

**PEMANFAATAN HIDROKSIAPATIT TULANG SAPI
SEBAGAI BIOMATERIAL TUMPATAN KOMPOSIT**

Utilization of Ox Bone Hydroxyapatite as Composite Filling Biomaterial

RISNAYANTI



**PROGRAM STUDI MAGISTER KEDOKTERAN GIGI
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**PEMANFAATAN HIDROKSIAPATIT TULANG SAPI
SEBAGAI BIOMATERIAL TUMPATAN KOMPOSIT**

Utilization of Ox Bone Hydroxyapatite as Composite Filling Biomaterial

TESIS

*Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat
untuk mencapai gelar Magister Kedokteran gigi*



**RISNAYANTI
J012202002**

**PROGRAM MAGISTER KEDOKTERAN GIGI
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

PENGESAHAN TESIS

**PEMANFAATAN HIDROKSIAPATIT TULANG SAPI
SEBAGAI BIOMATERIAL TUMPATAN KOMPOSIT**

**RISNAYANTI
NIM J012202002**

**Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
penyelesaian Studi Program Magister Kedokteran Gigi
Universitas Hasanuddin**

Pada tanggal Januari 2023


Menyetujui

Pembimbing I



**Dr. Leni Indriani, drg., M.kes
NIP. 197605132005012002**

Pembimbing II



**Fuad Husain Akbar, drg., MARS. PhD
NIP. 198550826 201504 001**

**Ketua Program Studi
Magister Kedokteran Gigi**




**Fuad Husain Akbar, drg., MARS. PhD
NIP. 198550826 201504 001**

**Dekan
Fakultas Kedokteran Gigi**




**Prof. Dr. Edy Machmud, drg., Sp. Pros(K)
NIP. 196311041994011001**

Pernyataan Keaslian Tesis



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10 Makassar 90245
Telepon (0411) 586012, 584641 Faximile. (0411) 584641
Laman: dent.unhas.ac.id, Email: fdhu@unhas.ac.id

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Risnayanti
NIM : J0122 02 002
Konsentrasi : Dental Material
Program Studi : Magister Ilmu Kedokteran Gigi FKG Unhas

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan tesis yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dengan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika pedoman penulisan tesis.

Apabila kemudian hari terbukti dan dapat dibuktikan Sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Januari 2023

Yang menyatakan,



Risnayanti
Risnayanti

NIM.J012202002

ABSTRAK

RISNAYANTI. *Pemanfaatan Hidroksiapatit Tulang Sapi sebagai Biomaterial Tumpatan Komposit* (dibimbing oleh Lenni Indriyani dan Fuad Husain Akbar).

Keberadaan limbah kotoran dan tulang ternak di Indonesia cukup tinggi, namun belum tercapai pengolahan secara optimal. Sehubungan dengan kondisi ini diperlukan penelitian untuk mengetahui alternatif pengolahan limbah ternak dalam rangka meningkatkan nilai ekonomis dan mencegah pencemaran lingkungan yang sekaligus mampu meminimalkan masalah-masalah kesehatan. Penelitian ini bertujuan mengetahui pemanfaatan hidroksiapatit tulang sapi sebagai biomaterial pada tumpatan komposit. Penelitian ini menggunakan dua kelompok, pengamatan, yakni kelompok uji dan kelompok kontrol. Kelompok uji adalah bahan tumpatan komposit olahan sendiri karena filler berasal dari hidroksiapatit tulang sapi, sedangkan kelompok kontrol adalah bahan tumpatan komposit buatan pabrik. Sampel dikeraskan menggunakan penyinaran sinar tampak dengan intensitas cahaya dan waktu yang sama pada kedua kelompok. Selanjutnya, dilakukan uji kekerasan dengan menggunakan *vickers hardness testing machine* dan nilainya dianalisis secara statistik menggunakan uji-T tidak berpasangan ($p < 0,05$). Hasil penelitian menunjukkan rata-rata nilai kekerasan kelompok uji (33,44 VHN), lebih besar daripada kelompok kontrol (27,82 VHN), dan signifikan secara statistik. Disimpulkan bahwa hidroksiapatit tulang sapi yang digunakan sebagai filler berpotensi meningkatkan sifat mekanik dari bahan tumpatan komposit.

Kata kunci: hidroksiapatit, komposit, biomaterial, kekerasan



ABSTRACT

RISNAYANTI. *Utilization of Ox Bone Hydroxyapatite as Composite Filling Biomaterial* (supervised by Lenni Indriyani and Fuad Husain Akbar)

The existence of livestock manure and bone waste in Indonesia is quite high, but optimal processing has not yet been achieved, so various studies have been conducted to find alternatives for livestock waste treatment to increase economic value, prevent environmental pollution, and minimize health problems. This study aims to determine the utilization of bovine bone hydroxyapatite as a biomaterial in composite fillings. The test group used was self-produced composite filling material where the filler was derived from beef sbone hydroxyapatite, and the control group was factory-made composite filling material. Samples were amplified using visible light irradiation with the same light intensity and time in both groups. Then the hardness test was carried out using Vickers Hardness testing machine and the value was analyzed statistically using unpaired t-test ($p < 0.05$). The results show that the average hardness value of the test group (33.44 VHN) is greater than the control group (27.82 VHN) which is statistically significant. In conclusion, hydroxy apatite of bovine bone used as a filler has a potential to improve the mechanical properties of composite filling materials.

Keywords: hydroxy apatite, composite, biomaterial, hardness



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PENGESAHAN TESIS	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
ASBTRAK	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
E. Hipotesis Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Tulang Sapi	6
B. Hidroksiapatit	8
C. Bio Material	16
D. Bahan Tumpatan Komposit	27
BAB III KERANGKA TEORI DAN KERANGKA KONSEP	44
A. Kerangka Teori	44
B. Kerangka Konsep	45
BAB IV METODE PENELITIAN	46
A. Jenis dan Desain Penelitian	46
B. Lokasi dan Waktu Penelitian	46
C. Sampel Penelitian	46
D. Kriteria Sample	47
E. Perhitungan Besaran Sampel	47

F. Variabel Penelitian	48
G. Definisi Operasional.....	48
H. Instrumen Penelitian.....	48
I. Prosedur Penelitian	50
J. Uji Kekerasan	52
ALUR PENELITIAN	54
BAB V METODE PENELITIAN	55
A. Hasil Penelitian	55
B. Pembahasan	59
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	62
A. Kesimpulan	62
B. Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA.....	63

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
Tabel 5.1	Uji normalitas data nilai kekerasan kelompok uji dan kelompok	57
Tabel 5.2	Nilai kekerasan Kelompok Uji dan Kelompok Kontrol	58

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
Gambar 2.1	Struktur kimia hidroksiapatit.....	9
Gambar 2.2	Struktur Bis-GMA.....	29
Gambar 2.3	Struktur UDMA.....	29
Gambar 2.4	Struktur TEGDMA	30
Gambar 2.5	Struktur silorane	30
Gambar 2.6	Struktur MPTS	31
Gambar 5.1	Gambaran mikroskopik permukaan tumpatan komposit kelompok uji dan kelompok kontrol.....	55
Gambar 5.2	Histogram distribusi frekuensi nilai kekerasan kelompok uji.....	56
Gambar 5.3	Histogram distribusi frekuensi nilai kekerasan kelompok control	57
Gambar 5.4	Box plot nilai kekerasan kelompok uji dan kelompok control	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Dokumentasi penelitian	67
Hasil pengukuran uji kekerasan.....	69
Hasil Olah Data (SPSS)	71
Surat bebas penelitian dan rekomendasi etik	73

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

Istilah/Singkatan	Kepanjangan/Pengertian
HAp	<i>Hidroksiapatit</i>
Bis-GMA	<i>Bisphenol A-Glycidyl Methacrylate</i>
UDMA	<i>Urethane Dimethacrylate</i>
TEGDMA	<i>Triethylane Glycol Dimethacrylate</i>
HEMA	<i>2-hidroksiethyl methacrylate</i>
DMAEMA	<i>Dimethylaminoethyl methacrylate</i>
LED	<i>Light emitting diode</i>

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dental material berkembang sejalan dengan kondisi global yang berdasarkan pada kemajuan dan perkembangan pengetahuan dan teknologi material kedokteran gigi. Beberapa negara memisahkan antara Dental Materials dan Teknologi menjadi Biomaterial Kedokteran Gigi. Kekhasan keilmuan kedokteran gigi sangat mendukung pengembangan keilmuan biomaterial yang sangat luas.(sabanna,2016)

Definisi biomaterial menurut *American National Institute of Health* menggambarkan biomaterial sebagai zat atau kombinasi dari zat, selain obat-obatan, baik yang berasal dari sumber sintetik atau alami, yang dapat digunakan setiap periode waktu untuk menambah atau menggantikan Sebagian atau seluruh jaringan, organ atau fungsi tubuh yang, yang bertujuan untuk mempertahankan atau meningkatkan kualitas hidup individu.(Warastuti,2015)

Komposit merupakan salah satu bahan restorasi yang sering digunakan di kedokteran gigi saat ini. Namun bahan tambal komposit ini memiliki beberapa kelemahan disamping kelebihanannya dimana warnanya yang menyerupai gigi, yaitu mudah aus dan harganya mahal. Oleh karena permasalahan tersebut, mulai terpikirkan untuk membuat suatu biomaterial yang dapat digunakan sebagai bahan tumpatan.(Afriani,2020)

Komposisi resin komposit terdiri atas matriks Komposisi resin komposit terdiri atas matriks polimer organik, *filler* anorganik, *coupling agent*, serta inisiator-aktivator. *Filler* yang sering digunakan adalah *quartz*, *zirconia* dan beberapa jenis *glass* seperti *borosilicate glass*, *lithium*, atau *barium aluminium silicate* dan *strontium* atau *zinc glass*.^{1,2,3} *Filler*

anorganik berfungsi mengurangi pengerutan akibat polimerisasi, ekspansi termal dan penyerapan air serta untuk memperkuat matriks komposit dengan meningkatkan kekerasan, kekuatan, dan ketahanan terhadap keausan.^{4,5} Penelitian terhadap resin komposit terus dilakukan untuk mendapatkan resin komposit dengan biokompatibilitas yang tinggi terhadap jaringan. Salah satu cara untuk mendapatkan resin komposit dengan sifat biokompatibilitas yang baik adalah dengan mengganti bahan *filler* yang biasa digunakan dengan hidroksiapatit (HA).^(Djustiana,2018)

Selain sintetis, HA juga dapat diperoleh dari bahan-bahan yang tersedia di alam (hidroksiapatit alami) seperti tulang vertebrata atau hewan bertulang belakang karena HA merupakan komponen utama jaringan keras pada vertebrata.^(Sabanna,2018.Odusute2019)

