

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. STRUKTUR EMAIL

2.1.1. Komposisi dan Kristal Email

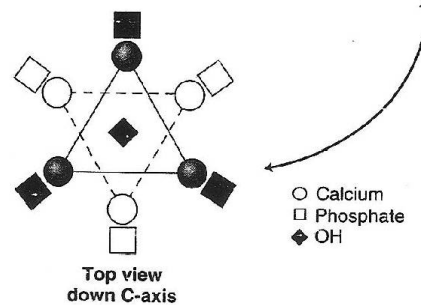
Email merupakan bahan terkeras dari tubuh yang berasal dari epitel (ektodermal). Email terdiri dari 96% komposisi inorganik, yaitu kristal hidroksiapatit (*Crystals of hydroxyapatite*, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) yang juga ditemukan pada tulang, kartilago terkalsifikasi, dentin dan sementum. Empat persen sisanya terdiri dari air dan materi organik fibrosa.¹⁰

Email mengandung jutaan *rod* atau prisma yang berjalan dari *dentinoenamel junction* menuju permukaan gigi. Prisma tersebut diperkirakan berdiameter 4 - 7 μm pada gigi sulung dan 6 - 8 μm pada gigi permanen. Di antara setiap prisma terdapat matriks protein. Selama pembentukan mahkota, matriks organik hampir selalu terlibat dalam menentukan ukuran dan orientasi kristal.¹¹ Materi organik yang mengelilingi kristal dan mengisi ruangan yang ada di antara kristal-kristal tersebut adalah enamelin. Enamelin adalah protein bermolekul tinggi yang terdiri dari asam aspartat, serin, glisin, prolin, dan asam glutamat. Protein ini terus menetap pada email yang telah dewasa.¹⁰

Setiap prisma (*rod*) email terdiri dari jutaan kristal hidroksiapatit. Hidroksi apatit (HA), $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ yang menyusun prisma email merupakan kristal dengan panjang 120 - 160 nm, dan lebar sisinya yang tersempit 25 nm dan yang terlebar 40 nm. Apatit merupakan kristal heksagonal yang tersusun dari unit sel yang merupakan gabungan 3 tetragonal dengan sudut $\gamma = 120^\circ$.¹² Pada susunan atomik kristal, posisi tengah ditempati oleh ion hidroksil, dikelilingi oleh konfigurasi triangular dengan ion kalsium pada setiap sudut segitiga. Tepat di sekeliling atom kalsium, terdapat *phosphate grouping*.¹¹ Komposisi ini dijelaskan pada gambar 2. 1. Susunan molekul kristal tersebut merupakan susunan hexagonal *close pack*. Dengan susunan tertumpuk tersebut, maka akan

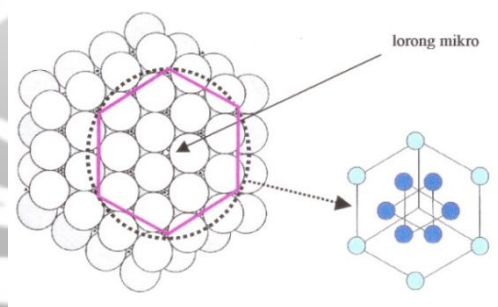
terdapat suatu lorong dari ruang antara fosfat. Dari seluruh jumlah lorong yang terjadi, tiga perempatnya diisi oleh ion kalsium, sisanya oleh hidroksil. Lorong ini merupakan suatu poros mikro yang dapat dimasuki oleh beberapa ion dengan berat atom rendah.¹² Lorong mikro dijelaskan pada gambar 2. 2. Atom – atom yang menyusun kristal hidroksiapatit dapat digantikan oleh atom lain. Sebagai contoh, kelompok hidroksil dapat digantikan oleh fluoride, ion kalsium dapat digantikan oleh strontium, dan kelompok fosfat dapat digantikan oleh ion karbonat. Ion dapat digantikan oleh ion dengan kisaran jari – jari ionik (*ionic radii*) yang sama. Kalsium (Ca^{2+}) dengan jari – jari ion $\pm 0.99 \text{ \AA}$ atau 99 pm dapat digantikan oleh ion dengan jari – jari ion yang berkisar antara $0.69 - 1.35 \text{ \AA}$, antara lain Sr (1.12 \AA), Pb (1.20 \AA), dan Co (0.72 \AA). Fosfat (PO_4^{3-}) dengan jari – jari ion $\pm 0.31 \text{ \AA}$ dapat digantikan oleh elemen dengan jari – jari ion antara $0.29 - 0.60 \text{ \AA}$, seperti As (0.46 \AA) dan V (0.59 \AA). Kelompok hidroksil ($1.32 - 1.37 \text{ \AA}$ atau 132 – 137 pm) dapat digantikan oleh golongan halogen seperti F^- ($1.17 - 1.19 \text{ \AA}$ atau 117 – 119 pm). Pergantian ini bergantung pada ion – ion yang tersedia pada lingkungan tempat kristal hidroksiapatit berada.^{13,14}

