

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. EMAIL

2.1.1. Komposisi Email

Email yang berasal dari lapisan epitel ektodermal adalah lapisan terluar gigi yang hanya menyelubungi mahkota gigi, dan merupakan struktur terkeras dari tubuh.²⁰ Email mengandung lebih sedikit bahan organik dibanding jaringan lain dalam tubuh, 96% nya terdiri dari bahan inorganik, sedangkan 4% sisanya terdiri dari air dan materi organik fibrosa.⁹ Komponen inorganik email terdiri dari PO_4 , Ca, CO_3 , Na, dll. Persentase kandungan kalsium dalam email adalah 35,8 %, sedangkan kandungan fosfatnya berjumlah 17,4 %.³⁷ Kalsium dan fosfat membentuk kristal hidroksiapatit (*Crystals of hydroxyapatite*, $(\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2)$) yang juga ditemukan pada tulang, kartilago terkalsifikasi, dentin dan cementum. Materi organik email tidak mengandung kolagen, melainkan suatu protein bermolekul tinggi yaitu enamelin yang terdiri dari asam aspartat, serin, glisin, prolin, dan asam glutamat.¹⁹ Enamelin mengelilingi kristal, mengisi ruangan yang ada di antara kristal-kristal tersebut, dan terus menetap pada email yang telah dewasa.⁹

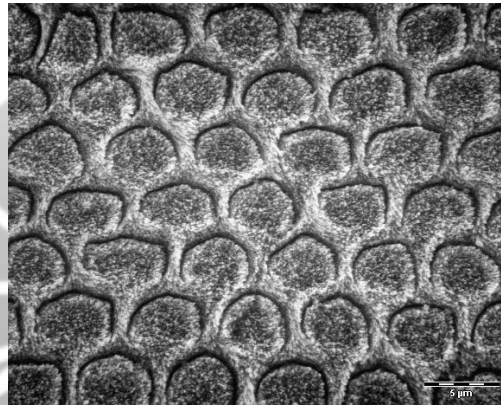
2.1.2. Struktur Email

Enamel Rod (Batang Email)

Unit dasar email disebut *enamel rod*, berdiameter 4-8 μm , merupakan massa kristal-kristal hidroksiapatit yang terkemas rapat dalam pola terorganisir.^{20,21} Arah kristal hidroksiapatit yang menyusun batang email mempengaruhi beberapa sifat email, seperti kekuatan, daya tahan terhadap asam, dan lain-lain.²³ Pada potongan melintang, batang email terlihat seperti lubang kunci, dimana kepalanya mengarah ke mahkota gigi, sedangkan bagian bawahnya mengarah ke akar gigi. Batang email berjalan dari perlekatan email-

dentin (*Dentinoenamel Junction* atau *DEJ*) sampai ke permukaan gigi dengan *interrod substance* di antaranya.

Kristal-kristal pada batang email dan *interrod enamel* dipisahkan oleh sarung batang (*Rod Sheath*).²² Pembatas atau sarung ini mengandung lebih banyak protein email. Setiap batang dibentuk oleh satu ameloblas. Ameloblas berbentuk silindris tinggi, puncaknya (ke arah dentin) memanjang sebagai prosesus Tomes.



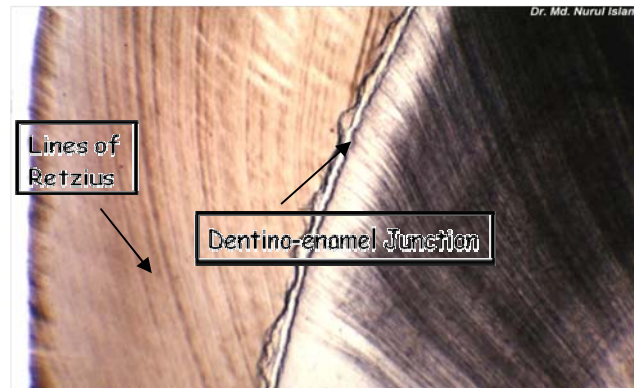
Gambar 2.1. Batang email dari permukaan email dengan etsa asam. Gambar diambil dengan SEM. (<http://www.iob.uio.no>)

Striae of Retzius (Garis Retzius)

