

BAB 2**TINJAUAN PUSTAKA**

Bidang kedokteran gigi selain menggunakan bahan jenis logam, keramik, dan komposit juga bahan polimer. Bahan tersebut mempunyai banyak kegunaan, antara lain sebagai bahan gigi tiruan, bahan restorasi dan juga sebagai bahan basis gigitiruan. Resin akrilik atau polimetil metakrilat merupakan satu-satunya jenis polimer yang sampai saat ini digunakan di kedokteran gigi sebagai bahan basis gigitiruan. Dalam pemakaiannya resin akrilik dapat menimbulkan reaksi pada beberapa pemakainya.

Polimer tersusun dari monomer yang dilengkapi antara lain dengan bahan inisiator, bahan katalisator, bahan sambung-silang (*cross-link*), juga bahan pelentuk (*plasticiser*). Variasi pada komposisi bahan, konsentrasi, cara polimerisasi, serta struktur rantai yang berbeda dapat memberikan pengaruh yang berbeda pula terhadap sifat fisis, sifat mekanis, sifat biologis bahan, atau biokompatibilitasnya (Lefebvre and Schuster, 1994). Monomer sebagai bagian utama dari polimer, atau adanya komponen lain dari polimer yang terlepas dalam ludah, dapat bereaksi dengan jaringan sekitar dan dapat menstimulasi kemungkinan terjadinya reaksi dari tubuh (Winter et al., 1980).

2.1 Kriteria dan Tahap Pengembangan Bahan di Bidang Kedokteran Gigi

Perkembangan ilmu pengetahuan yang begitu pesat memungkinkan banyak ditemukan bahan baru untuk kepentingan medis, termasuk di bidang kedokteran gigi. Bahan tersebut antara lain, logam, komposit, keramik, atau polimer. Bahan tersebut merupakan ba-

han yang digunakan untuk mencetak, menambal atau untuk membuat basis gigitiruan. Dalam perkembangannya, pemakaian bahan kedokteran gigi pada umumnya digunakan secara *intra oral*. Syarat digunakannya suatu bahan tidak hanya dengan memperhatikan aspek kekuatan, estetis dan fungsionalnya saja, tetapi yang lebih utama adalah aspek biokompatibilitas (Craig, 1997).

Sebelum suatu bahan dapat digunakan pada manusia, perlu pembuktian sifat aman serta kegunaan bahan tersebut, hal ini berlaku pula bagi bahan kedokteran gigi. Di bidang medis dikenal cara penilaian dan pengembangan obat yang dibedakan menjadi : a) tahap uji pre klinik yang dilakukan pada hewan coba, dan b) tahap uji klinik yang dilakukan pada manusia (Gan dkk., 1987). Selanjutnya disebutkan pula bahwa untuk pengembangan suatu obat baru, mulai dari sintesa bahan kimia sampai dengan diterimanya obat tersebut di pasaran, dapat mencapai waktu sekitar sepuluh tahun bahkan lebih. Pada tahun 1982 *American National Standard Institute / American Dental Association* (ANSI/ADA) menyusun tahapan pengujian biokompatibilitas bahan kedokteran gigi. Pengujian tersebut dapat dibedakan menjadi tiga tahapan yaitu :

- a. Tahap inisial : Pemeriksaan *in vitro* yang meliputi antara lain pemeriksaan sitotoksisitas dan karsinogenisitas.
- b. Tahap sekunder : Berdasarkan hasil pemeriksaan tahap inisial dilakukan pemeriksaan *in vivo* yang meliputi antara lain pemeriksaan hipersensitivitas. Pemeriksaan dilakukan terhadap binatang coba yang kecil.
- c. Tahap penggunaan : Pemeriksaan yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya dilaku-

kan pada binatang coba yang lebih besar. Apabila semua pemeriksaan menunjukkan hasil yang baik, maka dengan ijin dari *Food and Drug Administration* (FDA) pemeriksaan dilakukan pada manusia (Craig, 1997).

Pemeriksaan biokompatibilitas bahan kedokteran gigi pada tahap pre klinik selama ini telah dilakukan dengan menggunakan bermacam-macam hewan coba. Kallus (1984) memeriksa toksisitas polimer basis gigitiruan dengan melakukan implantasi pada punggung hewan coba *albino guinea pig*. Pemeriksaan reaksi inflamasi akibat penggunaan bahan tambal amalgam dan resin komposit telah dilakukan oleh Nadarajah dengan kawan-kawan (1996), yaitu dengan melakukan implantasi pada punggung tikus (*Rattus norvegicus*). Pemeriksaan dengan menggunakan kera dilakukan oleh Hurzeler dengan kawan-kawan (1997), yaitu untuk mengetahui kemampuan regenerasi tulang di sekitar implantasi yang dilapis poliester. Hewan coba anjing juga pernah digunakan untuk melihat regenerasi jaringan di sekitar gigi yang telah mendapat perawatan periodontitis (Lekovic et al., 1998).

Dari semua binatang yang ada, secara fisik kera adalah yang paling mendekati keadaan manusia. Seperti diketahui, kera merupakan salah satu jenis binatang yang dilindungi sehingga penelitian dengan menggunakan kera sebagai hewan coba sebenarnya tidak dibenarkan. Dalam dunia ilmu pengetahuan, melakukan penelitian dengan menggunakan hewan coba tikus adalah sangat lazim. Hal ini mengingat bahwa data tentang *genetic background* tikus sudah terdapat secara lengkap, dan homologi antara tikus dengan manusia adalah sekitar 80%.

Dalam disertasi ini penelitian dibatasi pada tahap uji pre klinik, yaitu dengan melakukan pemeriksaan biokompatibilitas bahan baik secara *in vitro* maupun *in vivo* dengan menggunakan hewan coba tikus (*Rattus norvegicus*).

2.2 Polimer dan Polimerisasi

Polimer adalah suatu rantai molekul yang panjang yang tersusun dari banyak unit (mer) yang berulang, sedangkan monomer merupakan unit terkecil dari rantai polimer (Combe, 1992). Sebagai contoh, polimer yang banyak digunakan di kedokteran gigi adalah resin akrilik atau polimetil metakrilat, dengan metil metakrilat sebagai monomernya.

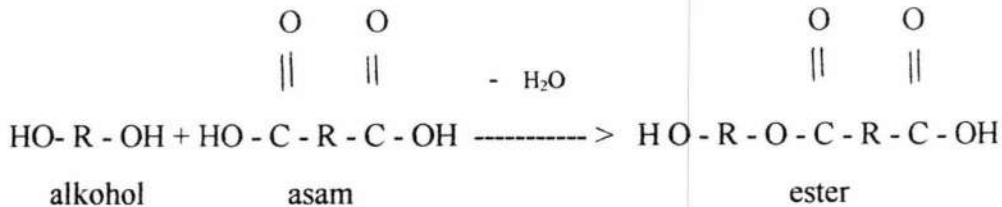
2.2.1 Struktur Polimer dan Sifat Polimer

Polimerisasi merupakan proses terbentuknya polimer, yaitu suatu reaksi kimiawi yang menyusun banyak monomer menjadi suatu rantai yang mempunyai berat molekul besar (Craig, 1997). Mekanisme polimerisasi pada dasarnya dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu : a) reaksi kondensasi dan b) reaksi adisi (Billmeyer, 1987; Van Noort, 1994; Craig, 1997).

a. Reaksi kondensasi

Reaksi kondensasi merupakan suatu reaksi yang berjalan secara bertahap. Proses ini terjadi apabila dua molekul bereaksi untuk membentuk sebuah molekul yang lebih besar dengan memberikan hasil samping pada akhir reaksinya (misalnya air, amoniak, atau asam halida).

Poliester merupakan jenis polimer yang polimerisasinya melalui reaksi kondensasi, reaksi tersebut adalah sebagai berikut (Allcock and Lampe, 1991) :



Gambar 2.1 Reaksi kondensasi poliester (Allcock and Lampe, 1991)

b. Reaksi adisi

Reaksi adisi adalah reaksi pemecahan ikatan rangkap. Berbeda dengan cara kondensasi, pada cara adisi tidak akan didapatkan hasil samping pada akhir polimerisasinya. Bahan polimer yang biasa digunakan di kedokteran gigi contohnya resin akrilik, polimerisasinya adalah melalui reaksi adisi. Proses reaksi adisi pada polimerisasi ini adalah reaksi adisi radikal bebas. Reaksi radikal bebas adalah reaksi rantai. Polimer yang diproses melalui reaksi adisi mempunyai berat molekul yang lebih besar dibandingkan dengan polimer kondensasi. Kondisi ini memberikan keuntungan berupa sifat fisis dan sifat mekanis polimer yang lebih baik bila dibandingkan dengan polimer yang dibentuk dengan cara kondensasi.

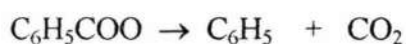
Tahapan yang terjadi pada polimerisasi adisi radikal bebas adalah sebagai berikut (Combe,1992; Craig, 1997) :

a) Tahap aktivasi

Tahap aktivasi adalah proses terurainya inisiator (misalnya peroksida) oleh tena-

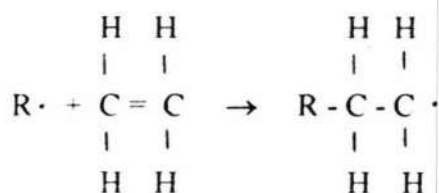
ga panas, sinar atau bahan kimia. Hasil peruraian tersebut adalah terbentuknya radikal bebas yang diberi tanda ($R\cdot$), yaitu senyawa yang mempunyai elektron yang tidak berpasangan. Secara umum hampir semua radikal bebas mempunyai reaktivitas kimia yang sangat tinggi (Pine et al., 1990).