Tidak semua ion asli digantikan dan tidak semua pergantian ion permanen. Pergantian ion berlanjut seumur hidup. Ketika sejumlah kelompok hidroksil digantikan oleh ion fluor, kristal hidroksiapatit menjadi fluorhidroksiapatit. Jika semua hidroksil digantikan oleh fluoride, kristal tersebut dinamakan fluorapatit. Pertambahan fluoride akan meningkatkan pertahanan terhadap asam. Pergantian kalsium dan fosfat dengan ion lain akan menghasilkan kristal yang kurang stabil.¹¹



Gambar 2. 1. Susunan Atomik Kristal Hidroksiapatit.¹¹

Sumber: *Primary Preventive Dentistry*. Telah diolah kembali



Gambar 2. 2. Skematik susunan *close pack*.(Eliot)

Sumber: Pengaruh Retensi Perubahan Kristal Apatit, Tingkat Retensi dan Intrusi Fluor terhadap Kelarutan Email Setelah Perlakuan Larutan Ikan Teri Jengki. Harun A. Gunawan

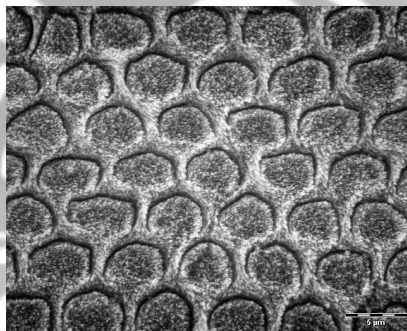
2.1.2. Kalsium dan Fosfor Email

Sebagian besar mineral yang terkandung dalam email adalah kalsium yang rata – rata mempunyai komposisi sebesar 35.8% dan fosfor sebesar 17.4%.¹⁵ Kalsium berkombinasi dengan fosfor sebagai mineral kedua terbanyak setelah kalsium untuk membentuk tulang dan gigi. Mayoritas fosfor di dalam tubuh terdapat dalam bentuk ion fosfat (PO_4). Setelah selesainya kalsifikasi, kalsium dan fosfor tidak dapat ditarik dari apatit gigi seperti yang terjadi pada tulang. Fungsi utama dari kalsium adalah untuk memberikan rigiditas dan kekuatan kepada tulang dan gigi. Fosfor mempunyai beberapa fungsi, tetapi dua fungsi utamanya adalah sebagai mineral pembentukan tulang dan gigi serta produksi dan transfer dari *high energy phosphates*. Sebagai tambahan, fosfor mempunyai peran dalam absorpsi dan transportasi zat gizi, komponen metabolit esensial, dan mengatur keseimbangan asam – basa.¹⁶

2.1.3. Struktur Mikroskopik Email

Enamel Rod (Prisma Email)

Struktur dasar email adalah *enamel rod* atau prisma email yang berjalan tegak lurus terhadap *dentino enamel junction* (DEJ). Bentuk penampang melintang prisma email adalah seperti lubang kunci dengan bagian kepala (*cylindrical shaped rod*) dan daerah interprisma (*interrod*). Pada prisma email, terdapat kristal – kristal apatit. Kristal – kristal apatit yang terdapat pada pertengahan kepala prisma email berjalan paralel atau sejajar terhadap sumbu longitudinal prisma tersebut. Arah susunan kristal yang berbeda pada bagian kepala dan interprismatik email menyebabkan perbedaan kelarutan kristal email terhadap asam. Asam (ion H^+) yang datang pada yang sejajar dengan sumbu kristal akan lebih mudah melakukan substitusi ion OH yang terletak pada sumbu kristal HA, dibandingkan apabila datang dari arah tegak lurus sisi panjang kristal.