Merupakan garis pertumbuhan *incremental* atau bertambah. Secara longitudinal terlihat sebagai pita-pita gelap yang merefleksikan bidang berbentuk email yang berturut-turut. Secara melintang terlihat seperti cincin konsentris. Struktur dari garis Retzius ini masih belum jelas. Garis ini terlihat secara jelas pada gigi permanen, tetapi kurang jelas pada gigi susu setelah lahir dan jarang pada gigi susu sebelum lahir.⁹

Bands of Hunter-Schreger (Garis Hunter-Schreger)

Merupakan fenomena optis yang disebabkan pergantian arah batang-batang email. Garis ini terlihat sebagai garis terang gelap.⁹



Gambar 2.2. Line of Retzius dan Dentino Enamel Junction

2.1.3. Sifat Fisik Email

Berdasarkan penelitian Cuy dkk dan Braly dkk, sifat fisik email berkaitan dengan susunan kimiawi email dan derajat mineralisasinya.⁴¹ Besarnya jumlah mineral pada email berpengaruh pada kekuatannya, membuat email bersifat sangat keras. Kekerasannya sangat tinggi, kekuatan tarik rata-rata 100 kg/cm, tahanan kompresi mencapai 2110-3500 kg/cm.²⁴ Semakin kearah dentin, kekerasan email semakin berkurang.

Selain itu, sifat fisik email juga dipengaruhi struktur mikro dan orientasi batang email. Kekerasan dan modulus elastis lebih rendah pada indentasi uji kekerasan yang dibuat tegak lurus terhadap sumbu batang email. Kekerasan dan modulus elastis semakin meningkat dari DEJ ke arah permukaan gigi.⁴¹

Kekerasan email juga dipengaruhi faktor usia, dimana email orang muda lebih lunak daripada orang tua. Adanya difusi ion-ion pada saliva ke dalam email juga dapat meningkatkan kekerasannya.²⁵ Terdapat dua proses terkait usia yang mempengaruhi email, yang pertama yaitu berkurangnya matriks berprotein disepanjang batas batang karena maturasi dan konsumsi bahan-bahan yang menurunkan pH mulut. Kedua, pajanan terus-menerus terhadap ion-ion mineral dan fluoride dalam lingkungan mulut dapat meningkatkan penggantian matriks oleh fluoroapatit, menyebabkan

peningkatan kepadatan jaringan serta penurunan permeabilitas email.⁴¹

Faktor-faktor seperti pH, lingkungan cair, dan temperatur juga mempengaruhi sifat-sifat fisik, misalnya modulus elastis, kekerasan, serta kekasaran permukaan dari email.⁴⁰

Email bersifat semitranslusen, dan warna normalnya bervariasi dari kuning terang sampai putih keabu-abuan. Hal ini dipengaruhi oleh variasi ketebalan email yang merefleksikan warna dentin di bawahnya. Email paling tebal terdapat pada *cusp* dan tertipis terdapat pada bagian *cemento-enamell junction* (CEJ).⁹

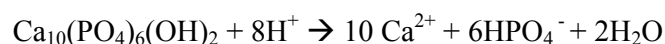
2.2. DEMINERALISASI DAN REMINERALISASI

2.2.1. Demineralisasi

Demineralisasi merupakan proses hilangnya ion-ion mineral dari email gigi. Kandungan mineral utama dari email adalah *hydroxyapatite* (HA) yang terdiri dari $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Sejumlah ion mineral dapat hilang dari hidroksiapatit tanpa merusak integritas strukturalnya. Email yang terdemineralisasi lebih peka terhadap panas, dingin, tekanan, serta rasa sakit dibanding email normal.²⁶

Pada lingkungan netral, HA seimbang dengan lingkungan saliva yang tersaturasi dengan ion Ca^{2+} dan PO_4^{3-} . HA reaktif terhadap ion hidrogen dengan $\text{pH} \leq 5.5$ yang merupakan pH kritis untuk HA. H^+ bereaksi dengan kelompok fosfat dalam lingkungan saliva yang dekat dengan permukaan kristal secara cepat. Proses itu dapat dideskripsikan sebagai konversi PO_4^{3-} menjadi HPO_4^{2-} dengan tambahan H^+ dan pada waktu yang sama H^+ disangga (mengalami *buffering*). HPO_4^{2-} kemudian tidak dapat berkontribusi terhadap keseimbangan HA normal sehingga kristal HA larut. Hal ini disebut dengan demineralisasi.¹