Senyawa peroksida yang biasa digunakan di kedokteran gigi adalah bensoil peroksida. Pada tahap aktivasi satu molekul bensoil peroksida dapat menjadi dua radikal bebas, dan selanjutnya radikal bebas tersebut akan terurai dan membentuk banyak radikal bebas lainnya. Reaksi tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:



b) Tahap inisiasi

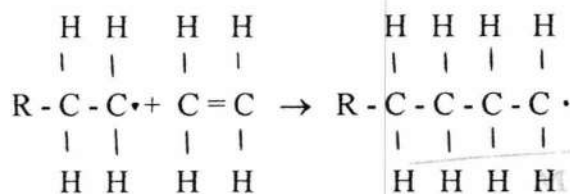
Radikal bebas akan mengawali proses pembentukan rantai, yaitu dengan mulai bereaksinya dengan monomer, dan terbentuk radikal bebas yang lain.



c) Tahap propagasi

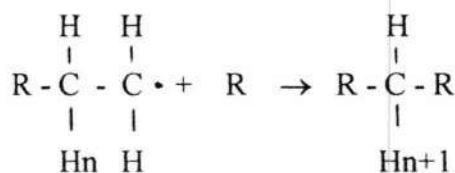
Tahap propagasi adalah berlangsungnya reaksi antara radikal bebas dengan monomer yang satu dengan monomer yang berikutnya dan seterusnya.

Rantai polimer dapat terbentuk karena ada reaksi yang berulang antara radikal bebas dengan monomer.



d) Tahap terminasi

Pada tahap ini polimerisasi berakhir, yaitu ditandai dengan bergabungnya dua radikal bebas.

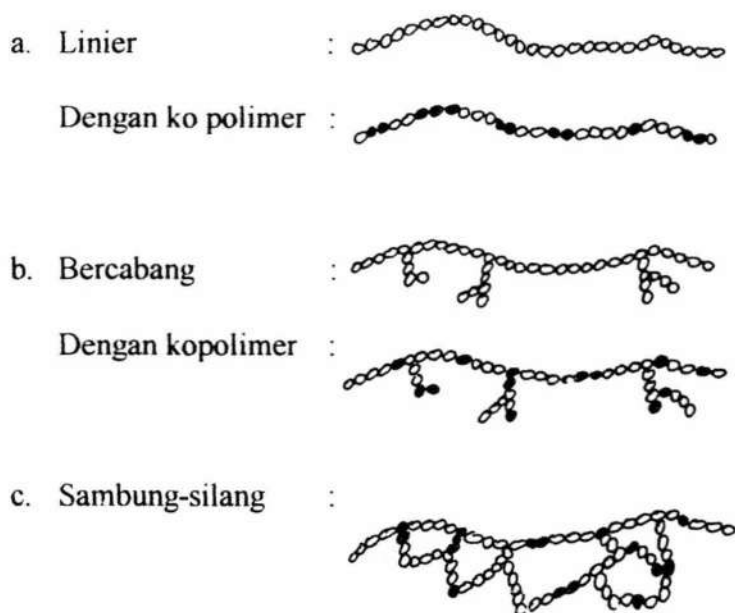


Gambar 2.2 Mekanisme polimerisasi adisi radikal bebas (Van Noort, 1994)

Polimerisasi merupakan suatu proses yang pada kenyataannya tidak pernah dapat berlangsung secara sempurna (Phillips, 1991). Pengaruh faktor luar yang tidak dapat secara sempurna dikendalikan, seperti suhu dan kelembapan, menyebabkan pada akhir polimerisasi terdapat monomer yang tidak bereaksi menjadi polimer. Hal ini akan terjadi pada semua reaksi polimerisasi, dengan terbentuknya macam dan konsentrasi monomer sisa yang bervariasi. Pada proses polimerisasi yang sudah terkendali sekalipun akan tetap didapatkan monomer sisa pada akhir polimerisasinya, dengan konsentrasi antara 0,2% -

0,5% (Phillips, 1991; Combe, 1992). Konsentrasi monomer sisa mempengaruhi berat molekul polimer, konsentrasi yang tinggi akan menyebabkan terjadinya penurunan pada berat molekul. Berat molekul polimer merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi sifat fisis dan sifat mekanis polimer (Phillips, 1991). Di lain pihak, adanya monomer sisa dapat berfungsi menjadi pelentuk, yang memungkinkan polimer menjadi lebih lunak dan fleksibel (Combe, 1992).

Struktur fisis polimer dapat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu : a) linier, b) bercabang, dan c) sambung-silang. Pada struktur linier dan bercabang, masih dapat dibedakan lagi menjadi dua tipe yaitu: a) homopolimer, yang hanya mempunyai satu macam monomer, dan b) kopolimer yang mempunyai dua jenis monomer di sepanjang rantainya (Craig, 1997).



Gambar 2.3 Struktur polimer (Craig, 1997)

Sifat fisis dan sifat mekanis polimer dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain :

a. Struktur

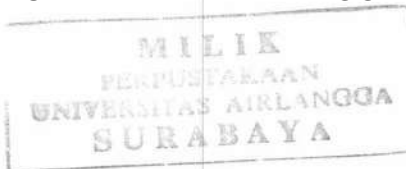
Polimer jenis sambung-silang bersifat tahan terhadap pelarut, keras tetapi juga rapuh. Bahan sambung-silang memungkinkan berkurangnya pergeseran molekul yang dapat terjadi apabila polimer mendapat tekanan.

Penambahan bahan sambung-silang dapat ditemukan baik pada komposisi resin akrilik maupun poliester. Pada resin akrilik yang biasa digunakan adalah etilen glikol dimetakrilat. Pada poliester sering ditambahkan stiren, yaitu suatu bahan yang mempunyai viskositas rendah, sehingga membuat poliester menjadi lebih mudah mengalir. Artinya, bahan tersebut dapat dengan mudah bergerak dan mengisi ruang yang ada di antara matriks polimer (Combe, 1992).

b. Berat molekul

Pada umumnya polimer dengan berat molekul yang besar mempunyai kekuatan yang besar dan juga mempunyai titik cair yang lebih tinggi dibandingkan dengan polimer yang mempunyai berat molekul kecil.

Resin akrilik mempunyai berat molekul yang relatif besar, yaitu antara 3500 sampai 36000, sedangkan berat molekul poliester hanya sekitar 5000 sampai 10000. Hal ini antara lain karena poliester mempunyai cara polimerisasi kondensasi (Phillips, 1991; Combe, 1992).



c. Pelentuk atau *plasticiser*

Pelentuk merupakan cairan yang mampu mengadakan penetrasi di antara molekul polimer. Penambahan pelentuk menyebabkan berkurangnya reaksi tarik-menarik di antara molekul polimer, sehingga polimer menjadi lebih lunak, fleksibel, tidak terlalu rapuh dan menjadi mudah mengalir.

Syarat utama bahan pelentuk adalah harus dapat berikatan dengan polimer dan mempunyai tingkat penguapan yang rendah. Di bidang kedokteran gigi bahan pelentuk yang banyak digunakan adalah butil akrilat dan dari kelompok ester ftalat yaitu dibutil ftalat. Untuk dibutil ftalat biasa dikombinasikan dengan polimetil metakrilat (resin akrilik) dalam konsentrasi yang cukup tinggi, yaitu 25 % sampai dengan 50 % (Cowd, 1991; Combe, 1992; Van Noort, 1994).

2.2.2 Polimer di Bidang Medis

Penggunaan polimer di bidang teknologi dan kehidupan sehari-hari merupakan salah satu tanda perkembangan kehidupan manusia moderen. Ada kecenderungan bahwa penggunaan polimer pada manusia akan terus berkembang di waktu mendatang. Suatu bidang yang sangat berhubungan dengan manusia dan banyak menggunakan polimer adalah bidang medis (Allcock and Lampe, 1990).

Penggunaan polimer di bidang medis bisa dikatakan sebagai hal yang khusus, karena diperlukan persyaratan yang spesifik. Penggunaan polimer di bidang medis antara lain digunakan untuk protesa (tangan, kaki, dan gigitiruan), lensa mata, konstruksi muka dan juga untuk mengganti jaringan tubuh yang rusak (Gebelein, 1985; Fechner, 1986).

Jenis polimer yang selama ini sudah digunakan di bidang medis antara lain, polietilen, polivinil klorida, polieter uretan, polietilen tereftalat, polidimetil siloksan, poliester, politetrafluor etilen, dan polimetil metakrilat (Gebelein, 1985; Allcock and Lampe, 1990).

Polimer dapat digunakan untuk bidang medis apabila mempunyai biokompabilitas yang baik. Polimer harus bersifat inert serta stabil, artinya tidak mengalami perubahan bentuk maupun struktur selama berinteraksi dengan jaringan tubuh. Sifat tersebut diperlukan oleh polimer yang digunakan misalnya sebagai bahan implant. Stabilitas polimer tidak akan berlaku bagi polimer yang dalam pemakaiannya memerlukan sifat biodegradasi. Suatu bahan mengalami biodegradasi apabila bahan tersebut mengalami penguraian atau terputusnya rantai polimer menjadi molekul yang tidak bersifat toksik untuk kemudian dimetabolisme atau diekskresi oleh tubuh. Sifat biodegradasi diperlukan oleh polimer yang digunakan sebagai benang jahit operasi atau polimer yang digunakan untuk melengkapi obat yang pemakaiannya memerlukan suatu sistem pelepasan yang terkontrol (Gebelein, 1985; Allcock and Lampe, 1990).

Reaksi tubuh terhadap benda asing, termasuk bahan polimer, bisa dibedakan menjadi tiga macam, yaitu (Allcock dan Lampe, 1990) :

- a. Reaksi tubuh terhadap sifat fisis polimer (misal, bentuk permukaan, atau kekasaran permukaannya) dapat berupa terjadinya keratinisasi di sekitar jaringan atau adanya penebalan pada jaringan ikat.
- b. Reaksi tubuh terhadap sifat toksik polimer, manifestasi dapat berupa terjadinya inflamasi, dan gangguan pertumbuhan sel epitel.

- c. Reaksi tubuh terhadap pertumbuhan mikroorganisme yang melekat pada permukaan polimer, dapat berupa terjadinya infeksi.

2.2.3 Polimer di Bidang Kedokteran Gigi dan Resin Akrilik sebagai Bahan Basis Gigitiruan

Suatu bahan dapat diterima sebagai bahan basis gigitiruan apabila memenuhi syarat sebagai berikut (Phillips, 1991; Combe, 1992; Van Noort, 1994; Craig, 1997) :

- a. Mempunyai biokompatibilitas yang baik.
- b. Tidak mengandung senyawa yang iritatif, korosif atau toksik.
- c. Tidak menjadi tempat pertumbuhan mikroorganisme.
- d. Mempunyai sifat fisis, sifat mekanis, dan sifat kimiawi yang baik.
- e. Tidak menimbulkan rasa dan bau.
- f. Bersifat *inert*, dalam arti tidak akan mengalami perubahan baik struktur maupun bentuk fisiknya.
- g. Mempunyai estetika yang tinggi.
- h. Mudah untuk dikerjakan, baik untuk direparasi maupun untuk dibersihkan.
- i. Harga yang murah.
- j. Dapat berikatan dengan plastik, logam dan porselin.