Gambar 2. 3. *Enamel Prism* dari permukaan email dengan etsa asam

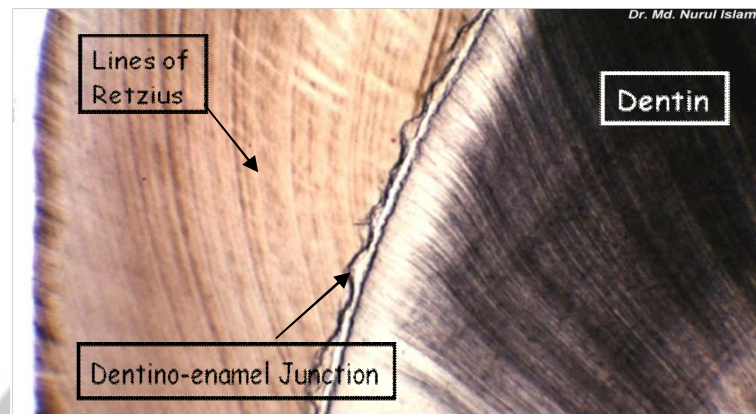
Gambar diambil dengan SEM. Sumber: <http://www.iob.uio.no>

Striae of Retzius (Garis Retzius)

Garis Retzius adalah garis pertumbuhan incremental email. 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.¹⁰

Bands of Hunter-Schreger (Garis Hunter-Schreger)

Garis yang terlihat sebagai garis terang gelap ini merupakan fenomena optis yang disebabkan pergantian arah batang.¹⁰



Gambar 2. 4. *Line of Retzius dan Dentino Enamel Junction*¹⁸

Sumber: <http://www.kck.usm.my/ppsg/Histology/>

2.1.4. Sifat Fisik Email

Karena bahan mineralnya, email sangat keras. Email tembus cahaya dan bervariasi dalam warna, dari kuning terang sampai putih keabu-abuan. Email juga bervariasi dalam ketebalan dan variasi tersebut mempengaruhi warna dari email yang merefleksikan warna dentin di bawahnya.¹⁰

2.1.5. Permeabilitas email

Selama demineralisasi, fase yang hilang dari email adalah fase inorganik. Matriks organik mempercepat demineralisasi dengan cara menyediakan saluran invasi asam. Pada gigi yang mengalami demineralisasi, matriks tampak sebagai jejaring yang menyebar ke seluruh volume email. Di antara prisma (*rod*), terdapat matriks yang mempunyai lebar beberapa ratus angstrom. Di antara kristal apatit yang sejajar dengan *rod*, terdapat matriks interkristalin yang mempunyai lebar kurang lebih 17 Å (1.7 nm atau 1700 pm). Matriks di antara *rod* dan kristal disambungkan oleh area hipomineralisasi yang ditempati oleh garis inkremental dan

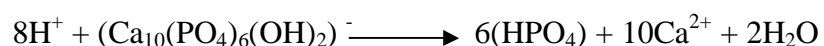
striae of Retzius. Sebagai tambahan, matriks *interrod* dan interkristalin meluas ke area yang kurang termineralisasi di sepanjang DEJ. Ion dapat dengan bebas berdifusi melalui *watery network* ini. Jika ion tersebut adalah ion hidrogen, hasilnya dapat merusak karena kontak intim antara fase organik dan inorganik dari email. Sebaliknya, jika ion yang berdifusi adalah kalsium, fosfat atau fluoride, maka resistensi email dapat meningkat.¹¹

2.2. REMINERALISASI DAN DEMINERALISASI

2.2.1. Demineralisasi

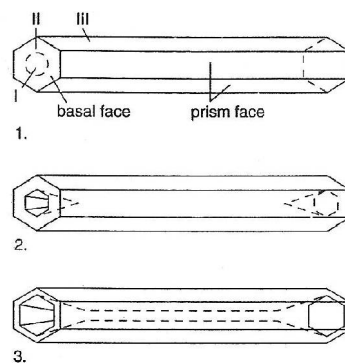
Kandungan mineral dari email, dentin dan sementum adalah hidroksiapatit (HA) yang terdiri dari $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Pada lingkungan netral, HA seimbang dengan lingkungan *aqueous* lokal (saliva) yang tersaturasi dengan ion Ca^{2+} dan PO_4^{3-} .