Reaksi yang terjadi pada demineralisasi email adalah sebagai berikut:²⁷



2.2.2. Remineralisasi

Remineralisasi merupakan proses pengembalian ion-ion mineral ke dalam struktur hidroksiapatit.²⁶ Ion-ion yang hilang pada proses demineralisasi dapat dikembalikan apabila pH dinetralkan serta terdapat ion Ca^{2+} dan PO_4^{3-} yang cukup di lingkungan. Dissolusi produk apatit dapat mencapai netralitas melalui *buffering*, sedangkan ion Ca^{2+} dan PO_4^{3-} pada saliva dapat menghambat proses pelarutan melalui *common ion effect*. Hal ini mengakibatkan pembangunan kembali *partly dissolved apatite crystals* dan disebut dengan remineralisasi. Interaksi ini dapat ditingkatkan dengan keberadaan ion fluoride pada daerah reaksi.¹

Beberapa kondisi yang diperlukan dalam remineralisasi gigi adalah tingkat kalsium dan fosfat yang cukup tinggi, pH yang cukup tinggi, matriks organik dan inorganik yang tepat untuk pertumbuhan kristal, adanya faktor-faktor *salivary nucleating*, serta kontrol terhadap Statherin dan berbagai faktor-faktor penghambat pertumbuhan kristal lainnya.³⁶

2.2.3. Reaksi Progresif Ion Asam dengan Apatit

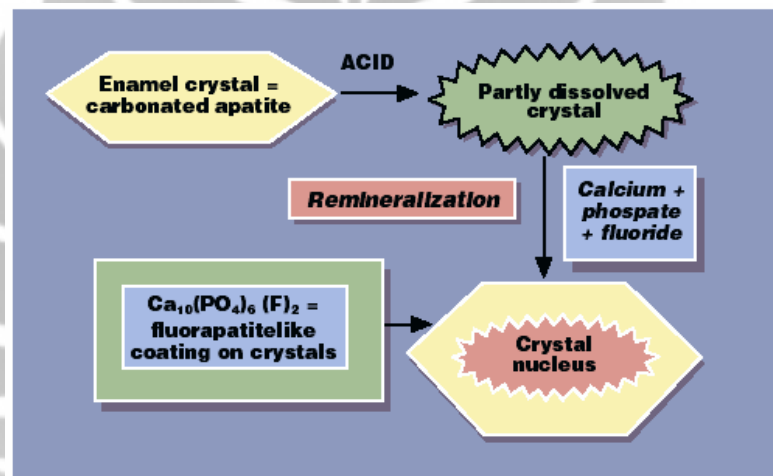
Seiring dengan penurunan pH, ion asam akan bereaksi dengan fosfat pada saliva, plak atau kalkulus, sampai pH kritis ($\text{pH} \pm 5.5$) untuk penguraian HA tercapai. Penurunan pH lebih lanjut akan menghasilkan interaksi lanjutan antara ion asam dengan kelompok fosfat dari HA yang mengakibatkan pelarutan sebagian atau keseluruhan dari kristalit permukaan.

Dalam proses ini fluoride yang disimpan akan dilepaskan dan bereaksi dengan produk penguraian ion Ca^{2+} dan HPO_4^{2-} , membentuk *Flourapatite (FA)* atau *fluoride enriched apatite*. Apabila pH turun sampai kurang dari 4.5 yang merupakan pH kritis untuk pelarutan FA, maka FA akan terurai. Jika ion asam dinetralsir, dan ion Ca^{2+} serta HPO_4^{2-} dikembalikan, proses pengembalian atau remineralisasi dapat terjadi.¹