Tulang merupakan jaringan ikat yang terdiri dari sel, serat dan bahan pengisi. Bahan pengisi pada tulang terdiri dari protein dan garam-garam mineral. Garam-garam mineral yang banyak terdapat pada tulang adalah kalsium fosfat 58,3%, kalsium karbonat 1%, magnesium fosfat 2,1% dan kalsium klorida 1,5%, sisanya sebanyak 30,6% protein. Kandungan protein kolagen sebagai bahan baku utama gelatin dalam jaringan tulang sapi sebanyak 24% bobot kering bebas lemak.^(Ayatollahi,2015.Rakhmae2020)

Garam kalsium fosfat (CaP) merupakan mineral utama yang menyusun tulang dan gigi.. Di antara jenis garam CaP, hidroksiapatit merupakan yang paling mirip dengan bagian mineral pada tulang. Memiliki rumus kimia $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, hidroksiapatit merupakan fase kristal dari CaP yang paling stabil secara termodinamik. Hidroksiapatit ini memiliki biokompatibilitas yang sangat baik serta memiliki afinitas tinggi dengan biopolimer. Hidroksiapatit terbukti biokompatibel dan ditoleransi dengan sangat baik oleh jaringan rongga mulut manusia.^(Lestiana,2015)

Pemanfaatan limbah ternak secara efisien dan ekonomis akan mampu mencegah dahsyatnya pencemaran lingkungan, nilai estetis, dan berbagai masalah kesehatan terhadap kehidupan manusia. Keberadaan limbah kotoran dan tulang ternak di Indonesia cukup tinggi akibat tingginya total konsumsi daging sapi, ayam, dan babi di Indonesia yang mencapai 3.572 dan 4.092 kg/kapita/tahun pada tahun 2009 dan 2010 (BPS 2011).^(3,12) Mengingat cukup tingginya keberadaan limbah kotoran dan tulang ternak di Indonesia dan belum tercapainya pengolahan secara optimal, maka berbagai penelitian untuk mengetahui alternatif pengolahan limbah ternak untuk meningkatkan nilai ekonomis, mencegah pencemaran lingkungan yang sekaligus mampu meminimalkan masalah-masalah kesehatan sangat perlu untuk ditingkatkan baik kuantitas maupun kualitasnya.(Yazid,2015)

Potensi sampah biologi seperti tulang sapi di Indonesia cukup besar ketersediaannya. Tulang sapi memiliki kandungan kalsium yang cukup tinggi yaitu sekita 85.84%. Karena kandungan kalsium yang cukup besar inilah maka, kalsium tersebut dapat dimanfaatkan untuk mensintesis hidroksiapatit. Oleh karena itu, limbah tulang sapi yang masih sangat banyak dan belum dimanfaatkan ini menjadi faktor pendukung kenapa dipilih tulang sapi sebagai sumber hidroksiapatit yang dapat dijadikan sebagai biomaterial bahan tumpatan komposit.(Sabanna,2016,. lalabata,2017)

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dirumuskan suatu masalah yaitu: Bagaimana pemanfaatan hidroksiapatit tulang sapi sebagai biomaterial pada tumpatan komposit?

C. Tujuan Penelitian

1. Tujuan Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pemanfaatan hidroksiapatit tulang sapi sebagai biomaterial pada tumpatan komposit.

2. Tujuan Khusus

Untuk mengetahui kekerasan resin komposit dengan Filler hidroksiapatit dari tulang sapi.

D. Manfaat Penelitian

1. Hasil penelitian ini diharapkan dapat melengkapi database potensi pemanfaatan limbah tulang sapi. sehingga dapat digunakan sebagai pedoman pada penelitian selanjutnya. Selain itu juga diharapkan dapat memberikan informasi tentang potensi limbah tulang sapi sebagai suatu Biomaterial yang dapat digunakan sebagai bahan tumpatan sehingga dapat meningkatkan nilai ekonomis dan optimalisasi pemanfaatan limbah tulang sapi di masa mendatang.
2. Menambah pengetahuan dan memberikan pengalaman dalam melakukan penelitian dan penulisan karya ilmiah.
3. Memberikan sumbangan terhadap perkembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang *dental material*.
4. Sebagai data awal bagi penelitian lebih lanjut
5. Pada penelitian ini dapat membuat suatu inovasi pembuatan sediaan sebagai bahan tumpatan

E. Hipotesis Penelitian

Ho Hidroksiapatit tulang sapi tidak berpotensi sebagai biomaterial pada tumpatan komposit

Ha Hidroksiapatit berpotensi sebagai biomaterial pada tumpatan komposit.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tulang Sapi

Struktur tulang sapi pada prinsipnya sama dengan tulang lainnya yaitu terbagi menjadi bagian *epiphysis* atau bagian sendi tulang dan *diaphysis* atau bagian tengah tulang yang berbentuk silinder^(lalabata,2017)

Tulang merupakan jaringan ikat yang terdiri dari sel, serat dan bahan pengisi. Bahan pengisi pada tulang terdiri dari protein dan garam-garam mineral. Garam-garam Mineral yang banyak terdapat padatulang adalah kalsium fosfat 58.3%, kalsium karbonat 1%, magnesium fosfat 2.1%, dan kalsium klorida 1.5%, sisanya sebanyak 30.6% protein. Kandungan protein kolagen sebagai bahan baku utama gelatin dalam jaringan tulang sapi sebanyak 24% bobot kering bebas lemak.^(ayatollahi,2015)

Tulang sapi mengandung kurang lebih 50% air, 50% sumsum dan 96% mengandung lemak. Tulang yang telah mengalami penghilangan (*degreasing*) terdiri dari bahan organik dengan perbandingan 1:2 persenyawaan organik dalam tulang disebut ossein yang apabila dididihkan atau diekstraksi akan menghasilkan gelatin. Tulang jaringan yang dinamis secara kontinyu dapat diperbaharui dan direkonstruksi. Tulang memiliki pembuluh darah, pembuluh limfa dan syaraf. Tulang panjang seperti tulang paha (*femur*), memiliki bentuk seperti silinder dengan bagian ujung yang membesar. Bagian yang berbentuk silinder disebut diafisis yang terdiri dari tulang kompak sebagian ujung yang membesar terdiri dari tulang berongga dan disebut epifisis. ^(Popa,2016)

Komposisi tulang sapi yang terdiri dari 93% hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) dan 7% β -tricalcium phosphate ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, β -TCP) (Ooi *et al.*,2007). Komposisi kimia tulang sapi terdiri dari zat anorganik berupa Ca, P, O, H, Na dan Mg, dimana gabungan reaksi kimia unsur Ca, P, O, H merupakan senyawa apatite mineral sedangkan Na dan Mg merupakan komponen zat anorganik tambahan penyusun tulang sapi dengan suhu titik lebur tulang sapi sebesar 12270 K. (Ayatollah,2016)

Tabel 1 Komposisi kimia tulang sapi.

Persenyawaan	Kadar (%)
Gelatin	11,10
Kalsium fosfat	57,55
Kalsium Karbonat	3,85
Magnesium fosfat	2,05
Sodium karbonat	3,45

Pada tingkat material, tulang sapi tersusun dari atau komponen organik dan anorganik. Bagian organik terutama mengandung kolagen dan protein, sedangkan komponen anorganik terutama adalah hidroksiapatit (HA) dengan persentase kecil elemen lain yang tergabung dalam struktur seperti karbonat, magnesium dan natrium (Tabel 2) .
(yazid,2018)

Komponen	Kadar (%)
Hidroksiapatit	69

Matriks Organik	22
Kolagen	90-96 dari matriks organik
Lain-lain	4-10 dari matriks organik
Air	9

B. Hidroksiapatit

Hidroksiapatit (HA) termasuk dalam famili Ca apatit memiliki rumus kimia $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$ yang terdiri dari 39% berat Ca, 18,5% P, dan 3,38% OH.⁽¹⁾ Komposisi dan struktur alaminya mirip dengan fase anorganik tulang (70%) dan gigi (96%), digunakan di berbagai bidang biomedis karena biokompatibilitas, bioaktivitas dan biodegradabilitasnya yang luar biasa. Karena sifat-sifat ini, HA banyak digunakan sebagai bahan implan dalam *Bone Tissue engineering* (BTE), untuk *drug carrier*, implan gigi, zat tambahan pada pasta gigi, matriks untuk tulang dan sebagainya. (Shafiq, 2020)

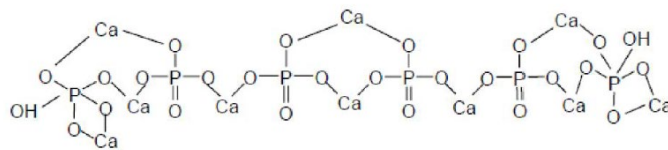
Hidroksiapatit (HA) pada email merupakan bentuk apatit yang sangat stabil pada pH biologis. Namun, selama tahap pembentukan sebelum erupsi, benih gigi di dalam cairan tubuh yang mengandung beragam ion, dapat menyatu ke dalam struktur kristalit HA sebagai *impurities*. (Shafiq, 2020)

1. Komposisi Kimia Hidroksiapatit (HA)

Terminologi "apatit" berlaku untuk sekelompok senyawa (tidak hanya pada kalsium fosfat) dengan rumus umum dalam bentuk $M_{10}(XO_4)_6Z_2$, di mana M^{2+} adalah logam dan XO_4^{3-} dan Z^- adalah anion. Nama masing-masing apatit tergantung pada unsur atau radikal M, X dan Z. Dalam istilah ini, HA memiliki struktur molekul apatit, di mana

M adalah kalsium (Ca^{2+}), X adalah fosfor (P^{5+}) dan Z adalah radikal hidroksil (OH^-). (Popa, 2016)

Hidroksiapatit tersusun atas kalsium (Ca) dan fosfat (PO_4^{3-}) (gambar 2.1). Dalam setiap sel satuan HA, Ca dan fosfat disusun sedemikian rupa sehingga empat atom Ca dikelilingi oleh sembilan atom O dari gugus fosfat pada posisi M1, dan enam atom Ca lainnya dikelilingi oleh enam atom O yang tersisa dari gugus fosfat pada posisi M2. M1 dan M2 adalah posisi kristalografi untuk semua atom Ca. Cl^- dan PO_3^{3-} memperburuk struktur HA, sedangkan OH^- dan F^- diketahui dapat meningkatkan kekuatan apatit. (Popa, 2016)



Gambar 2.1 struktur kimia hidroksiapatit

(Sabanna, V.K. et al., 2016)

Dalam kondisi fisiologis, apatit memiliki kelarutan terendah di antara mineral kalsium fosfat dan merupakan fase mineral yang paling stabil secara kimia. Oleh karena itu, apatit merupakan komponen anorganik dalam semua jaringan mineral yang sehat pada hewan vertebrata. (Khairi, 2016)