HA reaktif terhadap ion hidrogen pada pH sama dengan atau di bawah 5.5 yang diketahui sebagai pH kritis untuk HA. H^+ bereaksi dengan kelompok fosfat dalam lingkungan *aqueous* yang berdekatan 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^+ mengalami *buffering*. Karena konversi tersebut, HPO_4^{2-} tidak dapat berkontribusi kepada equilibrium (keseimbangan) HA normal karena mengandung PO_4^{3-} dibandingkan HPO_4^{2-} sehingga kristal HA larut. Hal ini disebut dengan demineralisasi.¹ Reaksi demineralisasi dapat diuraikan sebagai berikut:¹²



Perubahan morfologis pasca demineralisasi yang dilihat menggunakan SEM menunjukkan pembesaran jalur interkristalin. Arends *and coworkers* menyimpulkan bahwa kehilangan mineral setelah serangan inisial karies berasal dari area interprismatik dan sekeliling prisma.

Perbesaran ruang seiring dengan penguraian mineral menghasilkan pembesaran jalur untuk difusi mineral keluar dari email dan penetrasi asam ke dalam *subsurface*. Secara *in vitro*, demineralisasi kristal terjadi dalam dua tahap: (1) penguraian inti dari kristal apatit individu (2) penguraian “*shell*” yang tersisa dari kristal. Destruksi kristal dimulai dari pembentukan *etch pits*, indentasi kecil pada pusat ujung pangkal dari kristal apatit, yang secara progresif semakin dalam seiring dengan berlanjutnya penguraian ke arah pusat kristal.¹¹ Proses destruksi kristal dapat dilihat pada gambar 2. 4.



Gambar 2. 5. Proses Destruksi Kristal.¹¹

Sumber: *Primary Preventive Dentistry*. Telah diolah kembali

2.2.2. Remineralisasi

Proses demineralisasi dapat dikembalikan jika pH dinetralkan dan terdapat ion Ca^{2+} dan PO_4^{3-} yang cukup pada lingkungan. Penguraian produk apatit dapat mencapai kondisi netral dengan *buffering*. Ion Ca^{2+} dan PO_4^{3-} pada saliva dapat menghambat proses penguraian melalui *common ion effect*. Hal ini menyebabkan *rebuilding* atau pembangunan kembali *partly dissolved apatite crystals* yang disebut sebagai remineralisasi. Interaksi ini dapat ditingkatkan dengan keberadaan ion fluoride pada tempat reaksi. Dasar kimiawi dari proses demineralisasi-remineralisasi ini sama pada email, dentin dan sementum akar.¹

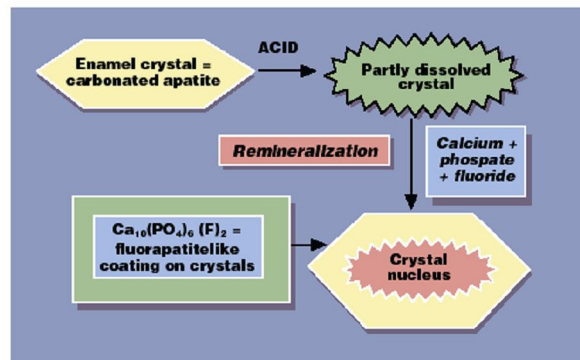
Remineralisasi dapat dihasilkan oleh larutan yang mengandung ion fosfat dan kalsium. Proses ini dapat ditingkatkan oleh fluoride. Larutan

remineralisasi buatan yang ideal harus bersifat (1) hidrofilik, (2) memiliki viskositas yang rendah sehingga memungkinkan untuk berpenetrasi ke dalam lesi *subsurface* (3) antibakteri, (4) suplemen saliva, (5) beraksi cepat/ *rapid-acting*, dan (6) dapat diandalkan. Elemen yang paling sering digunakan dalam formula remineralisasi antara lain kalsium, fosfat, dan fluoride. Ion seperti *tratrates* dapat meningkatkan *complexing* dan transpor ion kalsium ke dalam lesi *subsurface* untuk perbaikan. Natrium Klorida juga sering ditambahkan untuk menstabilkan larutan dan mencegah pengendapan spontan dari kalsium dan fosfat. Remineralisasi yang terjadi bergantung kepada (1) waktu perendaman, (2) reaktan, (3) perluasan *supersaturation* dari larutan terhadap gigi, (4) laju pengendapan reaktan, dan (5) pH larutan.¹¹