Dari beberapa syarat tersebut sukar untuk ditentukan syarat yang utama, karena terdapat perbedaan pendapat di antara para peneliti tentang hal tersebut. Tetapi dapat disimpulkan bahwa pada umumnya para peneliti menganggap biokompatibilitas merupakan

syarat utama bahan dapat digunakan untuk basis gigitiruan (Henston-Petterson and Jacobsen, 1990; Edgerton and Levine, 1993; Craig, 1997).

Sekitar tahun 1937 resin akrilik atau polimetil metakrilat, yaitu suatu jenis polimer dengan struktur rantai alifatik mulai diperkenalkan sebagai bahan basis gigitiruan. Baru pada tahun 1946 bahan tersebut diterima kegunaannya di kedokteran gigi. Sejak saat itu antara 95%- 98% basis gigitiruan dibuat dari resin akrilik. Bahan polimer yang pernah dicoba untuk basis gigitiruan antara lain vinil akrilik, nilon, polikarbonat, silikon, polistiren, polisulfon dan poliurethan (Phillips, 1991; Craig, 1997), tetapi semua bahan tersebut tidak dapat berkembang pemakaiannya, mengingat cara pengerjaannya yang sukar (Combe, 1994). Sampai saat ini resin akrilik adalah satu-satunya bahan polimer basis gigitiruan yang digunakan di kedokteran gigi.

Resin akrilik merupakan bahan polimer dengan polimerisasi cara adisi radikal bebas. Dalam perkembangannya ada beberapa macam resin akrilik yang berbeda cara polimerisasinya, yaitu pada tahap aktivasinya. Resin akrilik dibedakan menjadi: 1) resin akrilik kuring panas, 2) resin akrilik kuring dingin, 3) resin akrilik kuring gelombang mikro, dan 4) resin akrilik kuring sinar tampak.

Kemasan resin akrilik, selain resin akrilik kuring sinar tampak, semuanya terdiri dari dua bagian, yaitu bubuk dan cairan. Secara umum komposisi dasar resin akrilik adalah sebagai berikut (Combe, 1992; Van Noort, 1994; Craig, 1997) :

- a) Bubuk : polimer polimetil metakrilat, inisiator bensoil peroksida, pelentuk dibutil ftalat, dan pigmen.

- b) Cairan : monomer metil metakrilat, inhibitor hidrokinon, dan bahan sambung - silang etilen glikol dimetakrilat

Syarat ideal bahan basis gigitiruan ternyata tidak dapat dipenuhi secara mutlak. Resin akrilik, yang pada saat ini merupakan satu-satunya bahan polimer basis gigitiruan, juga mempunyai beberapa sifat yang merugikan, yaitu (Phillips, 1991; Craig, 1997):

- a. Terdapat monomer sisa metil metakrilat yang pada beberapa pemakai dapat menyebabkan iritasi pada mukosa mulut.
- b. Mempunyai cara polimerisasi adisi radikal bebas, padahal secara umum radikal bebas dapat menimbulkan efek samping bagi manusia.
- c. Berpori, mudah menyerap air dan mudah mengalami distorsi sehingga gigitiruan tidak sesuai dengan bentuk rongga mulut dan harus dilakukan pengulangan pada pembuatan basis atau *rebasing*.
- d. Dapat menjadi tempat pertumbuhan koloni mikroorganisme yang menjadi salah satu penyebab terjadinya stomatitis pada mukosa mulut pemakai.
- e. Kemungkinan mengandung pelentuk dibutil ftalat yang dapat bersifat teratogenik.

Beberapa penelitian memberikan gambaran secara *in vitro* maupun *in vivo* tentang pengaruh monomer sisa metil metakrilat terhadap binatang coba dan pemakai gigitiruan.

Giunta dan kawan-kawan (1979) telah membuat laporan kasus dari seorang pemakai gigitiruan resin akrilik berusia 57 tahun. Pasien dalam keadaan sehat dan diketahui tidak alergi terhadap apapun. Dua hari setelah pemasangan gigitiruan, gingiva pasien terlihat menjadi lebih merah dan seminggu kemudian pasien merasa sukar untuk menelan, dan mulut terasa seperti terbakar, di samping suhu badan menjadi meningkat. Pemeriksaan

klinis menunjukkan adanya stomatitis. Setelah gigitiruan dilepas dan diberi obat, pasien sembuh setelah dua bulan. Pemeriksaan tes tempel kulit pada lengan atas dengan menempelkan potongan resin akrilik dapat menunjukkan terjadinya hipersensitivitas setelah 48 jam.

Lain halnya dengan percobaan yang dilakukan oleh Blanchet dengan kawan-kawan (1982) terhadap tikus dengan memberikan uap metil metakrilat selama 20 menit setiap harinya. Pemeriksaan dilakukan setelah 21 hari dan 42 hari perlakuan. Hasil menunjukkan adanya ketidak teraturan pernafasan dan peningkatan tekanan darah tikus.

Pada tahun 1984, Kallus melakukan penelitian terhadap tikus, yaitu dengan memasukkan bubuk metil metakrilat dalam tabung polietilen ukuran (10x2x11,5) mm. Tabung disisipkan secara subkutan pada punggung tikus selama 14, 30 dan 90 hari. Pemeriksaan jaringan menunjukkan secara histologis adanya sel yang *mature*, yaitu ditandai dengan adanya beberapa hari tanda radang berupa infiltrasi limfosit dan fibroblast, untuk kemudian menjadi normal kembali.

Pada umumnya penelitian tentang alergi resin akrilik yang dilakukan lebih banyak memperhatikan gejala serta akibat yang terjadi di sekitar rongga mulut. Penelitian Basker dan kawan-kawan (1990) menunjukkan adanya hubungan antara alergi resin akrilik dengan terjadinya asma bronkhial. Seorang wanita berusia 65 tahun dengan riwayat kesehatan selama 13 tahun menderita asma dan untuk itu dia harus meminum obat kortikosteroid. Dari wawancara yang dilakukan dengan dokter diketahui bahwa asma terjadi segera setelah dia memakai gigitiruan 13 tahun sebelumnya. Dua bulan setelah gigitiruan dilepas, asma mulai berkurang dan pasien dapat menghentikan pengobatannya. Untuk meyakinkan hasil

penemuan bahwa asma dapat terjadi karena alergi terhadap resin akrilik, pasien dibuatkan gigitiruan dari vulkanit dan dari nilon. Masing-masing gigitiruan dipakai selama 2 minggu, dan selama pemakaian ke dua macam gigitiruan tersebut memang pasien tidak menunjukkan keluhan apapun.

2.2.4 Polimer Poliester

Poliester merupakan jenis polimer yang mudah ditemukan dalam kehidupan sehari-hari. Poliester dapat dikelompokkan menjadi beberapa tipe yaitu (Saunders, 1988):

- a) Poliester tidak jenuh, yaitu merupakan poliester bentuk linear .
- b) Alkid, merupakan polimer dengan struktur berbentuk *network*. Poliester ini tersusun dari anhidrida ftalat dan gliserol.
- c) Polialil ester merupakan derivat dari alkohol alil yang terbentuk dari glikol dietilen.
- d) Polietilen tereftalat termasuk polimer alifatik yang berstruktur linear.
- e) Polibutilen tereftalat terbentuk dari 1,4-butanediol dengan asam tereftalat atau dimetil tereftalat.
- f) Sikloheksilen dimetilen tereftalat, berasal dari campuran 1,4-dimetilolsikloheksan
- g) Poliester termoplastik elastomer merupakan campuran dari alkilen tereftalat dan polialkilen eter tereftalat.
- h) Poliarilat, tersusun dari difenol dan asam dikarbosilik aromatik.
- i) Polihidroksi bensoat, tersusun dari homopolimer asam p-hidroksibensoit
- j) Poliester plasticiser, merupakan poliester tidak jenuh yang berstruktur linear, yang berasal dari poliurethan.

Dalam penelitian ini digunakan poliester tidak jenuh, yang selanjutnya disebut poliester saja. Komposisi dasar poliester adalah propilen glikol sebagai alkohol, serta anhidrida maleat, dan anhidrida ftalat sebagai asamnya. Perbandingan beratnya adalah 100:72:54 (Saunders, 1988). Sifat poliester tergantung dari macam asam dan alkohol yang ada di dalam komposisinya. Di samping itu untuk meningkatkan kualitas senyawa poliester, setiap pabrik akan menambahkan bahan yang berbeda-beda, misalnya dengan menambahkan stiren sebagai bahan sambung-silang. Komposisi bahan poliester yang berbeda, menyebabkan setiap poliester mempunyai sifat fisis, sifat mekanis, sifat kimiawi dan biokompatibilitas yang berbeda. Berdasarkan sifat setiap poliester yang berlainan, maka setiap poliester mempunyai kegunaan yang juga berbeda.

Poliester merupakan polimer yang polimerisasinya secara kondensasi. Beberapa sifat poliester yang menguntungkan adalah: 1) polimerisasinya mudah dan cepat karena terjadi pada suhu kamar, 2) mempunyai struktur rantai aromatik sehingga bersifat kompak, 3) mempunyai ukuran dan bentuk yang stabil, 4) mempunyai struktur sambung-silang sehingga menjadi lebih tahan terhadap pelarut, 5) dapat berikatan dengan bahan pengisi, termasuk silika, dan 6) mempunyai sifat fisis dan sifat mekanis yang mendekati resin akrilik (Newman, 1972; Billmeyer, 1984; Saunders, 1988; Allcock and Lampe, 1990)

Untuk menambah kekuatan poliester, sering ditambahkan bahan pengisi serabut gelas, hal ini terutama dilakukan pada pembuatan patung dan alat rumah tangga (Newman, 1972; Billmeyer, 1984; Saunders, 1988). Tetapi tidak tertutup kemungkinan untuk menambahkan bahan pengisi lain pada poliester. Silika adalah bahan pengisi yang banyak

digunakan di kedokteran gigi. Disebutkan oleh Newman (1972) bahwa silika juga dapat ditambahkan pada poliester.