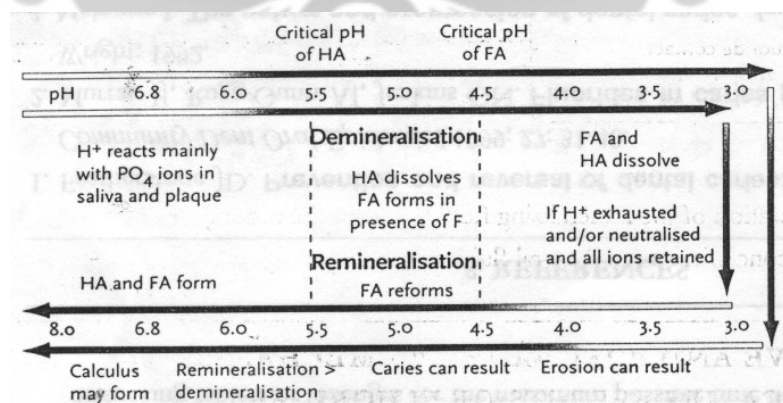
2.2.4. Kemungkinan Sequelae

Sequelae yang terjadi bergantung pada kekuatan asam yang ada, frekuensi dan durasi produksi serta potensi remineralisasi pada setiap situasi.¹ Kemungkinan *sequelae* antara lain:

- Email menjadi lebih matang, sehingga menjadi lebih tahan asam
- Karies kronik dapat berkembang, karena adanya demineralisasi lambat dengan remineralisasi yang aktif (*subsurface lesion*)
- Dapat terjadi karies rampant, akibat dari demineralisasi yang cepat dengan remineralisasi yang tidak adekuat
- Erosi dapat terjadi, dikarenakan demineralisasi yang sangat cepat tanpa remineralisasi sama sekali.



Gambar 2.3. Proses demineralisasi dan remineralisasi.



Gambar 2.4. Siklus demineralisasi dan remineralisasi

2.3. KEKERASAN GIGI

Email gigi adalah jaringan yang paling termineralisasi dari tubuh manusia. Material inorganik dari email sebagian besar terdiri dari kalsium fosfat yang berhubungan dengan *hexagonal hydroxyapatite* dengan formula $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6 \cdot 2(\text{OH})$. Analisa *X-ray Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) dari email dan dentin juga mengindikasikan keberadaan sejumlah kecil elemen lain seperti Na, Cl, dan Mg.¹⁰

Ion-ion fluoride, fosfat dan kalsium yang terdapat dalam lingkungan sekitar gigi memiliki sifat-sifat yang potensial untuk terjadinya peningkatan kekerasan kembali, dimana penambahan konsentrasi ion-ion fosfat dan kalsium meningkatkan kapasitas pengerasan email kembali.³⁰ Kalsium termasuk logam alkali tanah sehingga bersifat keras, fungsi utama kalsium adalah untuk memberikan kekerasan dan kekuatan pada tulang dan gigi.^{31,32,35}

Uji kekerasan sangat penting pada eksperimen demineralisasi dan remineralisasi. Kekerasan didefinisikan sebagai ketahanan benda padat terhadap penetrasi, sedangkan dalam kedokteran gigi kekerasan permukaan umumnya diukur berdasarkan ketahanannya terhadap indentasi. Pada dasarnya, uji kekerasan menggunakan ujung *indenter* kecil yang diaplikasikan ke permukaan yang akan diukur dengan beban tertentu. Kemudian hasil indentasi diukur dengan mikroskop. Semakin keras bahan tersebut, semakin kecil indentasi yang dihasilkan.³³

Terdapat tiga tipe *indenter* yang biasa digunakan untuk menguji kekerasan bahan dental, yaitu Brinell, Vickers, dan Knoop. Uji Brinell bermanfaat untuk menguji kekerasan bahan-bahan logam, menggunakan satuan *Brinell Hardness Number* (BHN). Uji Knoop menggunakan *diamond indenter*, kemudian sumbu panjang indentasi diukur dan didapatkan *Knoop Hardness Number* (KHN).³³

Metode Vickers menggunakan *indenter* berbentuk *pyramid-diamond* dengan sudut antara permukaan pyramid 136° . Ini akan menghasilkan jejas berbentuk belah ketupat. Uji kekerasan metode Vickers ini menggunakan beban yang kecil dan menghasilkan indentasi kecil dengan kedalaman

kurang dari $19\mu\text{m}$, sehingga dapat digunakan mengukur kekerasan area yang kecil. Satuannya adalah *Vickers Hardness Number* (VHN).^{29,33}