2.2.3. Reaksi Progresif Ion Asam dengan Apatit

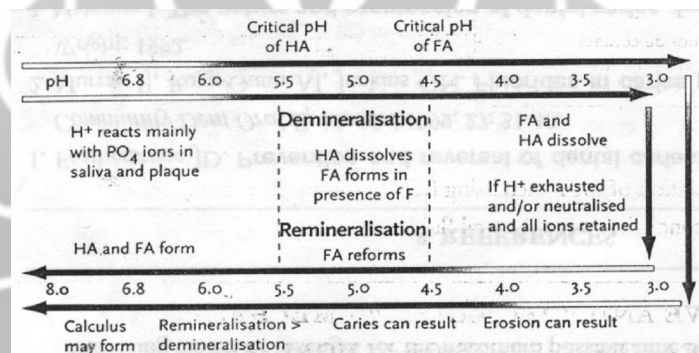
Seiring dengan penurunan pH, ion asam bereaksi dengan fosfat pada saliva, plak atau kalkulus, sehingga mencapai pH kritis (pH 5.5) untuk penguraian HA. Penurunan pH lebih lanjut akan menghasilkan interaksi progresif dari ion asam dengan kelompok fosfat dari HA yang menghasilkan penguraian sebagian atau keseluruhan dari kristal permukaan.

Fluoride yang disimpan dilepaskan dalam proses ini dan bereaksi dengan produk penguraian ion Ca^{2+} dan HPO_4^{2-} lalu membentuk FA atau *fluoride enriched apatite*. Jika pH turun dibawah 4.5, yang merupakan pH kritis untuk penguraian FA, FA akan terurai. Jika ion asam dinetralsir, dan ion Ca^{2+} serta HPO_4^{2-} dikembalikan, proses pembalikan (*reverse*) dari remineralisasi dapat terjadi, seperti yang terlihat pada gambar 2.5 dan 2.6.



Gambar 2.6. Proses demineralisasi dan remineralisasi

Sumber: www.ncku.edu.tw/~dentist/02_part/pedo/MM/920819_PD_MM.pdf

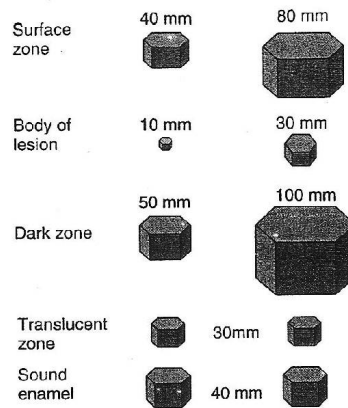


Gambar 2.7. Siklus demineralisasi dan remineralisasi

Sumber: *Preservation and Restoration of Tooth Structure*, 2nd ed.

2.2.4. Ukuran Kristal pada Zona Demineralisasi dan Remineralisasi

Silverstone dalam tinjauannya menunjukkan bahwa ukuran kristal berbeda dalam setiap zona lesi yang baru mulai terjadi (*incipient lesion*) dan area karies yang mengalami remineralisasi.¹¹ Pada *incipient carious lesion*, kristal pada dua zona demineralisasi (*body of the lesion* dan *translucent zone*) lebih kecil dibandingkan pada email yang utuh.¹¹ Kristal pada dua zona remineralisasi (*the dark* dan *the surface zones*) sama atau lebih besar dibandingkan dengan yang ditemukan pada email normal. Ketika larutan remineralisasi yang mengandung fluoride digunakan, ukuran kristal semakin besar. Ukuran kristal ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2. 8. Ukuran Kristal Lesi Karies Email.

