2008). Semakin sedikit kebocoran mikro, menunjukkan tingkat keberhasilan restorasi. Kebocoran mikro dapat menyebabkan hipersensitivitas pada gigi, diskolorasi restorasi, perubahan warna dentin, karies sekunder, cedera pulpa, dan akhirnya dapat mengakibatkan

lepasnya restorasi (Mali *et al.*, 2006; Bulucu *et al.*, 2008). Derajat kebocoran mikro dapat dimonitor dengan penetrasi dari agen pewarna (Anusavice, 2004).

2.5.1 Kebocoran Mikro pada Restorasi Resin Komposit

Kegagalan restorasi resin komposit dapat disebabkan oleh faktor berikut, yaitu: perbedaan koefisien antara gigi dengan tumpatan, penyusutan dari tumpatan resin komposit selama proses polimerisasi, dan perubahan bentuk resin komposit karena penyerapan air. Setelah terjadi proses polimerisasi selesai, terjadi kontraksi dari resin komposit yang merupakan salah satu penyebab dari kebocoran mikro. Resin komposit pada saat polimerisasi akan mengalami perubahan dimensi yaitu kontraksi dan ini salah satu penyebab kebocoran mikro (Anusavice, 2004).

2.5.2 Kebocoran Mikro pada Kavitas Klas V

G. V Black menggambarkan kavitas klas V yaitu kavitas yang terdapat pada permukaan labial atau bukal dan lingual dari gigi anterior maupun posterior dan mengenai sementum. Restorasi kavitas klas V sering mengalami kegagalan karena sedikitnya email yang terdapat pada servikal gigi (Studevart, 2001). Daerah yang sangat rentan terhadap kebocoran mikro adalah dinding gingival pada restorasi klas II dan klas V (Pickard, 2002).

2.5.3 Kebocoran Mikro pada Resin Komposit oleh karena Bahan *Bleaching*

Resin komposit yang digunakan sebagai bahan restorasi gigi memiliki dampak apabila berkontak dengan bahan *bleaching*. Ketika resin komposit berkontak dengan bahan *bleaching* karbamid peroksida, terdapat beberapa perubahan pada permukaan restorasi resin komposit. Hal tersebut dikarenakan pada saat bahan *bleaching* karbamid peroksida bereaksi untuk mengikat *stain*,

sementara sisa karbamid peroksida yang tidak bereaksi tertinggal pada email dan dentin. Dan sisa karbamid peroksida yang tidak bereaksi tersebut menghasilkan radikal bebas. Radikal-radikal bebas yang dihasilkan oleh bahan *bleaching* akan memutus beberapa ikatan yang terdapat pada resin komposit. Radikal bebas memutus ikatan karbon siklik yang terdapat pada Bis-GMA matriks resin komposit. Reaksi ini akan mengubah ikatan karbon siklik menjadi ikatan ganda yang kemudian akan terputus lagi menjadi ikatan tunggal. Proses ini akan terus berlanjut hingga terjadi oksidasi sempurna. Dan reaksi tersebut menyebabkan ikatan Bis-GMA menjadi lemah dan terdegradasi. Selain memutus ikatan karbon siklik, radikal bebas juga memutus ikatan *siloxane*. Ikatan *siloxane* yang menggabungkan antara matriks resin dan *filler* ini mampu mengikat ion hidrogen dari hidrogen peroksida dan kemudian memutus ikatan ini menjadi *silanol*. Rantai *siloxane* yang putus dapat menyebabkan terlepasnya partikel *filler* dan matriks resin sehingga dapat menimbulkan *microscopic cracks* yang menyebabkan meningkatnya kebocoran mikro (Gandaatmadja, 2010; Pruthi, 2010).