Knoop (KHN) dan Vickers (VHN) telah memperlihatkan jumlah atau nilai yang hampir sama. Kekerasan rata – rata dari email dan dentin berkisar antara 270 – 350 KHN (atau 250 – 360 VHN) dan 50 – 70 KHN. Standard deviasi (SD) untuk nilai ini menunjukkan variasi yang luas dan signifikan, walaupun variasi pada dentin jarang disebutkan. Sebagai contoh, Craig dan Peyton melaporkan kekerasan email pada kisaran $344 \pm 49 - 418 \pm 60$ VHN dan Love berkisar antara $263 \pm 26 - 327 \pm 40$ VHN. Kekerasan email oklusal bervariasi dari 359 – 424 VHN, dan email servikal 227 – 342 VHN. Variasi ini bisa jadi disebabkan oleh faktor-faktor seperti gambaran histologis, komposisi kimia, preparasi spesimen, serta *load* dan *reading error* pada *indentation length* (IL).¹⁰

Perbedaan VHN antara email dan dentin merupakan hasil dari perbedaan kandungan material organik dan inorganik. VHN yang ditemukan pada email dan dentin tidak dipengaruhi oleh keberadaan elemen minor seperti Na, Cl dan Mg, tetapi dipengaruhi oleh persentase mineralisasi jaringan.

2.4. XYLITOL

Xylitol merupakan gula alkohol dengan 5 karbon $((\text{CHOH})_3(\text{CH}_2\text{OH})_2)$.²⁸ Telah digunakan sejak awal tahun 1960an sebagai terapi infus pasca operasi, pasien luka bakar dan syok, diet pasien diabetes, dan yang terkini sebagai pemanis dalam produk yang bertujuan meningkatkan kesehatan mulut.¹²

Xylitol adalah pemanis alami yang menyehatkan gigi. Xylitol memiliki rasa semanis gula tebu (sukrosa), namun kandungan kalornya 40% lebih rendah dan lebih lambat diserap oleh tubuh sehingga sangat aman bagi penderita diabetes. Xylitol bermanfaat untuk menekan jumlah bakteri *Mutans S.* sebagai salah satu kuman penyebab karies gigi, menghambat pertumbuhan plak, menekan keasaman plak, dan mempercepat proses pembentukan kembali mineral gigi (remineralisasi).¹⁸

2.4.1. Profil Kimia

Xylitol termasuk golongan gula alkohol alami tipe pentitol. Xylitol mengandung 5 atom karbon dan 5 kelompok hidroksil. Oleh karena itu, Xylitol juga dapat disebut sebagai pentitol. Xylitol termasuk ke dalam *non-glucose polyalcohol* (polyols) yang tidak menegaskan diri sebagai gula yang biasanya terdiri dari pemanis karbohidrat (sukrosa, *corn syrup*, *invert sugar*, *D-fructose*, *D-glucose*, dan lain-lain).³⁶ Polyols dapat dibentuk dan dikonversi menjadi gula (seperti *aldoses* dan *ketoses*).

Xylitol dan sebagian besar polyols lain menunjukkan sifat dental yang menarik, yaitu dapat membentuk tipe kompleks tertentu dengan kalsium dan kation *polyvalent* tertentu lainnya, contohnya adalah kompleks Ca-xylitol pada rongga mulut dan usus. Kompleks tersebut dapat berperan dalam remineralisasi dan demineralisasi lesi karies dentin dan email yang terlihat pada subjek yang mempunyai kebiasaan mengkonsumsi xylitol. Gula alkohol dapat membentuk kompleks dengan Ca dan kation logam tertentu lainnya, sehingga mungkin mempengaruhi metabolisme kation-kation tersebut dalam rongga mulut, karena itu beberapa gula alkohol dapat berperan terhadap reaksi remineralisasi fisiologis dimana garam kalsium fosfat didepositkan dalam daerah yang kekurangan kalsium. Dalam sudut pandang kedokteran gigi, peran xylitol serta polyol lainnya adalah sebagai stabilisator kalsium saliva dan ion fosfat. Xylitol mungkin menstabilisasi sistem kalsium fosfat pada saliva dengan cara yang sama seperti peptida saliva (seperti statherin).¹²

Xylitol dua kali lebih manis dari sorbitol. Saat dimakan dalam bentuk padatan atau kristal (seperti pada permen karet), xylitol memberikan sensasi segar dan dingin karena *high endothermic heat solution* yang dimilikinya. Kandungan kalori xylitol kira-kira hampir sama dengan gula, namun jika dikonsumsi sebagai bagian diet campuran, dapat memberikan kalori yang lebih rendah dari gula.