Hidroksiapatit (HAp) adalah sebuah molekul kristalin yang intinya tersusun dari fosfor dan kalsium dengan rumus molekul $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ yang termasuk di dalam

keluarga senyawa kalsium fosfat. Hidroksiapatit yang berasal dari tulang sapi telah secara luas dipelajari dalam bidang aplikasi medis seperti digunakan untuk mencangkok tulang, memperbaiki, mengisi atau penggantian tulang serta dalam pemulihan jaringan gigi. Hidroksiapatit digunakan di dalam dunia medis karena memiliki sifat yang dapat beradaptasi dengan baik pada jaringan keras dalam tulang, dapat membangun kembali jaringan tulang yang sudah rusak dan juga di dalam jaringan lunak meskipun memiliki laju degradasi yang rendah, sifat osteokonduktifitas yang tinggi, bersifat tidak beracun, non inflamasi dan imunogenik ^(Lestiana,2015)

Sifat fisika dan biokimia dari hidroksiapatit sama dengan yang dimiliki oleh tulang dan gigi. Selain itu, struktur molekul hidroksiapatit juga sama dengan struktur molekul tulang dan gigi ^(Lestiana,2015)

Abu tulang sapi adalah Trikalsium Fosfat yang berasal dari *Hydroxyapatit* $\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3$. Memiliki komposisi abu tulang sapi, sebagian besar didominasi oleh senyawa Fosfat dengan komponen mineral utama Hidroksilapatit (Anonim, 2008). Menurut Carter *and* Spengler (1978) dalam Dairy (2004) umumnya pada tulang sapi yang masih basah, berdasarkan beratnya terdapat 20% air, 45% abu, dan 35% bahan organik. Abu tulang sapi mengandung Kalsium 37% dan Fosfor 18.5% pada berat tulang sapi ^(Albu,202016)

2. Sifat-sifat Hidroksiapatit

a. Sifat Mekanik⁽⁶⁾

Hidroksiapatit mempunyai sifat mekanik yaitu, modulus elastisnya 85 GPa dan kekuatan tariknya 40-100 MPa. Hidroksiapatit dapat diproduksi dalam 2

metode utama yaitu menggunakan bahan mentah dari bahan alami dan secara sintetis. Menurut Willmann, bahan alami sesuai karena memiliki koneksi pori-pori yang sama seperti tulang manusia, namun masalah pencemaran dan benda asing yang ada telah membatasi penggunaannya. Dengan demikian, produksi hidroksiapatit sintetis telah diberi fokus secara luas untuk mengatasi masalah tersebut. Umumnya faktor yang mempengaruhi sifat mekanis hidroksiapatit adalah bentuk serbuk, pori-pori dan besar butir. Serbuk hidroksiapatit yang memiliki stoikiometri yang tepat yaitu rasio molar Ca:P sebanyak 1,67% dapat menghasilkan sifat mekanis hidroksiapatit yang unggul. Menurut Smith, pori-pori hidroksiapatit yang letaknya tidak teratur dan tidak saling berhubungan satu sama lain (tidak rekat) menyebabkan pori-pori menjadi faktor yang melemahkan kekuatan bahan hidroksiapatit. Ukuran butir juga menurunkan kekuatan bahan hidroksiapatit dengan mempengaruhi ikatan antara butir. Hidroksiapatit merupakan suatu kalsium fosfat yang banyak digunakan sebagai material pengganti tulang atau untuk bone filler (pengisi tulang) karena kemiripannya dengan struktur kimia tulang dan jaringan keras pada mamalia.

b. Sifat fisikokimia^(Danyou,2019)

Hidroksiapatit digunakan sebagai pengganti tulang karena kemiripan kimianya dengan tulang alami. Komposisi utama tulang adalah fase mineral (69 wt%), matriks organik (22 wt%), dan air (9 wt%). Tulang adalah jaringan kalsifikasi utama yang ada pada mamalia dan merupakan bionanokomposit keramik-organik yang memiliki struktur kompleks. Hidroksiapatit sangat mirip dengan komponen anorganik matriks tulang. Karena kemiripan yang dekat ini,

penelitian ekstensif sedang berlangsung untuk menggunakan hidroksiapatit sebagai pengganti tulang. Hidroksiapatit merupakan salah satu biokeramik kalsium fosfat yang paling stabil dan kurang larut dengan rasio Ca/P 1,67.

c. Sifat Biologis (Danyou,2019)

Hidroksiapatit telah banyak digunakan sebagai pengganti tulang buatan karena sifat biologisnya yang menguntungkan, yang meliputi biokompatibilitas, bioafinitas, bioaktivitas, osteokonduksi, osteointegrasi, dan osteoinduction (dalam kondisi tertentu). Hidroksiapatit hanya mengandung ion kalsium dan fosfat dan oleh karena itu tidak ada toksisitas lokal atau sistemik yang merugikan yang dilaporkan dalam penelitian apa pun. Ketika ditanamkan, tulang yang baru terbentuk akan berikatan langsung dengan Hidroksiapatit. Bahan bioaktif akan sedikit larut, tetapi membentuk apatit biologis sebelum berinteraksi dengan jaringan pada tingkat atom; ini menghasilkan pembentukan ikatan kimia langsung dengan tulang. Fenomena ini memberikan stabilisasi yang baik untuk material yang mengalami pembebanan mekanis.

3. Karakteristik Hidroksiapatit dari gigi manusia^(Anand,2020)

Enamel merupakan substansi terkeras yang terdapat pada mahkota gigi geligi sekaligus organ terkeras yang terdapat pada tubuh manusia. Enamel terdiri atas 96-99% matriks anorganik, 1-4% matriks organik dan air. Matriks anorganik enamel adalah garam mineral kalsium pospat dalam bentuk kristal hidroksiapatit.

Hidroksiapatit adalah salah satu senyawa inorganik yang menyusun jaringan keras manusia seperti tulang dan gigi. Gigi manusia merupakan struktur komposit yang

terdiri dari komponen inorganic termasuk keturunan kalsium fosfat dan komponen organik seperti kolagen. Mineral gigi terdiri dari lima kalsium fosfat biologis yaitu hidroksiapatit, trikalsium fosfat (TCP), oktakalsium fosfat (OCP), amorf kalsium fosfat (ACP), dan dehidrasi dikalsium fosfat.

4. Hidroksiapatit Tulang Sapi (Baruwa, 2019)

Hidroksiapatit (HAp) adalah sebuah molekul kristalin yang intinya tersusun dari fosfor dan kalsium dengan rumus molekul $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ yang termasuk di dalam keluarga senyawa kalsium fosfat. Hidroksiapatit yang berasal dari tulang sapi telah secara luas dipelajari dalam bidang aplikasi medis seperti digunakan untuk mencangkok tulang, memperbaiki, mengisi atau penggantian tulang serta dalam pemulihan jaringan gigi. Hidroksiapatit digunakan di dalam dunia medis karena memiliki sifat yang dapat beradaptasi dengan baik pada jaringan keras dalam tulang, dapat membangun kembali jaringan tulang yang sudah rusak dan juga di dalam jaringan lunak meskipun memiliki laju degradasi yang rendah, sifat osteokonduktifitas yang tinggi, bersifat tidak beracun, non inflamasi dan imunogenik.

Sifat fisika dan biokimia dari hidroksiapatit sama dengan yang dimiliki oleh tulang dan gigi. Selain itu, struktur molekul hidroksiapatit juga sama dengan struktur molekul tulang dan gigi.

Abu tulang sapi adalah Trikalsium Fosfat yang berasal dari *Hydroxyapatit* $\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3$. Memiliki komposisi abu tulang sapi, sebagian besar didominasi oleh senyawa Fosfat dengan komponen mineral utama Hidroksilapatit (Anonim, 2008). Menurut Carter *and* Spengler (1978) dalam Dairy (2004) umumnya pada tulang sapi yang masih basah, berdasarkan beratnya terdapat 20% air, 45% abu, dan 35% bahan

organik. Abu tulang sapi mengandung Kalsium 37% dan Fosfor 18.5% pada berat tulang sapi.^(Popa,2016)

5. Metode Sintesis Hidroksiapatit (HA)

Sintesis hidroksiapatit dapat berasal dari bahan alami berbasis organik atau anorganik. Hidroksiapatit bersifat biokompatibel, bioaktif dan dianggap baik untuk aplikasi in vitro, namun biaya proses sintesis yang tinggi menjadi masalah utama untuk mendapatkan biomaterial ini dari bahan alami.^(Al Haris,2016)

Teknik yang digunakan untuk mendapatkan hidroksiapatit terdiri dari metode basah, kering, proses suhu tinggi, sumber biogenik dan prosedur kombinasi. Setiap metode dapat menghasilkan struktur dan morfologi hidroksiapatit yang berbeda. Metode basah terdiri dari beberapa metode sub-kelompok, yang dikenal sebagai metode hidrolisis, sol-gel (pengendapan kimia basah), hidrotermal, emulsi dan sonokimia dan metode presipitasi kimia.^(Al Haris,2016.,Jadwiga,2014)

Metode sol-gel atau biasa disebut metode pengendapan kimia basah merupakan metode yang paling banyak dipergunakan untuk sintesis hidroksiapatit, karena teknik ini dapat mensintesis hidroksiapatit dalam jumlah besar tanpa menggunakan pelarut-pelarut organik dengan biaya yang terjangkau . Material hidroksiapatit yang disintesis dengan proses sol-gel efisien untuk meningkatkan kontak dan stabilitas pada antarmuka alami/buatan di dalam lingkungan in vitro dan juga di dalam tubuh.^(Dmitry,2021)

Sol-gel adalah sebuah metode efektif untuk sintesis hidroksiapatit, metode ini dapat memberikan pencampuran pada tingkat kalsium dan fosfor yang mampu meningkatkan sifat kimia dari hidroksiapatit yang dihasilkan. Sejumlah kombinasi prekursor kalsium dan fosfor dipergunakan untuk sintesis hidroksiapatit menggunakan

proses sol-gel. Metode sol-gel merupakan suatu proses pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi kimia dan temperatur rendah, dimana dalam proses tersebut terjadi perubahan fasa dari suspensi koloid (sol) membentuk fasa cair (gel) . Reaksi kimia diperlukan untuk membentuk struktur apatit sangat bergantung pada sifat kimia dari masing-masing prekursor. Prekursor yang biasa digunakan yaitu asam posfat (H_3PO_4), penxid pospat (P_2O_5) dan trietil pospat. Temperatur yang dibutuhkan untuk membentuk fasa apatit adalah $> 600^{\circ}C$.(Kianfar,2021)