Kegunaan poliester di bidang medis dapat ditemukan selain pada alat kedokteran, juga pada pengganti organ tubuh yang rusak, misal untuk melengkapi pembuatan jantung tiruan (Allcock and Lampe, 1990). Poliester yang digunakan di bidang medis sudah pasti mempunyai biokompatibilitas yang baik. Polietilen glikol tereftalat merupakan jenis poliester, yang digunakan untuk benang jahit pada operasi mata (Fechner, 1996).

Kegunaan poliester di bidang medis, terdapat juga di bidang kedokteran gigi. Penelitian Rached dan kawan-kawan (1992) menggunakan empat benang jahit yang berbeda dalam melakukan operasi periodontal pada 36 pasien. Pemeriksaan biopsi dilakukan pada hari ke 3, 7 dan 14 sesudah operasi. Pengamatan histologis menunjukkan bahwa benang sutera menyebabkan terjadinya respons inflamasi yang berlangsung paling lama, sedangkan benang poliester jauh lebih singkat dibandingkan dengan benang sutera.

Penelitian lain dilakukan oleh Urban (1993) yaitu dengan melakukan implantasi lima macam poliester pada kelinci. Otopsi dilakukan tiga bulan setelah perlakuan. Hasil menunjukkan bahwa ke lima poliester mempunyai biokompatibilitas yang sangat baik, hal ini ditandai dengan pemeriksaan histologis yang menunjukkan adanya pertumbuhan fibroblast dan jaringan ikat yang sangat baik.

Lekovic dengan kawan-kawan (1998) telah menggunakan politetrafluoroetilen dalam penelitiannya sebagai bahan membran barrier dalam merawat gigi yang mengalami periodontitis. Hasil menunjukkan terjadinya respons inflamasi yang sama pada gigi yang mendapat perlakuan dan gigi yang tidak mendapatkan perlakuan. Penggunaan politetra-

fluoroetilen sebagai barrier membran juga dilakukan oleh Hurzeler dengan kawan-kawan (1997) pada gigi kera. Bahan barrier membran digunakan untuk menutup gigi yang telah mendapat perawatan implan. Pemeriksaan dilakukan lima bulan setelah perlakuan, dan hasil menunjukkan bahwa reaksi inflamasi yang terjadi hanya bersifat ringan.

Dalam penelitian ini digunakan poliester EBP-2421, yaitu jenis poliester yang biasa digunakan antara lain untuk membuat patung. Kemasan poliester ini terdiri dari tiga bagian yaitu a) resin, b) promotor, dan c) katalisator. Berdasarkan informasi dari pembuat (PT. Eternal Buana Chemical Industries) komposisi poliester EBP-2421 adalah sebagai berikut :

- a. Resin : propilen glikol, anhidrida ftalat, anhidrida maleat, metil metakrilat, stiren, hidrokinon, dan triphenil fosfit.
- b. Promotor : kobalt.
- c. Katalisator : metil etil keton peroksida.

Propilen glikol, sebagai komponen dengan perbandingan terbesar bersifat mudah larut dalam air. Ada kemungkinan propilen glikol dapat terlepas dalam proses hidrolisis atau bisa juga menjadi monomer sisa pada akhir polimerisasi. Pemberian propilen glikol secara oral pada tikus menunjukkan LD_{50} sebesar 25 ml/kg berat badan (Merck Index, 1989).

Pada akhir polimerisasi, anhidrida ftalat dapat menjadi monomer sisa atau bila terjadi peristiwa hidrolisis dapat terlepas dan menjadi asam ftalat (LD_{50} 5,06 ml/kg berat badan pada tikus). Reaksi antara anhidrida ftalat dengan alkohol monohidroksi rantai pendek (misal metanol, etanol), pada suhu yang tinggi dan suasana yang sangat asam dapat

menghasilkan ester ftalat. Pemberian ester secara intra peritoneal pada tikus dengan LD_{50} 6 ml/kg berat badan menunjukkan sifat teratogenik (Singh et al., 1972).

Anhidrida maleat bersifat sedikit iritatif terhadap kulit (Merck Index, 1989). Anhidrida maleat dapat menjadi monomer sisa pada akhir polimerisasi. Apabila terjadi hidrolisis, anhidrida maleat akan terlepas menjadi asam maleat. Pemberian asam maleat secara oral pada tikus mempunyai LD_{50} sebesar 3,2 g/kg berat badan (Merck Index, 1989).

2.3 Biokompatibilitas Bahan

Salah satu parameter yang penting diperhatikan dalam pemilihan bahan baik untuk bidang medis maupun kedokteran gigi adalah biokompatibilitasnya (Hammesfahr, 1987; Glantz, 1998). Suatu bahan mempunyai biokompatibilitas yang baik apabila terdapat kesesuaian yang baik antara bahan atau alat dengan jaringan dan cairan tubuh (Craig, 1997).

Untuk penggunaan bahan di bidang kedokteran gigi, pengujian biokompatibilitas bahan sudah ditentukan oleh *American Dental Association - American National Standard Institute* yang dicantumkan di dalam *Recommended Standard Practices for Biological Evaluation of Dental Materials* (Stanford, 1980; Craig, 1997). Disebutkan bahwa untuk menguji biokompatibilitas bahan, dilakukan beberapa uji antara lain : a) uji toksisitas, b) uji karsinogenisitas, dan c) uji sensitivitas.

2.3.1 Sifat Toksisitas Akut Bahan Polimer

Pemeriksaan toksisitas yang biasa dilakukan pada hewan coba dimaksudkan untuk mendapatkan informasi tentang risiko yang dapat terjadi pada manusia maupun lingkungan

akibat paparan, baik berupa obat atau suatu bahan kimia. Pemeriksaan toksisitas dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh toksik yang kemungkinan dapat terjadi (Casarett and Doull, 1991).

Efek toksik dari suatu zat dapat muncul di dalam tubuh berupa perubahan struktur sel, jaringan, atau organ, dengan akibat dapat terjadinya gangguan faali. Efek toksik juga dapat mempengaruhi komponen subseluler dan molekuler, misalnya efek mutagenik, efek karsinogenik atau efek teratogenik (Ngatidjan, 1991).

Organ penting yang rawan terhadap efek toksik dan mempunyai kemungkinan besar untuk terkena keracunan antara lain adalah hati dan ginjal. Hati merupakan pintu gerbang semua bahan yang masuk dalam tubuh, organ tersebut berfungsi sebagai detoksifikator, sehingga organ tersebut sangat potensial menderita keracunan terlebih dahulu sebelum organ tubuh yang lain. Bentuk keracunan pada sel hati dapat berupa terjadinya perlemakan, bahkan dapat berkembang menjadi kanker. Organ tubuh lain yang juga rentan terhadap efek toksik adalah ginjal. Sebagai alat pembersih darah, ginjal menerima sekitar 20% sampai 30% dari seluruh darah yang dipompakan oleh jantung ke seluruh tubuh. Fungsi ginjal sebagai alat ekskresi memberikan kemungkinan besar untuk dapat terkena keracunan (Ngatidjan, 1991).

Pada umumnya rangkaian pemeriksaan toksisitas yang baku tidak selalu dilakukan terhadap suatu obat atau bahan kimia sebelum dipasarkan pemakaiannya. Namun demikian OECD (*Organization for Economic Cooperation and Development*) telah menyusun standar pemeriksaan laboratoris untuk menguji toksisitas bahan sebelum dipasarkan.

Pemeriksaan tersebut dapat dibedakan menjadi 4 macam berdasarkan pada lamanya pemaparan dan dosis bahan, yaitu (Casarett and Doull, 1991):

- a. Toksisitas akut : pemeriksaan dilakukan setelah 24 jam.
- b. Toksisitas sub akut : pemeriksaan dilakukan setelah 14 hari.
- c. Toksisitas sub kronik : pemeriksaan dilakukan setelah 90 hari.
- d. Toksisitas kronik : pemeriksaan dilakukan setelah 6 bulan sampai 2 tahun.

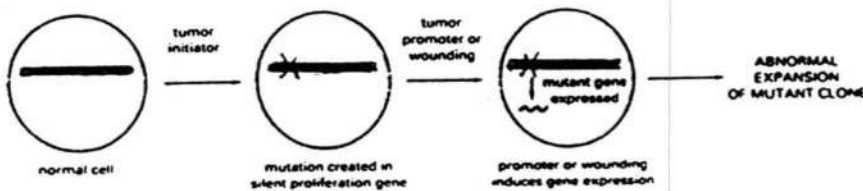
Bahan polimer yang banyak digunakan di kedokteran gigi antara lain adalah bahan untuk basis gigitiruan. Dari beberapa pemeriksaan biokompatibilitas yang ada, salah satu yang harus dilakukan adalah pemeriksaan toksisitas (Stanford, 1980; Craig, 1997). Mengingat bahwa basis gigitiruan dapat diartikan sebagai benda asing yang menempel pada mukosa mulut sehingga bersifat lokal, bukan sesuatu yang dipakai secara sistemis, maka yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji toksisitas akut.

2.3.2 Sifat Karsinogenik Bahan Polimer

Suatu bahan disebut bersifat karsinogenik bila bahan tersebut dapat menyebabkan terjadinya kanker, yaitu ditandai dengan adanya kerusakan pada susunan DNA. Adanya paparan oleh suatu bahan karsinogen, dapat menjadi penyebab terjadinya kanker. Bahan yang berfungsi sebagai pemula terjadinya kerusakan genetik, disebut inisiator tumor. Bahan tersebut selalu bersifat mutagenik, karena menyebabkan terjadinya mutasi genetik. Tetapi kanker juga dapat terjadi akibat paparan suatu bahan secara berulang-ulang dan terjadi selama berbulan-bulan. Bahan tersebut dinamakan promotor tumor, dan tidak selalu bersifat mutagenik (Casarett and Doull, 1991; Alberts et al., 1994).

Karsinogenesis merupakan suatu proses kejadian karena adanya paparan suatu bahan yang dapat merusak susunan DNA. Pada dasarnya sel tubuh akan selalu melindungi diri dari pengaruh negatif akibat paparan tersebut, yaitu melalui mekanisme reparasi (*repair*). Kegagalan dalam perbaikan dapat menyebabkan terjadinya beberapa kemungkinan, yaitu kematian sel atau abnormalitas genetik yang menetap. Akumulasi abnormalitas DNA tersebut dapat berupa mutasi atau delesi yang dapat menyebabkan terjadinya pertumbuhan kanker (Macdonald and Ford, 1997).