2.4.2. Sifat Metabolik

Xylitol merupakan produk alami yang biasa terjadi pada metabolisme glukosa manusia dan hewan, serta metabolisme beberapa tanaman dan mikroorganisme. Xylitol mempunyai *steady-state concentration* yang rendah di dalam darah manusia. Ekskresi xylitol dalam urin kira-kira 0.3 mg per jam.

Pada manusia, xylitol dan sorbitol yang dicerna diabsorpsi melalui dinding usus dengan laju yang sama dan lebih lambat dibandingkan *D-glucose* dan *D-fructose*. Setelah adaptasi yang baik, xylitol dapat diadministrasikan pada subjek manusia dengan jumlah 200 g atau lebih per hari tanpa terjadi diare. Kuantitas dental yang efektif bervariasi antara 1 – 20 g per hari, terutama 6 – 7 g.³⁴

Terdapat perbedaan kecil antara xylitol endogen dengan yang dikonsumsi dari luar tubuh. Xylitol endogen merupakan produk fisiologis intermediet dari *D-xylulose* dan *L-xylulose*. Reaksi ini bertempat di mitokondria dan dikatalisasi oleh enzim spesifik untuk xylitol. Sedangkan xylitol eksogen memasuki sirkulasi portal dan liver dimana xylitol mengalami dehidrogenasi di dalam sitoplasma sel liver oleh enzim *non-specific polyol dehydrogenase* yang dapat pula berperan pada sorbitol.

Xylitol dalam jumlah relatif besar bisa didapatkan dari buah *plum*, *raspberries*, dan kembang kol (*0.3 – 0.9 g per 100 g dry matter*, jumlah bergantung kepada musim dan varietas tanaman).

Xylitol sebagai pengganti gula memiliki keuntungan fisiologis berikut ini:¹²

- Xylitol mempunyai rasa enak dan rasa manis yang menyamai sukrosa.
- Dengan dosis xylitol yang benar, toleransi karbohidrat meningkat.
- Xylitol dengan dosis kecil menstabilkan situasi metabolik pada diabetes tidak stabil
- Xylitol mempunyai sifat antiketogenik
- Xylitol mempunyai sifat non dan anti kariogenik.

2.4.3. Efek Xylitol Terhadap Gigi

Xylitol diklaim mempunyai efek cariostatik dan anticariogenik. Hal ini berkaitan dengan sifat xylitol hanya dapat difermentasi oleh beberapa strain bakteri *S. Mutans* tertentu, yang sangat jarang, sehingga dapat dianggap bahwa xylitol tidak dapat difermentasi.³⁴ Ini terjadi karena keberadaan hidrogen ekstra pada molekulnya. Oleh sebab itu, xylitol tidak akan memproduksi asam pada plak, sehingga level pH mulut akan tetap netral.³⁹

Xylitol dalam konsentrasi tinggi diketahui membentuk kompleks dengan Ca^{2+} , masuk ke email yang terdemineralisasi dan berperan dalam transport ion-ion terlarut dari lesi ke larutan demineralisasi.³⁸ Eva Söderling et al (1984) membuktikan bahwa xylitol berpengaruh signifikan dalam menghambat pembentukan endapan garam kalsium fosfat. Penghambatan ini menyebabkan ion-ion kalsium dan fosfor tetap dalam keadaan bebas sehingga remineralisasi dapat terjadi. Hal ini berlawanan dengan sifat gula (glukosa, *sorbose*) pada umumnya yang cenderung memungkinkan terjadinya pengendapan garam kalsium fosfat.⁴²

Xylitol dalam larutan remineralisasi dapat mencegah dekalsifikasi dengan menghambat pemindahan ion-ion kalsium dan fosfat terlarut dari lesi. Xylitol bertindak sebagai pembawa ion kalsium, menyuplai lapisan dalam dan tengah email dengan ion-ion kalsium dari larutan remineralisasi, sehingga meningkatkan remineralisasi dengan menyediakan kalsium yang dibutuhkan untuk perbaikan kristal.¹⁵