Teknik sol-gel saat ini banyak menarik perhatian karena memiliki banyak keuntungan seperti menawarkan pencampuran molekul kalsium dan fosfor yang mampu meningkatkan homogenitas kimia, temperatur rendah, kemurnian yang lebih baik, pembentukan kristal yang cepat. Metode sol-gel relatif sederhana sehingga dapat diterapkan dalam industry.(Dmitry,2021)

Prinsip dasar teknik sol-gel adalah untuk membentuk larutan dari elemen-elemen senyawa yang dikehendaki (prekursor) dalam pelarut organik sehingga terjadi pencampuran pada tingkat molekuler yang dapat meningkatkan homogenitas kimia partikel serbuk, mempolimerisasi prekursor tersebut untuk membentuk gel, kemudian mengeringkan serta membakar gel tersebut untuk menghilangkan komponen organik yang terkandung.(Dimitry,2021.,Nilesh,2021)

Hidroksiapatit dapat dibuat dengan metode basah atau metode sol-gel karena hasil sampingnya berupa air, kemungkinan kontaminasi selama pengolahan sangat rendah, reaksinya juga sederhana, cocok untuk industri skala besar dan tidak mencemari lingkungan.(kianfar,2021)

C. Biomaterial

1. Sejarah Umum Biomaterial

Definisi biomaterial secara umum adalah suatu material tak-hidup yang digunakan sebagai perangkat medis dan mampu berinteraksi dengan sistem biologis. Adanya interaksi ini mengharuskan setiap biomaterial memiliki sifat biokompatibilitas, yaitu kemampuan suatu material untuk bekerja selaras dengan tubuh tanpa menimbulkan efek lain yang berbahaya.(Hendra,2022)

Ide untuk menggantikan organ manusia yang rusak dengan material tak-hidup telah ada sejak lebih dari dua ribu tahun yang lalu dimulai oleh Bangsa Romawi, Chinadan Aztec yang memiliki peradaban kuno tercatat menggunakan emas untuk perawatan gigi. Pada masa itu perkembangan biomaterial diuji coba secara trial and error terhadap tubuh manusia ataupun binatang namun tingkat kesuksesannya tidak maksimal.(Zhou,2009)

2. Biomaterial Dalam Kedokteran Gigi

Biomaterial adalah bidang yang menggunakan ilmu dari berbagai disiplin ilmu yang membutuhkan pengetahuan dan pemahaman mendasar dari sifat-sifat material pada umumnya, dan interaksi dari material dengan lingkungan biologis. Bidang biomaterial didesain untuk memberikan pemahaman dan pengajaran dibidang fisika, kimia dan biologi dari material, dan juga dengan berbagai bidang dari teknik secara umum seperti matematika, kemasyarakatan, dan ilmu sosial. Sebagai tambahan, mahasiswa yang berurusan dengan bidang ini harus mencapai pemahaman yang mendalam dan berusaha untuk memperoleh pengalaman pada penelitian biomaterial.(Sacher,2013)

Bidang biomaterial mengarah pada ilmu material dan bidang ilmu biologi serta kimia. Material buatan manusia meningkat sesuai dengan penggunaan aplikasinya seperti pada drug-delivery dan terapi gen (gene therapy), perancah untuk rekayasa jaringan (tissue engineering), penggantian bagian tubuh (bodyreplacement), serta alat biomedis dan bedah. Peningkatan ini sejalan dengan meningkatnya kebutuhan manusia akan tingkat kehidupan yang lebih baik.(Alex,2022)

Biomaterial berkenaan dengan aspek bidang material dari peralatan medis. Seorang ilmuwan biomaterial berurusan dengan sifat kimia dan fisika dari material dan kecocokannya untuk perangkat khusus. Hal tersebut berkaitan dengan bagaimana sifat ini berubah dengan lingkungan biologis dan bagaimana material mempengaruhi tubuh.(Hendra,2022)

Biomaterial memperbaiki kualitas hidup sekaligus menyelamatkan nyawa banyak orang tiap tahunnya. Area aplikasi dari biomaterial ini sangat luas dan meliputi beberapa bagian seperti joint dan limb replacement, arteri dan kulit buatan, lensa kontak dan gigi buatan. Permintaan akan material ini meningkat dari para manula dengan harapan kualitas hidup yang tinggi. Komunitas biomaterial menghasilkan dan meningkatkan material implantasi dan tekniknya untuk memenuhi permintaan ini, tetapi juga dapat membantu perlakuan dari pasien muda dimana sifat yang ini diperlukan dan sangat banyak diminati. Akibat dari kemajuan teknologi ini adalah meningkatnya tingkat peraturan dan ancaman dari perkara hukum mengenai keterkaitannya terhadap material implantasi pada tubuh manusia dan diatur dalam perundang-undangan. Untuk menindaklanjuti hal ini maka sangat sesuai dilakukan

investigasi metoda yang dapat dipercaya dari karakterisasi material dan interaksinya.(Dmitry,2021)

Defenisi dari biomaterial adalah semua material sintetik yang digunakan untuk menggantikan atau memperbaiki fungsi jaringan tubuh secara berkelanjutan atau sekedar sekedar bersentuhan dengan cairan tubuh. Definisi inikadang terbatas karena tidak melibatkan material yang digunakan untuk alat seperti instrumen bedah dan alat dental. Walaupun alat ini digunakan pada cairan tubuh instrumen ini tidak akan menggantikan atau memperbaiki fungsi dari jaringan tubuh manusia.

Beberapa material yang digunakan pada instrumen bedah, yaitu beberapa tipe baja tahan karat. Hampir sama dengan sebelumnya, Baja tahan karat dan paduan ingat bentuk (*shape memory alloys*) yang digunakan untuk instrumen dental atau endodontic juga tidak dilibatkan dari definisi yang tersebut diatas. sebagai material yang digunakan untuk *eksternal prostheses*, seperti lengan buatan atau alat seperti alat bantu pendengaran.

Perkembangan biomaterial di bidang kedokteran gigi saat ini terbagi dalam biomaterial sintetis dan biomaterial rekayasa jaringan. Keduanya terkait material seperti logam, keramik, polimer, dan komposit. Sedangkan biomaterial rekayasa jaringan meliputi pengembangan scaffolds, sel, dan sinyal dalam pembuatan jaringan pengganti gigi.

Hal pertama dan yang terpenting adalah biomaterial tersebut harus cocok biomaterial ini harus tidak memperlihatkan respon yang merugikan dari tubuh, atau kebalikannya, harus tidak beracun dan non-carcinogenic. Persyaratan ini mengeliminasi banyak material teknik yang dapat digunakan. Selain itu, biomaterial

harus memiliki sifat fisik dan mekanik yang memadai untuk berfungsi sebagai pengganti atau pengganti dari jaringan tubuh. Untuk penggunaan secara praktis, biomaterial tersebut harus dapat dengan mudah dibentuk atau dilakukan proses pemesinan kedalam beberapa bentuk, mempunyai harga yang relatif murah dan bahan bakunya banyak tersedia di pasaran.

Material yang ideal atau kombinasi material tersebut harus menunjukkan sifatsifat seperti berikut:

- Komposisi kimia yang cocok untuk menghindari reaksi merugikan yang terjadi pada jaringan tubuh;
- Ketahanan yang baik terhadap degradasi (contoh : ketahanan korosi untuk logam atau ketahanan dari degradasi biologis pada polimer);
- Ketahanan yang baik untuk mempertahankan siklus daya tahan pembebanan dengan tulang sendi;
- Modulus yang rendah untuk meminimalisasi bone resorption;
- Ketahanan pemakaian yang tinggi untuk meminimalisasi wear-debris generation.

3. Jenis Biomaterial

a. Biomaterial Sintetik

Kebanyakan biomaterial sintetik yang digunakan untuk implantasi adalah material umum yang sudah lazim digunakan oleh para insiyur dan ahli material. Pada umumnya, material ini dapat dibagi menjadi beberapa kategori, yaitu : logam, keramik, polimer dan komposit.

1) Logam

Sebagai bagian dari material, logam merupakan material yang sangat banyak digunakan untuk implantasi load-bearing. Misalnya, beberapa dari kebanyakan pembedahan ortopedi pada umumnya melibatkan implantasi dari material logam. Mulai dari hal sederhana seperti kawat dan sekrup untuk pelat yang bebas dari patah sampai pada total joint prostheses (tulang sendi buatan) untuk pangkal paha, lutut, bahu, pergelangan kaki dan banyak lagi. Dalam ortopedi, implantasi bahan logam digunakan pada pembedahan maxillofacial, cardiovascular, dan sebagai material dental. Walaupun banyak logam dan paduannya digunakan untuk aplikasi peralatan medis, tetapi yang paling sering digunakan adalah baja tahan karat, titanium murni dan titanium paduan, serta paduan cobalt-base.

2) Polimer

Berbagai jenis polimer banyak digunakan untuk terapi sebagai. Aplikasinya mulai dari wajah/muka buatan sampai pada pipa tenggorokan, dari ginjal dan bagian hati sampai pada komponen-komponen dari jantung, serta material untuk gigi buatan sampai pada material untuk pangkal paha dan tulang sendi lutut. Material polimer untuk biomaterial ini juga digunakan untuk bahan perekat medis dan penutup, serta pelapis yang digunakan untuk berbagai tujuan.

3) Keramik

Keramik juga telah banyak digunakan sebagai material pengganti dalam ilmu kedokteran gigi. Hal ini meliputi material untuk mahkota gigi, tambalan dan gigi tiruan. Tetapi, kegunaannya dalam bidang lain dari pengobatan medis tidak terlihat begitu banyak bila dibandingkan dengan logam dan polimer. Hal ini dikarenakan ketangguhan

retak yang buruk dari keramik yang akan sangat membatasi penggunaannya untuk aplikasi pembebanan. Material keramik sedikit digunakan untuk pengganti tulang sendi (joint replacement), perbaikan tulang (bone repair) dan penambahan tulang (augmentation).

4) Komposit

Biomaterial komposit yang sangat cocok dan baik digunakan di bidang kedokteran gigi adalah sebagai material pengganti atau tambalan gigi. Walaupun masih terdapat material komposit lain seperti komposit karbon-karbon dan komposit polimer berpenguat karbon yang dapat digunakan pada perbaikan tulang dan penggantian tulang sendi karena memiliki nilai modulus elastis yang rendah, tetapi material ini tidak menampakkan adanya kombinasi dari sifat mekanik dan biologis yang sesuai untuk aplikasinya. Tetapi juga, material komposit sangat banyak digunakan untuk prosthetic limbs (tungkai buatan), dimana terdapat kombinasi dari densitas/berat yang rendah dan kekuatan yang tinggi sehingga membuat material ini cocok untuk aplikasinya.

b. Biomaterial Alami

Beberapa material yang diperoleh dari binatang atau tumbuhan ada pula yang penggunaannya sebagai biomaterial yang layak digunakan secara luas. Keuntungan pada penggunaan material alam untuk implantasi adalah material ini hampir sama dengan material yang ada pada tubuh. Menyikapi hal ini, maka terdapat bidang lain yang cukup berkembang dan baik untuk dipahami yaitu bidang biomimetics. Material alam biasanya tidak memberikan adanya bahaya racun yang sering dijumpai pada material sintetik. Dan juga, material ini dapat membawa protein spesifik yang terikat

didalamnya dan sinyal biokimia lainnya yang mungkin dapat membantu proses penyembuhan, pemulihan dan integrasi dari jaringan(tissue). Selain itu, material alam dapat juga digunakan untuk mengatasi masalah immunogenicity. Masalah lain yang berkaitan dengan material ini adalah kecenderungannya untuk berubah sifat atau terdekomposisi pada temperatur dibawah titik lelehnya.