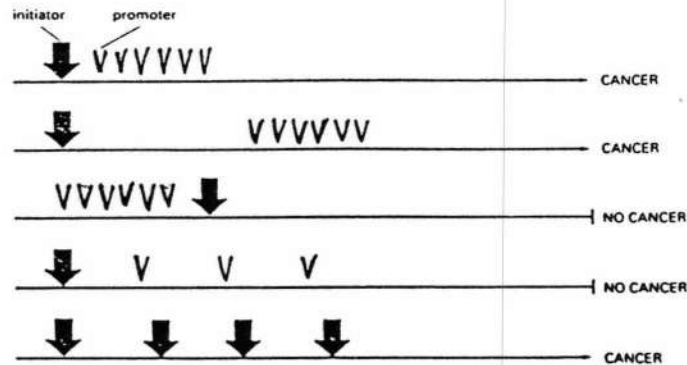
Proses terjadinya kanker dapat diamati secara mikroskopik berupa berubahnya bentuk morfologi dan sifat sel normal menjadi sel kanker. Kelainan genetik yang terjadi karena inisiator tumor bersifat ireversibel. Kelainan tersebut bila diikuti dengan paparan promotor pada tempat yang sebelumnya sudah terpapar inisiator, dapat menyebabkan terjadinya pertumbuhan sel tumor (Alberts et al., 1994).



Gambar 2.4 Pengaruh inisiator dan promotor terhadap pertumbuhan tumor (Alberts et al., 1994)

Keterangan Sel normal mendapat inisiasi sehingga terjadi mutasi genetik pada gen yang ikut berperan pada proses proliferasi (gen yang tidak terekspresi). Apabila terjadi paparan yang berikut dari promotor, maka gen mutan yang awalnya tidak terekspresi menjadi terekspresi. Akhirnya terjadi pembelahan atau pertumbuhan sel yang abnormal.

Kanker hanya dapat terjadi apabila paparan promotor yang non mutagenik terjadi setelah adanya paparan inisiator, hal ini dapat menimbulkan kelainan genetik yang banyak (*multiple*). Kanker juga dapat terjadi karena paparan yang berulang dari inisiator saja, tanpa adanya paparan promotor.

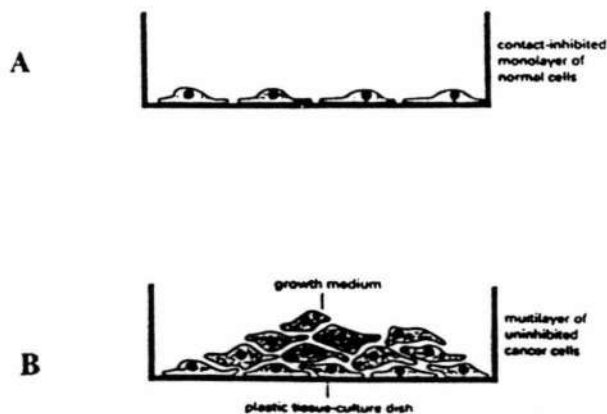


Gambar 2.5 Kemungkinan akibat paparan inisiator dan promotor terhadap terjadinya kanker (Alberts et al., 1994)

Keterangan : Kanker terjadi karena adanya paparan beberapa kali inisiator, atau hanya satu inisiator tetapi diikuti dengan paparan promotor yang terjadi beberapa kali. Kanker tidak akan terjadi apabila tidak diawali oleh paparan inisiator, atau ada paparan inisiator, tetapi paparan promotor yang kurang.

Suatu cara untuk mengetahui sifat karsinogenik suatu bahan adalah dengan cara melakukan pemeriksaan *in vitro* dan *in vivo*. Tujuan pemeriksaan *in vitro* dan *in vivo* adalah untuk mengetahui kemungkinan terjadinya transformasi sel. Pada pemeriksaan *in vitro* dapat dilakukan kultur sel. Sedangkan pada pemeriksaan *in vivo*, bahan dapat diberikan antara lain secara topikal dan sistemis, misalnya oral, dengan suntikan, atau kalau untuk bahan yang pemakaiannya dalam bentuk padat, maka pemeriksaan dapat dilakukan dengan pemberian implan. Pemeriksaan dengan memberikan implan bahan polimer ke-dokteran gigi pada hewan coba berkisar antara 2 sampai dengan 4 minggu (Hensten-Pettersen and Jacobsen, 1980; Nadarajah et al, 1996; Chinn et al., 1998).

Pemberian bahan karsinogen pada biakan sel dapat menyebabkan terjadinya proliferasi yang abnormal pada sel yang mengalami transformasi, seperti hilangnya kontak inhibisi, perubahan bentuk morfologi sel, dan pertumbuhan sel yang menjadi tidak tergantung terhadap faktor penumbuh. Beberapa perubahan yang dapat diamati pada biakan kultur sel normal yang mengalami transformasi menjadi sel kanker, berupa: a) sel tumbuh mencapai suatu densitas yang melebihi kontrol tanpa adanya faktor penumbuh, b) sel dapat tetap tumbuh tanpa melekat pada permukaan yang rata, c) sel dapat tumbuh terus atau *immortal*, d) terjadinya kanker bila disuntikkan pada hewan coba, dan e) terjadi perubahan bentuk sel.



Gambar 2.6 Pertumbuhan sel normal dan sel kanker pada biakan kultur sel (Alberts et al., 1994)

Keterangan : (A) Pada biakan kultur sel normal, pertumbuhan sel akan terhenti bila terjadi kontak antar sel (konfluent). Di sini masih terjadi kontrol, yaitu dengan adanya kontak inhibisi. (B) Biakan kultur sel yang mengalami kanker akan tumbuh terus walau sudah terjadi kontak antar sel. Pertumbuhan sel menjadi tidak terkontrol.

Di bidang kedokteran gigi banyak digunakan bahan kimia, salah satunya adalah bahan polimer untuk basis gigitiran. Pada dasarnya semua polimer pasti mempunyai

monomer sisa yang terbentuk pada akhir polimerisasinya (Phillips, 1991). Tentu saja pada setiap polimer berbeda jenis senyawa, konsentrasi dan sifat kimiawi monomer sisanya. Bahan polimer tersebut berupa benda asing yang berkontak terus menerus dengan mukosa mulut untuk jangka waktu lama, sehingga sangat mungkin bahan tersebut bersifat iritatif bahkan karsinogenik. Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan pengujian seperti yang disyaratkan oleh *Council on Dental Materials and Devices* demi keamanan penggunaan bahan tersebut.

2.3.3 Sifat Teratogenik Bahan Polimer

Suatu bahan bersifat teratogenik apabila bahan tersebut dapat menimbulkan kerusakan yang permanen (tidak reversibel) pada embrio selama periode pertumbuhannya (Koeman, 1989). Suatu bahan disebut teratogen apabila bahan tersebut menyebabkan terjadinya kelainan fungsional dan atau kelainan struktural, pada saat proses pertumbuhan dan perkembangan janin sedang berlangsung (Casarett and Doull, 1991).

Kelainan fungsional dapat muncul sebagai gangguan fungsi organ tertentu atau kelainan tingkah laku. Sedangkan kelainan struktural dapat berupa tidak terbentuknya satu atau beberapa organ atau bagian tubuh tertentu sehingga janin dapat mati dalam kandungan atau lahir dalam keadaan cacat (Ngatidjan, 1991).

Periode perkembangan dan pertumbuhan janin (*embriogenesis*) merupakan proses yang sangat kompleks, karena meliputi terjadinya proses proliferasi, diferensiasi, dan organogenesis, yang berlangsung secara berurutan dan saling terkait satu sama lain. Tahap organogenesis merupakan tahap yang kritis, karena periode tersebut sangat rentan terhadap

pengaruh dari luar. Pada tikus, masa organogenesisnya adalah pada hari ke 6 sampai dengan hari ke 17 kehamilan. Suatu bahan yang diterima oleh induk hamil dapat menimbulkan efek teratogenik apabila bahan tersebut mempunyai efek khusus pada periode embriogenesis dan terjadi pada tahap kritis (Casarett and Doull, 1991; Ngatidjan, 1991).

Suatu penelitian untuk mengetahui sifat teratogenik suatu bahan yang pemaparannya lama, contohnya bahan pengawet makanan atau pestisida, harus dilakukan secara multigenerasi. Pemaparan bahan diberikan melalui makanan atau minuman sampai pada kelompok generasi ketiga. Apabila pemeriksaan bertujuan untuk mengetahui pengaruh teratogenik bahan yang waktu paparannya pendek, contoh obat-obatan, maka penelitian hanya dilakukan pada satu generasi saja (Casarett and Doull, 1991).

2.3.4 Hipersensitivitas Kontak Bahan Polimer dan Manifestasi Kliniknya dalam Rongga Mulut

Rongga mulut sebagai bagian utama saluran pencernaan mempunyai peran sebagai pintu masuk dan sekaligus tempat terjadinya proses pengunyahan. Selain itu rongga mulut berfungsi sebagai barier terhadap kemungkinan masuknya benda asing. Seluruh rongga mulut dilapisi oleh membran mukosa, dan kesehatan rongga mulut dipengaruhi oleh keadaan mukosa mulut yang bertugas untuk mencegah masuknya mikroorganisme dan makromolekul yang dapat bersifat imunogenik.

Pada orang yang normal adanya paparan antigen asing akan menimbulkan respons imun, yaitu dengan terbentuknya antibodi spesifik. Apabila terjadi gangguan pada komponen sistem imun, maka respons tubuh sebagai akibat dari paparan antigen yang kedua

kalinya atau berulang, dapat berlebihan (hipereaktif), keadaan ini disebut hipersensitivitas.

Dermatitis kontak adalah suatu bentuk kelainan kulit yang ditandai dengan adanya reaksi peradangan lokal akibat paparan langsung berulang dengan suatu bahan asing. Dermatitis kontak atau hipersensitivitas kontak terjadi bukan karena sifat toksik suatu bahan kimia yang menempel pada kulit, tetapi karena ada peningkatan sensitivitas tubuh terhadap bahan kimia tersebut (Tron and Sauder, 1991).