Xylitol mengurangi pembentukan plak dan perlekatan bakteri (antimikrobia), menghambat demineralisasi email (mengurangi produksi asam), serta mempunyai efek penghambatan langsung pada *Streptococcus mutans*.³⁹

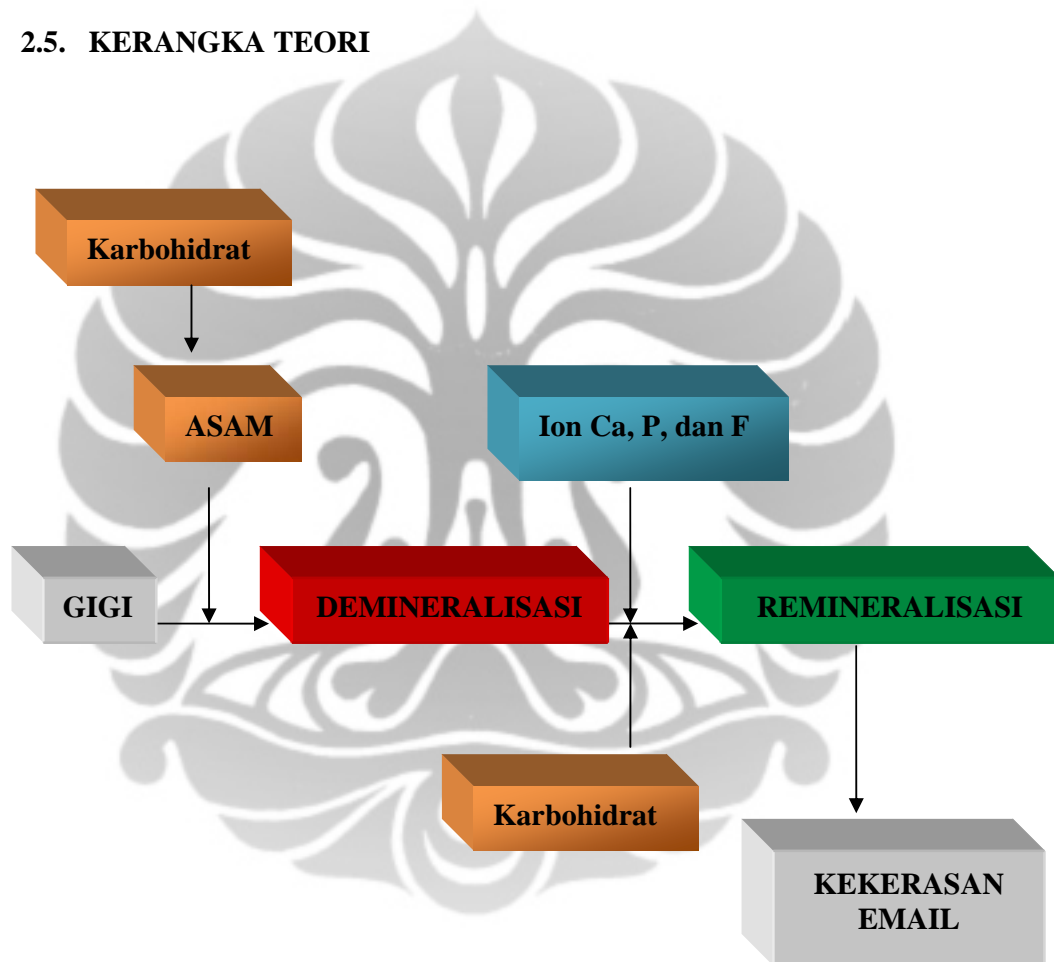
Manfaat xylitol:

- Membantu mengurangi perkembangan kavitas karies gigi
- Melawan fermentasi bakteri oral
- Mengurangi formasi plak

- Meningkatkan laju aliran saliva dalam rangka membantu remineralisasi
- Sebagai komplemen fluoride.

Xylitol sekarang tersedia dalam berbagai bentuk seperti permen karet, mint, tablet yang dapat dikunyah, *lozenges*, pasta gigi, obat kumur, obat batuk, dan produk *nutraceutical*.¹⁴

2.5. KERANGKA TEORI



Gambar 2.5. Diagram Kerangka Teori