Hal ini tentu akan membatasi proses fabrikasinya menjadi material implantasi menjadi beragam bentuk dan ukuran. Contoh dari material alam adalah kolagen, yang hanya terdapat dalam bentuk serat, mempunyai struktur triplehelix, dan merupakan protein yang sangat banyak terdapat pada binatang diseluruh dunia. Sebagai contoh, hampir 50 % protein pada kulit sapi adalah kolagen. Hal tersebut membentuk komponen yang signifikan dari jaringan penghubung seperti tulang, tendon, ligament dan kulit. Terdapat kurang lebih sepuluh jenis berbeda dari kolagen dalam tubuh, yaitu :

- Tipe I ditemukan terutama pada kulit, tulang dan tendon
- Tipe II ditemukan pada tulang rawan arteri pada tulang sendi dan
- Tipe III merupakan unsur utama dari pembuluh darah.

Kolagen sudah banyak dipelajari untuk digunakan sebagai biomaterial. Material implantasi ini biasanya dalam bentuk sponge yang tidak memiliki kekuatan mekanik atau kekakuan yang signifikan. Material ini sangat menjanjikan sebagai perancah untuk pertumbuhan jaringan-baru (neotissue growth) dan tersedia juga sebagai produk untuk penyembuh luka. Injectable collagen (kolagen yang disuntikkan atau dimasukkan ke dalam tubuh) sangat banyak digunakan untuk proses augmentasi (penambah) atau pembangun dari jaringan dermal (dermatissue) untuk bahan kosmetik. Material alam lain yang ditinjau masih dalam tahap pertimbangan, termasuk karang, chitin (dari

serangga dan binatang berkulit keras seperti udang, kepiting dan lain-lain), keratin (dari rambut), dan selulosa (dari tumbuhan).

4. Sifat-Sifat Umum Biomaterial

Beberapa sifat bahan harus dipertimbangkan ketika bahan kedokteran gigi dipilih untuk digunakan secara klinis. Pertimbangan ini termasuk:

- (1) Biokompatibilitas
- (2) Sifat fisik-kimia
- (3) Karakteristik penanganan
- (4) Estetika
- (5) Ekonomis

Untuk memahami bahan kedokteran gigi kita memerlukan pengetahuan dasar mengenai unsur, khususnya bahan padat, dan sifatnya selama penanganan dan penggunaannya dalam lingkungan mulut karena factor lingkungan amat berpengaruh bagi keberhasilan klinis. Dapat disimpulkan bahwa kinerja dari semua bahan kedokteran gigi baik keramik, plastic, ataupun logam, didasari oleh struktur atomnya. Reaksi keseluruhan dari atom, baik secara fisik atau kimia, menentukan sifat bahan itu sendiri.

a. Sifat Kimia

Gaya yang membuat atom berikatan satu sama lain disebut dengan gaya kohesi. Kekuatan ikatan ini serta kemampuannya untuk berubah bentuk setelah ikatan tersebut terputus menentukan sifat fisik suatu bahan. Ikatan atom primer dibedakan menjadi:

1) Ikatan Ionik

Ikatan primer ini adalah jenis ikatan kimia sederhana, akibat daya tarik menarik antar muatan positif dan negatif. Contoh klasiknya adalah Natrium klorida (Na^+Cl^-). Karena atom natrium mengandung elektron bervalensi 1 dibagian luarnya, dan atom klor memiliki 7 elektron dibagian luarnya, perpindahan elektron valensi natrium ke klorida menghasilkan senyawa stabil Na^+Cl^- . Ikatan ionik menghasilkan kristal yang memiliki konfigurasi atomik berdasarkan pada keseimbangan muatan dan ukuran. Dalam kedokteran gigi, ikatan ionik ada dalam fase kristalin tertentu seperti gipsum dan semen fosfat.

2) Ikatan Kovalen

Pada banyak senyawa kimia, elektron bervalensi 2 dibagi dengan atom didekatnya. Molekul hidrogen, H_2 adalah contoh ikatan kovalen. Elektron bervalensi tunggal dari masing-masing atom hidrogen saling berbagi dengan atom lain dan selubung valensi menjadi stabil.

3) Ikatan Metalik

Ikatan metalik dapat dipelajari dengan baik dengan mempelajari kristal metalik seperti emas murni. Seperti semua logam lainnya, atom-atom emas dapat dengan mudah menyumbangkan elektron dari kulit luarnya dan membentuk suatu elektron bebas "gas".

Ion logam positif dikelilingi oleh elektron gas. Struktur ini yang bertanggung jawab terhadap konduksi elektrik dan termal yang baik dan juga kemampuannya untuk berubah bentuk menyerupai plastik.

4) Ikatan Antar-Atom Sekunder

Ikatan sekunder tidak berbagi elektron, variasi muatan diantara molekul atau kelompok atom menyebabkan gaya polarisasi yang menarik molekul molekul.

5) Ikatan Hidrogen

Ikatan ini dapat dipahami dengan mempelajari molekul air berlekatan dengan atom oksigen adalah 2 atom hidrogen. Ikatan ini adalah kovalen, karena atom oksigen dan hidrogen berbagi elektron. Sebagai akibatnya proton dari atom hidrogen mengarah pada atom oksigen yang tidak terlindungi dengan baik oleh elektron sehingga sisi proton dari molekul air menjadi bermuatan positif. Pada sisi lawannya, molekul air, elektron yang mengisi orbit luar oksigen memberikan muatan positif sehingga terjadi 2 kutub permanen dengan molekul asimetri. Ikatan hidrogen yang disertai dengan muatan positif dari hidrogen akibat polarisasi adalah contoh yang penting dari jenis ikatan sekunder.

6) Adhesi

Fenomena adhesi bisa ditemukan pada banyak situasi kedokteran gigi. Misalnya kebocoran di dekat bahan restorasi gigi, perlekatan plak dan kalkulus juga bisa dijelaskan dengan mekanisme adhesi. Bila 2 zat berkontak erat satu sama lain, molekul molekul dari 1 zat berlekatan atau ditarik ke molekul dari zat lainnya. Gaya ini disebut adhesi, bila molekul zat yang tidak sama saling bertarikan dan kohesi apabila molekul zat yang sama saling bertarikan

b. Sifat Fisik

Kekerasan sering kali digunakan sebagai petunjuk dari kemampuan suatu bahan menahan abrasi atau pengikisan. Namun, abrasi merupakan mekanisme kompleks pada lingkungan mulut yang mencakup interaksi antara sejumlah faktor. Untuk alasan ini, peran kekerasan sebagai suatu prediktor ketahanan abrasi adalah terbatas. Seringkali abrasi digunakan untuk membandingkan bahan-bahan dengan klasifikasi tertentu, seperti satu merek logam tuang dengan merek lain jenis logam tuang campuran yang sama. Tapi kekerasan kurang sah bila digunakan untuk mengevaluasi kelas bahan yang berbeda, seperti bahan logam dengan resin sintetik.

Keterandalan pengujian *in vitro* terhadap ketahanan abrasi adalah sesuatu yang dirancang untuk mensimulasi sedekat mungkin jenis abrasi tertentu dimana bahan akan digunakan secara *in vivo*. Meskipun demikian, pengujian keausan secara *in vitro* tidak selalu memprediksi keausan *in vivo* secara akurat karena besarnya kerumitan di bidang klinis. Pengikisan email oleh keramik dan bahan restorasi lainnya tidak di ketahui. Namun, kekerasan suatu bahan hanyalah satu dari banyak faktor yang mempengaruhi keausan permukaan email yang berkontak dengan bahan. Faktor utama lain termasuk tekanan gigitan, frekwensi pengunyahan, sifat abrasif makanan, komposisi cairan, perubahan temperatur, kekerasan tiap permukaan, sifat fisik bahan, dan ketidakraturan permukaan gigi seperti adanya alur (groove), ceruk (Pit) atau lingir (ridge) anatomis yang kecil. Pengikisan email gigi yang berlebihan oleh mahkota keramik lawannya cenderung terjadi pada pasien dengan tekanan gigit yang kuat dan permukaan keramik yang kasar. Meskipun klinisi tidak dapat mengendalikan tekanan gigit seorang pasien, mereka dapat

memoles permukaan keramik yang aus untuk mengurangi tingkat keausan email yang destruktif.

D. Bahan Tumpatan Komposit

1. Resin Komposit

Komposit adalah campuran dari dua atau lebih bahan, yang memiliki sifat bahan yang berbeda, baik sifat fisik maupun kimia dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit). Resin komposit dalam bidang restorasi gigi merupakan bahan matriks resin yang di dalamnya ditambahkan partikel pengisi anorganik (quartz partikel silica koloid).(19) Resin komposit merupakan bahan restorasi gigi yang populer saat ini dan dikembangkan pada awal tahun 1960-an, sangat berguna dalam mengembalikan atau mengganti struktur gigi yang hilang akibat trauma atau penyakit, dengan mengubah warna, dan kontur gigi.(6) Pada umumnya dokter gigi memilih resin komposit sebagai bahan tambalan karena memiliki sifat estetik yang sewarna dengan gigi sehingga memberikan hasil yang memuaskan.(Aulia,2017)

Resin komposit merupakan salah satu bahan restorasi sewarna gigi yang banyak digunakan di bidang kedokteran gigi sebagai bahan tumpatan saat ini karena memiliki nilai estetik yang tinggi dibandingkan dengan bahan tumpatan sewarna gigi yang lain. Resin komposit digunakan untuk menggantikan struktur gigi yang hilang, memodifikasi warna dengan gigi yang ada, dan dapat mengembalikan fungsi gigi.(Kaunang,2015) Komposit adalah kombinasi dari dua atau lebih bahan, yang masing-masing berkontribusi pada seluruh sifat dari komposit.(ikhsan,2015) Bahan komposit merupakan salah satu jenis restorasi yang banyak digunakan karena nilai estetikanya yang tinggi. Kandungan utamanya

adalah matriks resin dan partikel pengisi anorganik serta beberapa bahan lain yang diperlukan untuk meningkatkan efektivitas dan daya tahan bahan.(Nirwana,2018)