Suatu bahan kimia yang sederhana atau memiliki berat molekul rendah dapat berfungsi menjadi haptens dan berperan sebagai antigen apabila berikatan dengan protein pembawa (Benjamini dan Leskowitz, 1991). Respons imun tidak akan timbul oleh paparan haptens apabila senyawa kimia tersebut tidak berikatan dengan molekul yang lebih besar, seperti protein (Male, 1991). Hipersensitivitas kontak digambarkan sebagai respons karena terjadinya elisitasi haptens pada lapisan epikutaneus atau lapisan epimukosa (Warfvinge and Larson, 1991).

Hipersensitivitas kontak merupakan prototipe *delayed type hypersensitivity* (DTH) atau hipersensitivitas tipe lambat (tipe IV). Reaksi hipersensitivitas tipe IV tidak menggunakan perantara antibodi, tetapi sel limfosit T. Sel tersebut menjadi perantara timbulnya reaksi inflamasi, umumnya pada kulit, yang terjadi antara satu sampai dengan dua hari setelah terjadi paparan ulang oleh bahan yang sama. Reaksi inflamasi pada tipe IV ditandai terutama dengan adanya infiltrasi sel mononuklear, suatu keadaan yang sangat berbeda bila dibandingkan dengan adanya infiltrasi granulosis yang terjadi pada hipersensitivitas tipe I, tipe II, dan tipe III (Van Hoogstraten, 1992). Asherson dan Ptak (1960, *cit.*, Tron dan

Sauder, 1991) telah membuat model reaksi hipersensitivitas kontak secara eksperimental, yaitu dengan melakukan induksi dan elisitasi menggunakan antigen masing-masing pada punggung dan daun telinga hewan coba tikus. Reaksi yang kemudian terjadi dinilai dengan melakukan pengukuran penebalan daun telinga hewan coba.

Proses hipersensitivitas kontak dapat dibedakan menjadi a) fase induksi atau fase sensitisasi, dan 2) fase elisitasi (Tron and Sauder, 1991). Pada fase induksi terjadi kontak antara alergen (berupa hapten) dengan kulit yang akan membentuk ikatan kompleks *hapten-carrier*. Molekul kompleks alergen tersebut kemudian akan diproses oleh sel penyaji antigen (APC - *antigen presenting cells*), yaitu sel Langerhans. Selanjutnya alergen tersebut bersama dengan molekul MHC kelas II yang dimiliki oleh sel Langerhans akan dikenali oleh sel T, kemudian terjadi aktivasi dan proliferasi sel T. Pada fase elisitasi terjadi reaksi inflamasi lokal, dan kemudian terjadi eksematus setelah 24-48 jam. Fase ini akan terjadi bila seseorang mendapat paparan ulang oleh alergen yang sama. Gambaran histologik ditandai dengan adanya infiltrasi sel mononuklear.

Cara yang lazim digunakan untuk pemeriksaan hipersensitivitas kontak adalah dengan melakukan pemeriksaan *in vivo*. Pada cara *in vivo* dapat dilakukan pemberian induksi dan kemudian elisitasi, dapat juga dilakukan tes tempel kulit (Wiltshire et al., 1996; Hochman and Zalkind, 1997).

Pemakaian basis gigitiruan dari bahan polimer dapat diartikan terdapatnya bahan kimia dalam rongga mulut. Basis gigitiruan tersebut bisa dianggap sebagai benda asing yang menempel pada mukosa mulut. Pada akhir polimerisasi resin akrilik terdapat monomer sisa, yaitu metil metakrilat. Monomer sisa yang terdapat pada akhir polimerisasi sela-

ma ini dianggap sebagai antigen (Cook, 1991; Kawaguchi, 1996; Hochman and Zalkind, 1997). Monomer sisa tersebut dapat menimbulkan respons imun apabila berikatan dengan protein pembawa yang ada dalam tubuh. Bahan aditif contohnya, ftalat, maleat dan dioktil ftalat merupakan bahan yang sering menimbulkan terjadinya sensitivitas (Zaki et al., 1995).

2.4 Pertumbuhan *Candida albicans* pada Bahan Polimer

Rongga mulut merupakan salah satu lingkungan pada tubuh yang selalu dalam keadaan tidak steril. Terbentuknya kolonisasi mikroorganisme dalam rongga mulut, termasuk pada permukaan gigitiruan, merupakan hal yang sering terjadi. Perlekatan bakteri pada mukosa rongga mulut dan juga pada permukaan gigitiruan banyak dipengaruhi oleh adanya lapisan pelikel (Edgerton dan Levine, 1993). Lapisan pelikel merupakan lapisan tipis yang terbentuk dari komponen organik ludah dan melekat pada permukaan gigi (Nissengard and Newman, 1994).

Kolonisasi mikroorganisme sangat dipengaruhi oleh mekanisme perlekatannya. Pada tahap awal proses perlekatan, akan terbentuk interaksi antara mikroorganisme dengan substrat (permukaan gigi, permukaan gigitiruan, permukaan epitel) yang disebut deposisi. Terbentuknya deposisi ini banyak dipengaruhi oleh peran media, yang terdiri dari ludah dan cairan mulut lainnya. Mengingat bahwa ludah mempunyai komposisi yang sangat bervariasi pada setiap individu dan setiap saat, maka interaksi antara mikroorganisme dengan substrat merupakan hal yang sangat kompleks dan bervariasi (Marsh and Martin, 1984).

Pertumbuhan mikroorganisme dipengaruhi oleh adanya sumber makanan bagi mikroorganisme tersebut. Ludah, yang antara lain mengandung glikoprotein, asam anor-

ganik, glukosa dan asam amino, selain sebagai media perlekatan mikroorganisme juga dapat menjadi sumber makanan bagi pertumbuhan mikroorganisme pada waktu seseorang sedang tidak makan atau sedang istirahat (Nissengard and Newman, 1994).

Derajat asam ludah (pH) dengan rata-rata 6,75 pada umumnya bervariasi antara 5,6-7,6 (Marsh dan Martin, 1984). Ludah terdiri dari air (99,5%) serta bahan anorganik dan bahan organik (0,5%). Fungsi ludah antara lain (Cole et al., 1977; Edgerton, 1987; Van Nieuw Amerongen, 1988) :

1. Sebagai pelicin untuk melindungi mukosa mulut terhadap makanan yang keras.
2. Membantu proses pengunyahan dan penelanan.
3. Membentuk lapisan pelikel yang terdapat pada permukaan gigi, mukosa atau permukaan gigitiruan.
4. Sebagai pembersih mekanis yang dapat mengurangi akumulasi plak.
5. Membuat licin permukaan gigi untuk mengurangi keausan yang mungkin dapat terjadi karena proses pengunyahan.

Pembentukan plak gigi pada permukaan email atau bahan basis gigitiruan dimulai dengan terbentuknya lapisan pelikel (Kohavi et al., 1995). Perubahan lapisan pelikel menjadi plak gigi sangat cepat. Pada tahap awal akan terbentuk lapisan yang mengandung kokus, sedikit sel epitel dan lekosit polimorfonuklear. Bakteri yang sudah melekat akan berproliferasi dan membentuk koloni kokus. Tahap berikutnya mikroorganisme jenis lainnya juga ikut berproliferasi sehingga koloni bertambah banyak. Plak akan terbentuk segera setelah terjadi koloni mikroorganisme. Oleh karena itu plak merupakan lapisan tipis yang terdiri dari lapisan pelikel, bakteri dan matriks interseluler yang melekat pada email gigi

atau permukaan basis gigitiruan (Nissengard and Newman, 1994). Menurut Van Nieuwe Amerongen (1988) fungsi lapisan pelikel adalah :

1. Sebagai bahan pelicin pencegah keausan permukaan gigi karena pengunyahan.
2. Mengurangi kecepatan demineralisasi permukaan gigi karena pengaruh makananan dan minuman.

Suatu bahan sintetik (termasuk gigitiruan) apabila diletakkan di dalam mulut akan langsung berkontak dengan ludah yang kaya protein, dan lapisan pelikel akan segera terbentuk (pada 0 menit) karena adanya deposisi protein. Seperti terlihat pada gambar 2.7 pelikel bersifat dinamik, karena secara teratur (sekitar 20 menit) berubah komposisinya. Adanya reseptor dan adesin memungkinkan pelikel berfungsi sebagai mediator terhadap terjadinya perlekatan mikroorganisme dan sel host yang dapat berlangsung setelah kurang lebih 2 jam (Edgerton dan Levine, 1993).

Oleh Edgerton dan Levine (1993) disebutkan bahwa koloni *Streptococcus epidermis* banyak ditemukan pada permukaan bahan polimer. Di samping itu *Candida albicans* mudah melekat pada gigitiruan. Pernyataan ini diperkuat oleh kenyataan bahwa *Candida albicans* merupakan spesies paling dominan yang terdapat pada permukaan gigitiruan pada penderita stomatitis akibat gigitiruan (Tamamoto et al., 1986). Hal ini terjadi karena *Candida albicans* dapat melepaskan endotoksin yang dapat merusak mukosa mulut dan menyebabkan terjadinya stomatitis (Holmes et al., 1992).

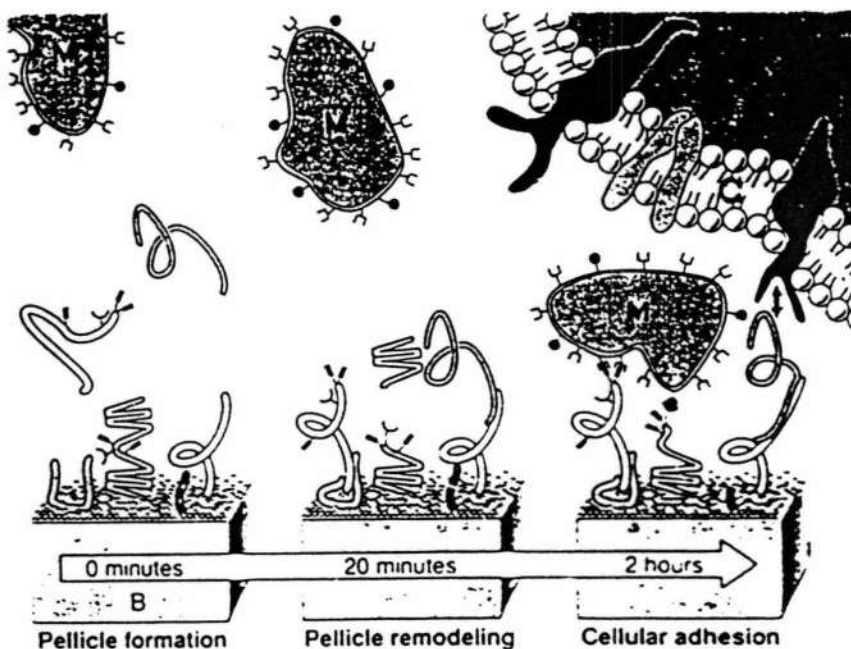
Perlekatan *Candida albicans* pada permukaan gigitiruan dapat diterangkan melalui dua teori yaitu :

a. Teori interaksi hidrofobik

Perlekatan *Candida albicans* pada permukaan gigitiruan terjadi berdasarkan teori termodinamik. Perlekatan dapat terjadi karena *Candida albicans* bersifat hidrofilik, sehingga mudah melekat pada permukaan basis gigitiruan yang bersifat hidrofobik (Minggi et al., 1985).

b. Teori interaksi spesifik

Pada interaksi ini *Candida albicans* akan melekat pada permukaan basis gigitiruan melalui lapisan pelikel yang terbentuk karena adanya deposisi protein ludah yang diserap oleh bahan basis gigitiruan (Edgerton and Levine, 1993).