Penambahan partikel bahan pengisi ke dalam matriks resin secara signifikan meningkatkan sifatnya, seperti berkurangnya pengkerutan karena jumlah resin sedikit, berkurangnya penyerapan air ekspansi koefisien panas, dan meningkatkan sifat mekanis misalnya kekuatan, kekakuan, kekerasan dan ketahanan abrasi. Faktor lain yang menentukan sifat dan aplikasi klinis komposit adalah jumlah bahan pengisi yang ditambahkan, ukuran dan distribusi partikel, radioaktivitas, dan kekerasan.(Ibrahim,2021)

Kekerasan permukaan resin komposit adalah ketahanan permukaan bahan resin komposit terhadap tegangan. Adanya faktor yang mempengaruhi kekerasan resin komposit akan membuat resin tersebut tidak bertahan lama dirongga mulut. Idealnya resin komposit harus memiliki permukaan yang halus dan daya tahan yang baik, namun hal ini tidak terjadi karena faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kekerasan permukaan resin komposit.(Handayani,2016)

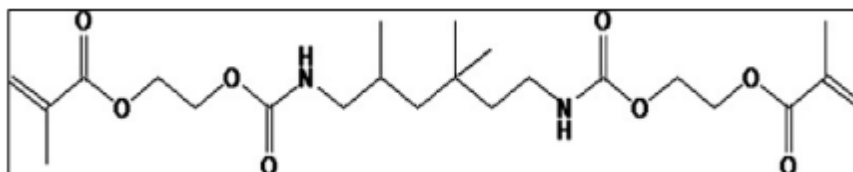
a. Komposisi Resin Komposit

Komposisi resin komposit terus berkembang sejak material ini pertama kali dikenalkan. Resin komposit memiliki beberapa komponen yang terdiri dari matriks polimer organik resin, partikel pengisi anorganik (*filler*) dan *silane coupling agent*.(Handayani,2016)

1) Maktris Resin

Menggunakan monomer yang merupakan diakrilat aromatic atau alipatik. Monomer yang sering digunakan pada bahan komposit yaitu Bis GMA (*Bisphenol A-*

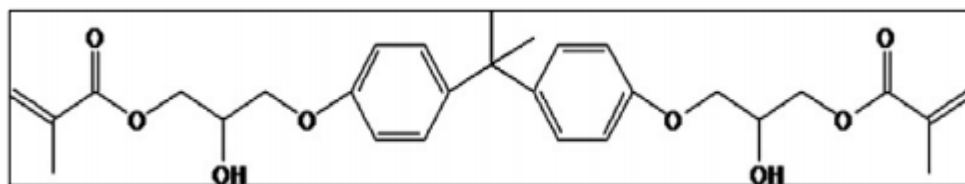
Glycidyl Methacrylate, UDMA (*Urethane Dimethacrylate*), TEGDMA (*Triethylene Glycol Dimethacrylate*). Sistem monomer baru mulai diperkenalkan yaitu *silorane*, bahan ini ditambahkan untuk menurunkan penyusutan dan stress internal akibat polimerisasi. *Silorane* terdiri dari dua gugus molekul, yaitu *siloxane* dan *oxirane*. Gugus *siloxane* menambahkan sifat hidrofobik pada resin komposit. Gugus *oxirane* akan mengalami proses *cross-linking ring-opening* melalui proses polimerisasi kationik. (sakaguchi,2012)



Gambar 2.1 Struktur Bis-GMA4

(Sumber : Sakaguchi, R., & Powers, J.

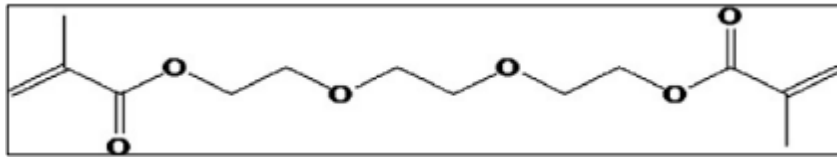
Craig's Restorative Dental Materials. 13th Edition)



Gambar 2.2 Struktur UDMA4

(Sumber : Sakaguchi, R., & Powers, J.

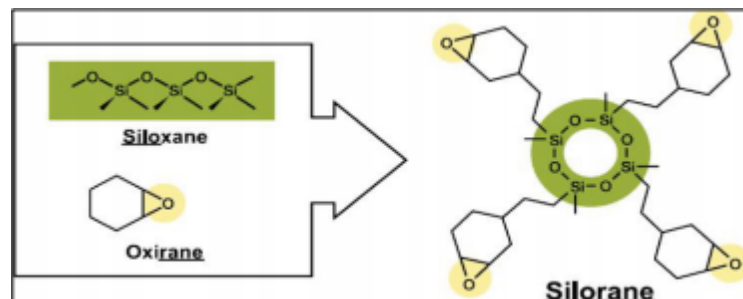
Craig's Restorative Dental Materials. 13th Edition)



Gambar 2.3 Struktur TEGDMA4

(Sumber : Sakaguchi, R., & Powers, J.

Craig's Restorative Dental Materials. 13th Edition)



Gambar 2.4 Struktur Silorane4

(Sumber : Sakaguchi, R., & Powers, J.

Craig's Restorative Dental Materials. 13th Edition)

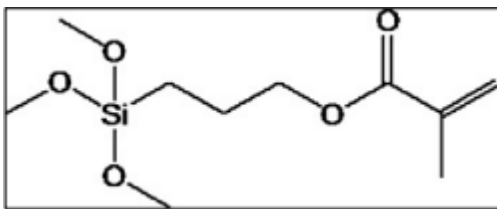
2) Partikel Pengisi Anorganik (*Filler*)

Bahan pengisi adalah bahan penambah volume dan memperkuat sifat resin komposit. Fungsi bahan pengisi ialah membantu matriks agar lebih translusen dan mengurangi penyusutan saat polimerisasi. Partikel pengisi diperoleh melalui pemecahan mineral seperti *quartz*, *glass*, atau keramik.(Nina2018) Penambahan partikel anorganik sangat penting dalam memperbaiki kekurangan pada resin dengan menambahkan partikel pengisi tersebut, sifat-sifat resin komposit menjadi lebih baik, serta

meningkatkan sifat mekanik seperti kekerasan, ketahanan terhadap abrasi, kekakuan dan kekuatannya.(kumala,2020)

3) *Coupling Agent* (Bahan Pengikat)

Coupling agent adalah bahan yang menggabungkan matriks resin dan pengisi yang digunakan untuk merekatkan dua bahan selama polimerisasi dan menghasilkan penampilan klinis yang baik. Tujuannya adalah untuk mengikat partikel pengisi anorganik ke matriks resin untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik resin. Contoh bahan pengikat yang umum digunakan adalah organosilan (3-metoks iprofil trimetoxysilane), zirkonat dan titanat.(Djustiana,2018)



Gambar 2.5 Struktur MPTS4

(Sumber : Sakaguchi, R., & Powers, J.

Craig's Restorative Dental Materials. 13th Edition)

b. Kelebihan dan Kekurangan Resin Komposit

1) Kelebihan Resin Komposit

Secara estetis lebih baik dibandingkan dengan bahan tumpayan amalgam atau glass ionomer untuk digunakan pada gigi anterior, efektif dalam waktu, tenaga, biaya dan keamanan bahan tumpatan, serta mudah diaplikasikan.(Ibrahim,2021)) Bahan restorasi komposit dipilih karena memiliki banyak keunggulan yaitu estetika yang baik,

mudah dimanipulasi, warna seperti gigi dan tidak larut dalam cairan rongga mulut.(Ahsanty,2019)

2) Kekurangan Resin Komposit

Kekurangan dari resin komposit yaitu penyusutan yang dapat terjadi pada permukaan restorasi gigi selama polimerisasi dan menjadi penyebab kegagalan ikatan.(Ahsanty,2019) Kekurangan resin komposit adalah dapat berubah warna bila terkena zat pewarna. Perubahan warna pada resin komposit dapat disebabkan oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal yang berperan dalam perubahan warna bahan resin antara lain perubahan matriks resin, interfase antara matriks dan filler, dan ukuran partikel filler. Faktor eksternal adalah karena penyerapan zat pewarna dari sumber eksogen seperti teh, kopi, nikotin, minuman berkarbonasi dan obat kumur.(Widyastuti,2017)

c. Sifat Resin Komposit

Resin komposit mempunyai sifat fisik dan mekanik. Sifat fisik seperti penyerapan air, kelarutan dan konduktivitas. Sifat mekaniknya antara lain kekasaran permukaan, modulus elastisitas dan kekerasan.(sitanggang,2015)

1) Sifat Mekanik

a) Kekuatan dan Elastisitas

Kekuatan resin komposit yang berkaitan langsung dengan penggunaannya yaitu kekuatan kompresi (*compressive strength*), kekuatan tarik (*tensile strength*), dan kekuatan fleksural (*flexural strength*). Kekuatan resin komposit berhubungan

dengan volume bahan pengisi, semakin tinggi volume maka semakin tinggi pula kekuatan resin komposit.(sakaguchi,2012)

b) *Keausan*

Pada saat pemakaian secara klinis, resin komposit akan berkontak dengan gigi antagonis, makanan, dan cairan rongga mulut yang dapat menyebabkan keausan dan degradasi. Sebuah studi terhadap pemakaian dan kondisi klinis tiga sampai lima tahun resin komposit *nanofiller* telah terbukti menunjukkan ketahanan aus yang mirip dengan enamel manusia.(Sakaguchi,2012)

c) *Kekerasan Permukaan*

Salah satu sifat yang paling penting dari resin komposit adalah kekerasan dan kelarutannya. Kekerasan dan kelarutan dapat digunakan sebagai parameter untuk menentukan ketahanan material terhadap abrasi dan keausan yang selalu terjadi saat mengunyah dan menyikat gigi.(kustantianingtyastuti,2015) Kekerasan dapat digunakan sebagai alat ukur bahan pengisi untuk mengetahui kemampuan suatu bahan menahan tekanan.(Sakaguchi,2012)

Kekerasan ini diperlukan karena dapat mempengaruhi gesekan saat mengunyah makanan dan menyikat gigi.(sitanggang,2015) Kekerasan permukaan merupakan suatu alat ukur bahan restorative yang digunakan untuk menentukan ketahanan aus karena dapat mempengaruhi gesekan mekanis saat mengunyah makanan dan menyikat gigi. Penurunan kekerasan permukaan resin komposit menyebabkan kerusakan material dan fungsi estetika resin komposit.(Kafalia,2017)

Adanya faktor yang mempengaruhi kekerasan resin komposit akan membuat resin tidak bertahan lama di rongga mulut. Faktor-faktor yang mempengaruhinya adalah minuman bersoda, paparan bahan kimia seperti asam, basa, garam dan alkohol melalui makanan, minuman, obat kumur dan kebersihan mulut. Penggunaan obat kumur juga dapat mempengaruhi kekerasan permukaan resin komposit karena kandungan kimia dan durasi paparan mempengaruhi matriks organik dari resin.(Nirwana,2009)

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekerasan resin komposit antara lain sifat fisik seperti kelarutan dan penyerapan air. Sifat kimia seperti kekerasan dipengaruhi oleh polimerisasi, termasuk ketebalan dan waktu penyinaran.(Handayani,2017) Adapun faktor lain yaitu makanan atau minuman yang dikonsumsi. Jika makanan atau minuman yang dikonsumsi mengandung asam, resin komposit dapat mengalami degradasi matriks, sehingga menurunkan kekerasan permukaan.(Kafalia,2017)

2) Sifat Fisik

a) *Penyerapan Air*

Penyerapan air adalah jumlah air yang diserap oleh bahan dalam kurun waktu tertentu per satuan permukaan atau per volume. Penyerapan air tergantung pada kandungan *filler* di dalam resin komposit, semakin tinggi kandungan *filler*, maka semakin sedikit penyerapan airnya.(swift,2011))

b) *Kelarutan*

Kelarutan adalah penurunan berat bahan per satuan luas permukaan atau per volume akibat larutnya bahan atau disintegrasi bahan dengan saliva atau cairan

di dalam rongga mulut dalam kurun waktu tertentu.(31) Hal ini mempermudah terjadinya kerusakan, mengurangi ketahanan dan meningkatkan risiko abrasi pada resin komposit.(Saklaguchi,2012,swift,2011)

c) Penyusutan Polimerisasi (*Polymerization Shrinkage*)

Terjadinya penyusutan polimerisasi ini diklaim dikarenakan adanya kontraksi penekanan sebesar 13 MPa diantara permukaan gigi dan resin komposit. Penyusutan ini mengakibatkan terjadinya celah kecil diantara struktur gigi dan resin komposit yang berpotensi terjadinya karies sekunder dan *staining* marginal.(Sakaguchi,2012)

d) Kestabilan Warna

Penyesuaian warna dengan struktur gigi agar diperoleh tampilan klinis yang estetik sangatlah penting. Retakan karena tekanan pada matriks polimer dan pelepasan bahan pengisi karena hidrolisis mengakibatkan peningkatan opasitas. Diskolorisasi juga dapat terjadi karena oksidasi dari pertukaran air di dalam matriks polimer, atau sebagian polimer tidak bereaksi dengan sistem akselerator dan inisiator.(Sakaguchi,2011)

3) Sifat Thermal

Koefisien termal ekspansi resin komposit adalah $25-38 \times 10^{-6}$ untuk bahan pengisi kecil dan $55-68 \times 10^{-6}$ untuk bahan pengisi halus (*microfine*). Sedangkan konduktifitas thermal resin komposit partikel kecil adalah $25-30 \times 10^{-4}$ kalori/detik/cm² dan $12-15 \times 10^{-4}$ kalori/detik/cm² untuk resin komposit partikel halus.(Sakaguchi,2011)

d. Klasifikasi Resin Komposit

1) Klasifikasi Komposit Berdasarkan Ukuran *Filler*

Klasifikasi resin komposit berdasarkan partikel pengisi (*filler*) yaitu *macrofiller*, *microfiller*, *hybrid*, *microhybrid*, dan resin komposit nano yang terbagi atas *nanofiller* dan *nanohybrid*.(26)

a) Resin Komposit *Macrofiller*

Resin komposit *macrofiller* juga dikenal sebagai resin komposit konvensional, adalah resin komposit pertama dan sekarang jarang digunakan. Bahan pengisi memiliki bentuk yang tidak beraturan (*irregular*) dan berjumlah 70% sampai 80% dari total berat resin komposit. Diameter bahan pengisinya sekitar 20-30 μm . Saat pertama kali muncul, resin ini banyak digunakan untuk restorasi oklusal.(26)

b) Resin Komposit *Microfiller*

Resin komposit *microfiller* direkomendasikan untuk penggunaan pada bagian yang tidak memerlukan tekanan pegunyahan ringan sampai sedang, namun memerlukan estetis seperti restorasi kelas 3 dan 5. Resin komposit *microfiller* memiliki kemampuan menyerap air yang lebih banyak, termal ekspansi dan *polymerization shrinkage* yang lebih tinggi dibandingkan resin komposit *microhybrid* dan resin komposit nano.(Sakaguchi,2011) Resin komposit *mikcofiller* diindikasikan untuk restorasi kelas III dan V dimana sangat membutuhkan permukaan poles dan estetik yang tinggi. Namun, dalam keadaan yang memerlukan ketahanan terhadap tekanan, seperti kelas I, II dan IV kemungkinan pecahnya restorasi lebih besar.(Ayudia,2015)

c) *Resin Komposit Hybrid*

Resin komposit *hybrid* adalah salah satu jenis resin komposit yang memiliki keunggulan sangat tahan terhadap fraktur dan keausan, warna yang mirip dengan struktur gigi, penyusutan polimerisasi yang rendah, absorpsi cairan rendah, dapat dipoles tekstur permukaannya, serta ketahanan abrasi oleh karena pemakaian sama dengan struktur gigi.(Soekartono,2014) Resin komposit *hybrid* sekarang banyak digunakan karena kehalusan permukaan yang lebih baik daripada resin komposit berbutir halus, estetika yang setara dengan bahan komposit mikro untuk restorasi anterior, dan kekuatan tekan yang tinggi hampir sama dengan sifat tahan abrasi amalgam.(Dewi,2012)

d) *Resin Komposit Microhybrid*

Resin komposit *microhybrid* mengandung partikel pengisi *glass, quartz* dan keramik berbentuk tak beraturan berukuran 0,04-1 μm . Resin *microhybrid* ideal untuk restorasi yang membutuhkan daya tahan, seperti bagian posterior. *Microfiller hybrid* adalah hasil pengembangan yang bertujuan untuk mencapai kualitas pemolesan estetik yang baik tanpa mempengaruhi sifat mekanik restorasi.(Sofiani,2020)

e) *Resin Komposit Nanofiller*

Resin komposit telah mengalami banyak proses pengembangan untuk meningkatkan sifat-sifatnya, salah satunya komposit *nanofiller* dengan penambahan nanoteknologi pada komposit *filler* dengan *filler* yang lebih kecil sebagai alternatif untuk mengatasi kekurangan bahan sintetik lainnya. Resin ini memberikan penyusutan yang lebih rendah. Selain itu resin ini dapat membentuk

kontur yang baik dan digunakan untuk merestorasi gigi anterior dan posterior terutama karies yang sering terjadi pada gigi posterior akibat gigi berlubang dan retak yang sering menumpuk makanan.(Pardosi,2021) Resin komposit *nanofiller* yang dikembangkan menggunakan nanoteknologi umumnya digunakan untuk membentuk produk dengan ukuran komponen sekitar 0,1 hingga 100 nm. Komponen *filler* pada komposit *nanofiller* mengandung partikel nano individu dan *nanocluster*. Kombinasi nanopartikel dengan *nanocluster* akan mengurangi jumlah ruang antar partikel untuk meningkatkan sifat fisik dan hasil pemolesan yang lebih baik dibandingkan resin komposit lainnya.(puspitasari,2016)

Resin komposit *nanofiller* memiliki ukuran partikel *filler* yang sangat kecil, sekitar 0,005-0,01 μ m, sehingga kekuatan dan ketahanan bahan pemoles sangat baik. Partikel nano kecil yang membuat resin komposit *nanofiller* dapat mengurangi penyusutan proses polimerisasi dan mengurangi adanya *microfissure* di tepi email, yang berkontribusi terhadap kebocoran dan perubahan warna.(28) Kelebihan resin komposit ini terdapat pada sifat fisiknya dalam bentuk estetik dan sifat tampilan klinis yang sewarna dengan gigi sehingga memberikan hasil yang memuaskan dan sifat mekanik yang unggul seperti kekuatan tekan yang tinggi, resistens atau daya tahan yang kuat, dan koefisien termal ekspansi yang lebih rendah dari bahan restoratif lainnya. Namun komposit *nanofiller* ini juga memiliki kelemahan yaitu bahan ini cenderung mengalami penurunan sifat fisik dan mekanik yang terkait dengan tingkat penyerapan air, sifat resin komposit yang hidrofilik yang dapat menyebabkan hidrofilitas matriks resin komposit.(Kumala,2020)

2) Klasifikasi Komposit Berdasarkan Viskositas

a) *Resin Komposit Flowable*

Resin komposit *flowable* memiliki viskositas rendah oleh karena itu direkomendasikan untuk berbagai aplikasi seperti restorasi resin profilaksis, *cavity liner*, restorasi prostetik dan restorasi serviks. Penggunaan resin komposit *flowable* yang paling umum sebagai bahan tambahan pada dinding gingiva adalah restorasi resin komposit tipe II pada gigi posterior.(Bahri,2015) Partikel bahan pengisinya berukuran 0,4-3 μ m dengan jumlah 42%-53% dari total volume. Resin komposit *flowable* memiliki modulus elastisitas yang rendah, yang membuatnya cocok untuk restorasi lesi abfraksi.(Sakaguchi,2012) Resin Komposit *flowable* ini mengerut lebih banyak saat berpolimerisasi dibandingkan dengan komposit *hybrid* karena resin komposit *flowable* ini lebih encer.(Ibrahim,2017)

b) *Resin Komposit Packable*

Resin komposit *packable* ini memiliki viskositas yang tinggi seperti pasta. Penggunaannya cocok untuk restorasi kelas 1 dan 2. Cara aplikasi resin ini tidak seperti amalgam yang dikondensasikan, namun cukup dengan penekanan menggunakan instrumen tipis. Partikel pengisi berjumlah 66%-70% dari total volume. Bahan ini memerlukan penyinaran yang lebih dalam, penyusutan polimerisasi dan opasitas yang rendah.(Sakaguchi,2012)

3) Klasifikasi Komposit Berdasarkan Aktivasi Polimerisasi

Klasifikasi resin komposit terbagi atas resin komposit aktivasi kimia atau *self-cured*, resin komposit aktivasi sinar atau *light-cured*, dan resin komposit aktivasi *dual*.