Gambar 2.7 Pertumbuhan mikroorganisme pada pelikel pada permukaan gigitiruan (Edgerton and Levine, 1993)

Keterangan B (bahan basis gigitiruan), M (sel mikroorganisme), C (sel host). Koil dan spiral (deposisi protein) - Lapisan pelikel terbentuk pada 0 menit dan komposisinya akan berubah setiap 20 menit. Perlekatan antara host dan mikroorganisme terjadi setelah 2 jam.

2.5 Metode Kromatografi Gas pada Pemeriksaan Sifat Kimiawi Bahan Polimer

Kromatografi adalah suatu teknik pemisahan campuran bahan tertentu. Pertama kali diperkenalkan pada tahun 1903, yaitu untuk melakukan pemisahan senyawa yang berwarna. Nama kromatografi mengandung makna warna, tetapi pembatasan untuk senyawa yang berwarna ini tidak bertahan lama karena dalam perkembangannya pemisahan secara kromatografi dapat diperuntukkan bagi senyawa yang tidak berwarna, termasuk gas (Sastrohamidjojo, 1982).

Pada dasarnya semua metode kromatografi menggunakan dua fase, yaitu fase gerak, dan fase diam. Penggolongan metoda kromatografi lazimnya berdasarkan pada fase gerak dan fase diam :

- a. Fase gerak zat cair - fase diam padat : Contoh kromatografi lapisan tipis.
- b. Fase gerak gas - fase diam padat : Contoh kromatografi gas padat
- c. Fase gerak zat cair - fase diam zat cair : Contoh kromatografi kertas.
- d. Fase gerak gas - fase diam zat cair : Contoh kromatografi gas cair

Pada dasarnya metode kromatografi dilakukan untuk melakukan analisis secara kualitatif, secara kuantitatif dan secara preparatif. Pada cara kualitatif akan diketahui ada atau tidak adanya senyawa tertentu dalam suatu cuplikan. Hal ini dilakukan dengan membandingkan waktu tambat atau volume tambat senyawa murni dengan waktu tambat atau volume tambat komponen dalam cuplikan. Sedangkan pada cara kuantitatif, akan ditunjukkan kadar suatu cuplikan berdasarkan pada luas puncak. Pada cara preparatif, akan didapatkan komponen cuplikan dalam jumlah yang tertentu dalam keadaan murni. Waktu tambat atau volume tambat menunjukkan waktu atau volume lamanya suatu senyawa

tertahan di dalam kolom, hal ini dapat menjadi identitas suatu senyawa (Gritter et al., 1991).

Kromatografi gas merupakan metode yang tepat dan cepat untuk memisahkan campuran yang sangat rumit. Waktu yang dibutuhkan dapat bervariasi mulai detik untuk cuplikan sederhana sampai dengan berjam-jam untuk cuplikan dengan 500-1000 komponen (Gritter et al., 1991).

Di bidang kedokteran gigi, metode kromatografi gas banyak digunakan oleh para peneliti untuk menentukan kadar monomer sisa metil metakrilat yang terdapat pada basis gigitiruan (Sadamori et al., 1990; Harrison and Hugget, 1992; Tsuchiya et al., 1994). Dalam penelitian ini, identifikasi korapponen poliester EBP-2421 maupun pemeriksaan monomer sisa dan proses hidrolisis dilakukan dengan metode kromatografi gas.

2.6 Sifat Fisis dan Sifat Mekanis Bahan Polimer Basis Gigitiruan

Pada umumnya semua bahan basis gigitiruan dalam pemakaiannya harus dapat menahan beban yang terjadi pada waktu pengunyahan, untuk itu sifat fisis dan sifat mekanis bahan perlu diperhatikan.

Pemberian bahan sambung-silang dalam polimer untuk basis gigitiruan akan berpengaruh terhadap sifat fisisnya. Bahan tersebut akan memberikan sifat elastis pada polimer apabila terjadi tekanan, dan juga tahan terhadap bahan pelarut. Pemberian bahan sambung-silang yang berlebihan akan menyebabkan polimer menjadi lebih keras dan lebih getas (Combe, 1992). Tetapi secara umum, sifat fisis dan sifat mekanis polimer dipengaruhi oleh

suhu dan lingkungan rongga mulut, komposisi, berat molekul dan struktur rantai polimernya (Phillips, 1991).

Monomer sisa metil metakrilat yang terdapat pada resin akrilik selain dianggap sebagai senyawa yang dapat bersifat iritatif bagi pemakai, juga dapat mempengaruhi sifat fisis dan sifat mekanis bahan. Hal ini terjadi karena monomer sisa dapat berfungsi sebagai pelentuk bagi polimer, yaitu dapat menyebabkan polimer menjadi lunak (Combe, 1992).

Sifat fisis dan sifat mekanik yang kurang sesuai dapat diperbaiki dengan menambahkan bahan pengisi dalam komposisi polimer. Fungsi bahan pengisi antara lain untuk: a) memperbaiki sifat mekanis terutama kekuatan kompresi, elastisitas dan kekerasan, b) menurunkan koefisien suhu ekspansi, dan c) mengurangi kontraksi yang dapat terjadi pada saat polimerisasi (Combe, 1992; Van Noort, 1994; Craig, 1997). Disebutkan pula bahwa di bidang kedokteran gigi, bahan pengisi yang biasa digunakan antara lain adalah silika (SiO_2), yang berfungsi sebagai pembentuk *network* dalam struktur polimer (Craig, 1997). Penelitian Fukazawa dengan kawan-kawan (1987) menunjukkan bahwa konsentrasi silika yang terlepas setelah direndam selama satu minggu dalam larutan asam buffer sangat kecil, apabila dibandingkan dengan konsentrasi F dan Al.

Bahan basis gigitiruan dalam pemakaiannya harus dapat menahan beban yang terjadi pada waktu proses pengunyahan. Pada saat proses pengunyahan ini, sifat fisis dan sifat mekanis bahan sangat penting artinya. Secara umum ketahanan suatu benda padat dalam menerima beban ditentukan oleh bentuk dan ikatan struktur atomnya (Craig, 1997).

Atin dengan kawan-kawan (1996) menyebutkan bahwa kekuatan transversa atau kekuatan fleksural merupakan salah satu parameter fisik untuk mengetahui ketahanan suatu

bahan terhadap beban. Pemeriksaan kekuatan transversa dapat memberikan gambaran tentang ketahanan bahan dalam menerima beban pada waktu terjadi pengunyahan (Craig, 1997).

Kekuatan geser merupakan ketahanan maksimum suatu bahan dalam menerima beban yang datangnya secara berlawanan. Pemeriksaan terhadap kekuatan geser biasa dilakukan untuk mengetahui kekuatan perlekatan antara dua macam bahan yang berbeda macamnya (Craig, 1997).

Kekerasan permukaan suatu bahan adalah ketahanan bahan dalam menahan indentasi, yang juga dapat digunakan sebagai parameter untuk mengetahui kemampuan bahan dalam menahan abrasi (Pagniano and Johnston, 1993). Sifat ini penting karena akan berpengaruh terhadap tindakan pemolesan dan goresan yang dapat terjadi pada waktu pengunyahan, atau pada saat menggosok gigi.

Kehalusan permukaan bahan atau bentuk topografinya, dapat mempengaruhi perlekatan mikroorganisme pada bahan tersebut (Verran and Maryan, 1997). Sifat fisis bahan, yang juga sangat mempengaruhi keberhasilan pemakaian gigitiruan adalah ketepatan ukurannya. Pada umumnya proses polimerisasi selalu menghasilkan pengkerutan pada polimer, dan hal ini sangat mempengaruhi ketepatan polimer dalam pemakaian (Salim et al., 1992).

Beberapa hal dari tinjauan pustaka yang ikut mendukung konsep teori penelitian ini disimpulkan dalam peta teori pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Peta teori

NO	PENULIS dan JOURNAL	JUDUL (J), RUANG LINGKUP (RL) dan HIPOTESIS (H)	PARADIGMA (P) dan LANDASAN TEORI (LT)	METODOLOGI	HASIL
1	Blanchet et al., Brit Dent J., 1982	<p>J : Effects of methyl methacrylate monomer vapors on respiration and circulation in unanesthetized rats</p> <p>RL: Sistem pernafasan</p> <p>H : Pemaparan uap monomer metil metakrilat mempunyai pengaruh terhadap tekanan darah, pernafasan dan denyut jantung tikus.</p>	<p>P : Fisiologi</p> <p>LT : Monomer metil metakrilat banyak digunakan di bidang kedokteran gigi</p> <p>: Paru merupakan organ utama untuk pembuangan monomer metil metakrilat</p>	<p>Sampel : 12 ekor tikus dibagi menjadi tiga kelompok (2 kelompok perlakuan dan 1 kelompok kontrol)</p> <p>Perlakuan : Pemberian uap monomer metil metakrilat sebanyak 20 menit/hari untuk K1 selama 21 hari K2 selama 42 hari</p> <p>Pemeriksaan : Tekanan darah, denyut jantung, pernafasan dan gambaran ECG dilakukan sebelum dan sesudah perlakuan</p>	<p>Kenaikan kecepatan denyut jantung dan pernafasan terjadi pada 5 ekor tikus.</p> <p>Pola ECG menjadi tidak beraturan, terjadi pada 3 ekor tikus.</p> <p>Tekanan darah meningkat dengan bertambah lamanya pemaparan terhadap monomer, terjadi pada semua tikus kelompok perlakuan.</p>
2	Ali et al., Brit Dent J., 1986	<p>J : The burning mouth sensation related to the wearing of acrylic dentures</p> <p>RL: Hipersensitivitas kontak</p> <p>H : Sensasi mulut seperti ter-</p>	<p>P : Hipersensitivitas</p> <p>LT : Sensasi mulut seperti terbakar penyebabnya masih belum jelas</p> <p>: Prevalensi kasus tersebut</p>	<p>Sampel : 22 orang pemakai gigitiruan dengan keluhan mulut seperti terbakar.</p> <p>Pemeriksaan : Dilakukan tes tempel kulit de-</p>	<p>Tes tempel kulit : 23% positif alergi terhadap monomer metil metakrilat</p> <p>Kromatografi gas : 73% gigitiruan mempunyai konsentrasi monomer sisa an-</p>