a) Resin Komposit Aktivasi Kimia

Pada awal pembuatannya proses *curing* resin komposit dengan cara kimia atau biasa disebut *self-cured*. Resin komposit ini terdiri atas dua pasta terpisah yaitu pasta katalis dan pasta *base* yang akan diaduk kemudian bereaksi dan berpolimerisasi.(Heyman,2011) Kelemahan dari jenis ini adalah pada saat pengadukan besar kemungkinan ada udara ikut terperangkap yang mengakibatkan porus.(Anusavice,2013)

b) Resin Komposit Aktivasi Sinar

Resin komposit aktivasi sinar (*light-cured*) mulai dikembangkan untuk memperbaiki kekurangan aktivasi kimia. Bahan ini mengandung *photosensitive initiator* yaitu *camphorquinon* dari suatu campuran diketon atau amina yang akan membentuk radikal-radikal bebas atas bantuan radiasi dengan panjang gelombang dan intensitas yang tepat.(Anusavice,2013) Resin komposit sinar memiliki banyak kelebihan seperti sifat yang baik, memiliki resistensi yang baik, penyerapan air yang lebih sedikit, mudah menempel pada permukaan gigi, warna yang mirip dengan gigi asli karena translusensi yang rendah dan mudah dimanipulasi. Penyinaran yang tidak tepat akan membuat proses polimerisasi menjadi kurang efektif. Hal ini dikarenakan penyinaran yang tidak tepat menyebabkan polimerisasi tidak sempurna, sehingga kekerasan resin komposit yang dihasilkan tidak optimal.(Razibi,2017)

c) Resin Komposit Aktivasi Dual

Resin komposit *dual* memiliki 2 pasta yang dicampur seperti resin komposit aktivasi kimia. Pasta pertama mengandung *benzoyl peroxide* (BP) dan

pasta lainnya mengandung *aromatic tertiary amine*. Pada saat pengadukan, aktivasi sinar terjadi dipicu oleh kombinasi *amine* dan *camphorquinon* sedangkan aktivasi kimia dipicu oleh interaksi *amine* dan BP.(Anusavice,2013)

e. Reaksi Polimerisasi Resin Komposit

Resin komposit dapat diaktifkan dengan dua cara, yaitu aktivasi kimia (*self-curing*) dan aktivasi dengan sinar tampak (VLC) atau *Visible Light Curing*. Resin komposit yang umum digunakan saat ini adalah resin komposit yang diaktivasi menggunakan *Visible Light Cure* (VLC). Menggunakan VLC, resin komposit dapat berpolimerisasi dengan baik hingga ketebalan 2 mm dengan waktu penyinaran 60 detik dan panjang gelombang VLC 460-485 nm. (Allorerung,2015)

Untuk mencapai kekuatan tekan restorasi gigi, proses pengerasan resin komposit membutuhkan alat *Visible Light Cure* (VLC) atau sinar tampak. Sumber cahaya yang paling umum dalam kedokteran gigi untuk komposit optik aktif adalah QTH (*Quartz Tungsten Halogen*) dan LED biru (*Light-Emitting Diodes*). Sumber cahaya QTH diambil dari bohlam 75W dan menggunakan filter yang seharusnya lebih hangat dan hanya menghasilkan panjang gelombang pada kisaran 470-480 nm. Sumber cahaya LED mengandalkan galium nitrida untuk memancarkan cahaya dan tidak menggunakan filter, tidak menghasilkan panas dibandingkan dengan QTH, dan cenderung bertahan lebih lama. Jenis LED ini lebih baik daripada QTH. Kelenturan yang dihasilkan dari dua sumber cahaya ini sama, VLC jenis LED lebih efisien dibanding dengan QTH. Faktor-faktor yang memengaruhi polimerisasi dari resin komposit yaitu :

- Lama *curing*: tergantung pada warna resin, intensitas cahaya, kedalaman kavitas, ketebalan resin, dan bahan pengisi resin komposit.
- Warna resin komposit: warna yang semakin gelap akan memerlukan waktu yang lama untuk proses *curing* (60 detik dengan kedalaman maksimum 0,5 mm).
- Suhu: resin komposit pada suhu ruangan akan mengeras lebih cepat dan sempurna.
- Ketebalan optimal adalah 1-2 mm.
- Jarak penyinaran: jarak optimal sinar terhadap resin komposit adalah 1 mm, dengan posisi cahaya tegak lurus dengan permukaan resin komposit.
- Kualitas sumber cahaya: panjang gelombang cahaya antara 400-500 nm.(Anusavice,2013)

Intensitas cahaya *light curing unit* dipengaruhi oleh jarak ujung *light curing unit* dengan permukaan resin komposit. Semakin besar jarak iradiasi, semakin besar hamburan cahaya dari bagian *curing*, sehingga akan sulit untuk memperoleh polimerisasi yang efektif. Semakin jauh jarak ujung *light curing unit* dengan permukaan resin komposit menyebabkan semakin berkurangnya kekerasan permukaan resin komposit. Faktor lain yang berperan dalam mempengaruhi kualitas resin komposit yaitu ketebalan bahan resin komposit. Ketebalan bahan resin komposit dalam kavitas juga mempengaruhi kuat tarik diametral.

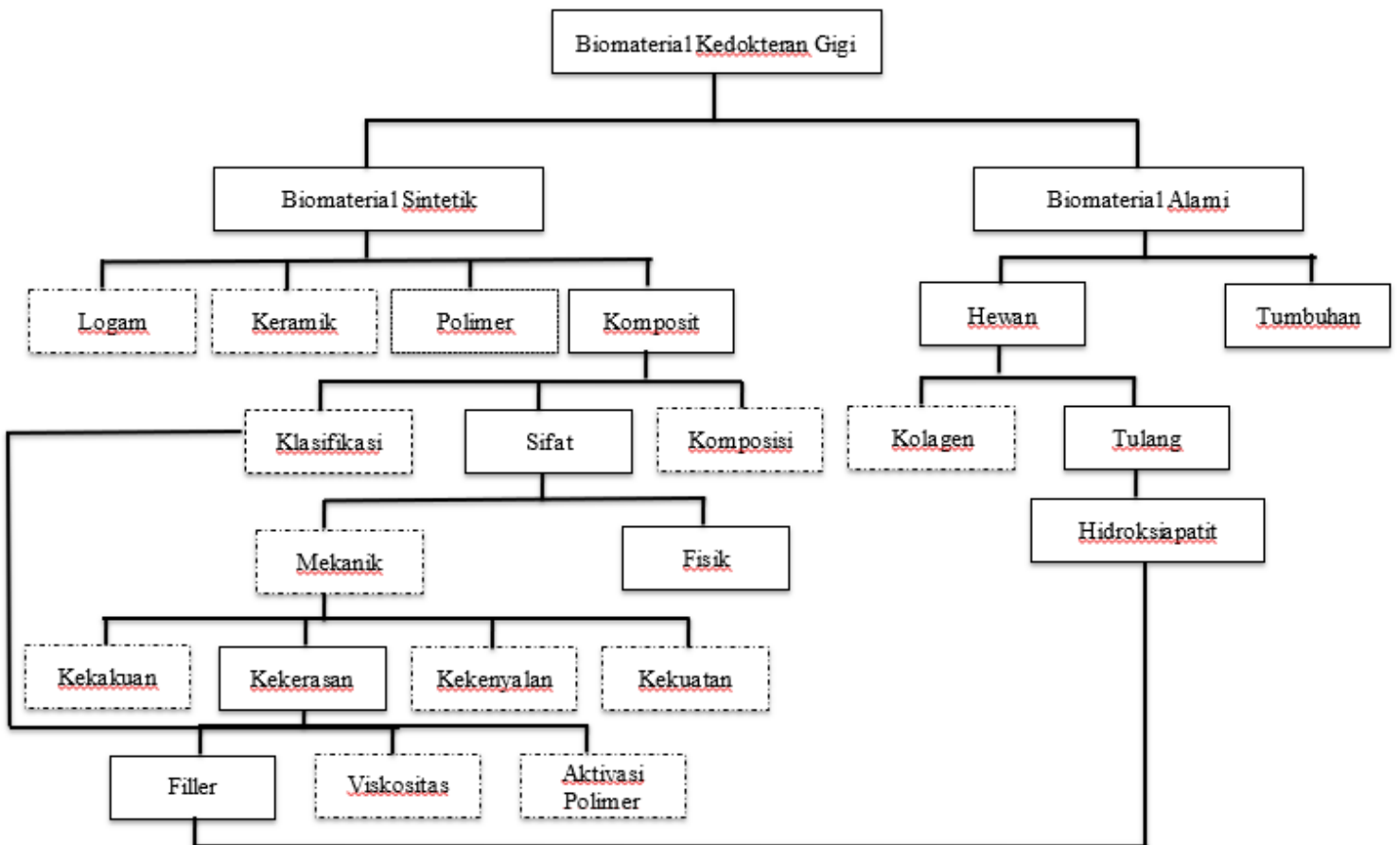
Restorasi kavitas dengan ketebalan yang dalam akan menyebabkan *light curing* atau sinar mengalami divergen terhadap permukaan resin komposit, sehingga terjadi penurunan polimerisasi resin komposit. Bahan resin komposit yang digunakan pada restorasi posterior tidak akan terpolimerisasi dengan baik jika ketebalan resin lebih dari 2 mm, oleh karena itu

rekomendasi ketebalan lapisan resin komposit yang dapat terpolimerisasi secara maksimal adalah 2 mm.(Noviyanti,2018)

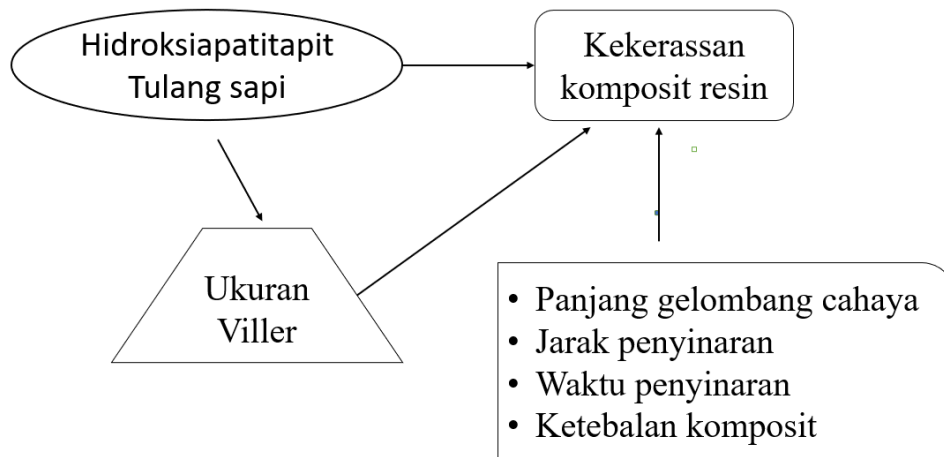
BAB III

KERANGKA TEORI DAN KERANGKA KONSEP





A. Kerangka Teori



B. Kerangka Konsep



Keterangan :

-  : Variabel Independen
-  : Variabel Depend
-  : Variabel Kendali
-  : Variabel Perancu