NO	PENULIS dan JOURNAL	JUDUL (J), RUANG LINGKUP (RL) dan HIPOTESIS (H)	PARADIGMA (P) dan LANDASAN TEORI (LT)	METODOLOGI	HASIL
		bakar dapat terjadi karena Pemakaian gigitiruan.	sekitar 5% dan mayoritas adalah pemakai gigitiruan : Faktor penyebabnya sangat bervariasi, yaitu a. infeksi <i>C. albicans</i> b. iritasi mukosa karena monomer metil metakrilat c. perubahan hormonal d. serostomia e. gangguan psikogenik	ngan menggunakan monomer a. metil metakrilat b. hidrokinon c. butil metakrilat d. dimetil metakrilat Metoda pemeriksaan adalah dengan menggunakan kromatografi gas.	tara 0,4% - 2,6%.
3	Tsuchiya et al., <i>J Prosth Dent.</i> , 1994	J : Leaching and cytotoxicity of formaldehyde and methyl methacrylate from acrylic resin denture base Materials RL: Sitotoksitas H : Formaldehid dan monomer metil metakrilat dapat terlepas dari polimer metil metakrilat.	P : Sitotoksitas LT: Senyawa yang terlepas dari resin akrilik dapat menyebabkan terjadinya iritasi dan reaksi inflamasi pada mukosa rongga mulut : Respon alergi pada rongga mulut biasanya terjadi karena ada pelepasan dari monomer metil metakrilat	Sampel : Dibuat disk dari beberapa macam bahan, yaitu a. resin akrilik kuring panas b. resin akrilik kuring dingin c. resin akrilik gelombang mikro Perlakuan : Disk direndam dalam saliva buatan dan saliva manusia. Pemeriksaan : Saliva bekas perendaman poliester diperiksa dengan menggunakan :	Pelepasan formaldehid dan metil metakrilat terjadi baik dalam saliva buatan atau saliva manusia. Semua bahan bersifat sitotoksik.

NO	PENULIS dan JOURNAL	JUDUL (J) RUANG LINGKUP (RL) dan HIPOTESIS (H)	PARADIGMA (P) dan LANDASAN TEORI (LT)	METODOLOGI	HASIL
4	Rached et al., Braz Dent J., 1995	<p>J : Reaction of the human gingival tissue to different suture materials used in periodontal surgery</p> <p>RL : Regenerasi jaringan</p> <p>H : Benang jahit operasi menimbulkan reaksi pada Jaringan gingiva manusia.</p>	<p>P : Histopatologi</p> <p>LT : Poliester mempunyai banyak kegunaan di bidang medik, salah satunya sebagai benang jahit operasi.</p>	<p>a. Kromatografi cair tekanan tinggi (HPLC) untuk mengetahui bahan yang terlepas dalam saliva.</p> <p>b. Biakan kultur sel untuk mengetahui sitotoksitasnya.</p> <p>Sampel : 36 orang yang menjalani operasi periodontal, dibagi menjadi empat kelompok, masing-masing kelompok terdiri dari 9 orang. Sebanyak 4 orang sehat digunakan sebagai kelompok kontrol.</p> <p>Perlakuan : Luka yang terjadi setelah operasi dijahit dengan menggunakan benang, a. sutera b. nilon c. perlon d. poliester</p> <p>Biopsi jaringan dilakukan pada hari ke 3, 7, dan 14 setelah luka dijahit.</p>	<p>Reaksi inflamasi yang berat terjadi pada kelompok sutera dan nilon. Reaksi inflamasi yang ringan terjadi pada kelompok perlon dan poliester.</p>

NO	PENULIS dan JOURNAL	JUDUL (J) RUANG LINGKUP (RL) dan HIPOTESIS (H)	PARADIGMA (P) dan LANDASAN TEORI (LT)	METODOLOGI	HASIL
5.	Wiltshire et al., Quint Int J., 1996	J : Allergies to dental materi- als RL: Hipersensitivitas kontak	P : Hipersensitivitas LT: Reaksi alergi karena ba- han kedokteran gigi bia- sanya termasuk dalam hi- persensitivitas seluler. : Hipersensitivitas kontak di bidang kedokteran gi- gi digambarkan sebagai lesi pada mukosa yang terjadi karena ada papa- ran secara berulang dari suatu alergen. : Kemampuan menyebab- kan hipersensitivitas tipe kontak tergantung kepa- da kemampuan alergen mengikat prtein rongga mulut. : Manifestasi oralnya dise- but stomatitis, yaitu di- tandai dengan mukosa yang mengalami edema, sensasi mulut terbakar, terdapat area yang erosi, dan terdapat ulkus. : Bahan kedokteran gigi yang dapat menjadi aler-	Tinjauan pustaka	Mekanisme alergi belum di- fahami dengan tepat. Cara mudah untuk menghi- langkan alergen adalah dengan Membebaskan mukosa dari semua kontak dengan bahan alergen.

NO	PENULIS dan JOURNAL	JUDUL (J) RUANG LINGKUP (RL) dan HIPOTESIS (H)	PARADIGMA (P) dan LANDASAN TEORI (LT)	METODOLOGI	HASIL
			<p>gen , antara lain adalah resin akrilik.</p> <p>Monomer sisa metil metakrilat pada resin akrilik dapat menimbulkan iritasi mukosa.</p>		
6	Lekovic et al., J Perio., 1998	<p>J : Histologic evaluation of guided tissue regeneration using four barrier membranes; a comparative furcation study in dogs</p> <p>RL: Regenerasi jaringan</p>	<p>P : Inflamasi</p> <p>LT: Poliester sudah banyak digunakan di bidang medik, antara lain adalah politetrafluoretilen.</p>	<p>Sampel : 7 ekor anjing dengan gigi dalam keadaan periodontitis</p> <p>ngan bahan membran barrier, a. polikarbonat b. silikon c. politetrafluoretilen d. polikaprolakton</p> <p>Pemeriksaan : 6 bulan setelah perlakuan / pemberian membran barrier, jaringan diperiksa secara histologi.</p>	<p>Terlihat tanda penyembuhan luka, dan terjadi regenerasi</p> <p>Politetrafluoroetilen menunjukkan penyembuhan yang sama dengan kelompok kontrol.</p>
7	Penulis, Disertasi, 1998	<p>J : Biokompatibilitas poliester sebagai dasar alternatif bahan basis gigitiruan</p>	<p>P : Biokompatibilitas</p> <p>LT : Resin akrilik saat ini merupakan satu-satunya</p>	<p>Jenis penelitian : Eksperimental murni dengan dikerjakan secara <i>in vitro</i> dan <i>in vivo</i> dengan pengamatan</p>	<p>Sifat kimia : Tidak terdeteksi adanya konsentrasi monomer sisa. Pemeriksaan dengan menggunakan</p>

NO	PENULIS dan JOURNAL	JUDUL (J) RUANG LINGKUP (RL) dan HIPOTESIS (H)	PARADIGMA (P) dan LANDASAN TEORI (LT)	METODOLOGI	HASIL
		<p>RL: Toksikologi, karsinogenik, teratogenik, hipersensitivitas, mikrobiologi dan sifat kimia fisik mekanik bahan.</p> <p>H : Poliester EBP-2421</p> <p>a. Tidak ada monomer sisa dan tidak mengalami hidrolisis.</p> <p>b. Tidak ada efek toksik, karsinogenik, teratogenik, dan tidak menimbulkan reaksi hipersensitivitas.</p> <p>c. Bukan sebagai tempat pertumbuhan <i>Candida albicans</i>.</p> <p>d. Mempunyai sifat fisik dan mekanik yang sama dengan resin akrilik.</p>	<p>bahan polimer untuk basis gigitiruan.</p> <p>: Resin akrilik mempunyai Monomer sisa metil metakrilat yang iritatif bagi individu yang sensitif Terhadap metil metakrilat.</p> <p>: Poliester mempunyai Banyak kegunaan di bidang medik, yaitu sebagai pengganti organ tubuh yang rusak (protesa), benang jahit.</p> <p>: Poliester EBP-2421 biasa digunakan sebagai bahan untuk membuat patung.</p> <p>: Poliester EBP-2421 tersusun dari anhidrida ftalat dan propilen glikol.</p> <p>: Poliester EBP-2421 juga dapat dibentuk menjadi basis gigitiruan.</p> <p>: Biokompatibilitas penting untuk biomaterial</p>	<p>makroskopik dan mikroskopik</p> <p>Bahan : Poliester EBP-2421 untuk kelompok perlakuan dan resin akrilik <i>Stellon</i> sebagai bahan pembanding.</p> <p>Subjek : Tikus putih (<i>Rattus novvergicus</i>), biakan sel dan batang polimer.</p> <p>Pemeriksaan : Sifat kimia, toksisitas, teratogenik, karsinogenik, hipersensitivitas, mikrobiologi, sifat fisik dan sifat mekanik bahan.</p>	<p>kromatografi gas.</p> <p>Biokompatibilitas : Tidak toksik, tidak karsinogenik, tidak teratogenik tapi ada kemungkinan reaksi hipersensitif.</p> <p>Mikrobiologi : Dapat menjadi tempat perlekatan <i>Candida albicans</i>.</p> <p>Sifat fisik mekanik : Tidak sebaik resin akrilik, tetapi penambahan silika 2,5% dapat menaikkan kekuatan jadi sama baiknya dengan resin akrilik.</p> <p>Perlu terus dikembangkan dengan melakukan pemeriksaan yang lainnya.</p>