Sumber: *Primary Preventive Dentistry*. Telah diolah kembali

2.2.5. 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:

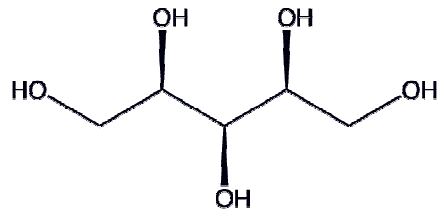
- Email menjadi lebih matang → menjadi lebih tahan asam
- Karies kronik dapat berkembang → demineralisasi lambat dengan remineralisasi yang aktif (*subsurface lesion*)
- Rapid (*rampant*) caries dapat terjadi → demineralisasi cepat dengan remineralisasi yang tidak adekuat
- Erosi dapat terjadi → demineralisasi yang sangat cepat tanpa remineralisasi sama sekali

2.3. XYLITOL

2.3.1. Profil Kimia

Xylitol ($C_5H_{12}O_5$) merupakan gula alkohol alami tipe pentitol. Xylitol mengandung 5 atom karbon dan 5 kelompok hidroksil, yang oleh karenanya dapat disebut sebagai pentitol. Xylitol masuk ke dalam golongan *polyalcohol* (*polyols*). *Polyols* dapat dibentuk dari dan dikonversi menjadi gula, yang dalam hal ini menunjuk kepada

monosakarida dan disakarida. Struktur xylitol dapat dilihat lebih jelas pada gambar 2. 8.



Gambar 2. 9. Struktur Kimia Xylitol

Sumber: www.answers.com

Xylitol dan sebagian besar polyols lain menunjukkan sifat dental yang menarik, yaitu dapat membentuk tipe kompleks tertentu dengan kalsium dan kation *polyvalent* tertentu lainnya, seperti kompleks Ca-xylitol pada rongga mulut dan usus. Kompleks tersebut dapat berkontribusi kepada remineralisasi lesi karies dentin dan email terdemineralisasi, hal ini diobservasi pada subjek yang mengkonsumsi xylitol sebagai kebiasaan sehari - hari. Dalam usus, kompleks ini dapat memfasilitasi absorpsi kalsium melalui dinding usus, efek ini disugestikan berperan dalam *xylitol-associated prevention of osteoporosis* pada hewan percobaan. Dalam sudut pandang dental, peran xylitol (dan *polyols* lain) merupakan stabilisator kalsium saliva dan ion fosfat. Xylitol menstabilisasi sistem kalsium fosfat pada saliva dengan cara yang sama oleh beberapa peptida saliva seperti statherin.¹⁹

Xylitol dua kali lebih manis dari sorbitol. Ketika dimakan dalam bentuk solid 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, bagaimana pun juga ketika dimakan sebagai bagian diet campuran, dapat memberikan kalori yang lebih rendah dari gula.

2.3.2. Sifat Metabolik

Xylitol adalah produk alami yang secara rutin terjadi pada metabolisme glukosa manusia dan hewan, serta pada metabolisme beberapa tanaman dan mikroorganisme. Xylitol mempunyai *steady-state concentration* yang rendah di dalam darah manusia, tingkat xylitol darah normal berkisar antara 0,03 mg – 0,06 mg per 100 ml. Ekskresi xylitol dalam urin kira-kira 0.3 mg per jam.

Pada manusia, xylitol dan sorbitol yang dicerna diabsorpsi melalui dinding usus pada laju yang sama dan lebih lambat dibandingkan D-glucose dan D-fructose. Pada subjek yang belum beradaptasi, dosis xylitol sekitar 0.5 g per kg berat badan akan menghasilkan tinja yang lunak (*osmotic diarrhea*). Setelah adaptasi yang baik, xylitol dapat diadministrasikan pada subjek manusia dengan jumlah 200 g atau lebih per hari tanpa terjadi *diarrhea*. Pada praktiknya, tidak lebih dari 50 – 70 g per hari dibagi selama sehari dapat diberikan. Kuantitas dental efektif dapat bervariasi antara 1 – 20 g per hari, terutama 6 – 7 g.¹⁹

Xylitol menyediakan jumlah besar glikogen hati atau *primarily D-glucose*. Xylitol dioksidasi menjadi karbon dioksida dan air dengan jalur fisiologis normal dari penguraian karbohidrat. Sekitar 85% penguraian xylitol terjadi di hati. Sekitar 10% mengalami metabolisme ekstrahepatik di ginjal, dan sisanya digunakan oleh sel darah, korteks adrenal, paru-paru, testis, otak, jaringan lemak, dan sebagainya. Sifat ini sama pada setiap cara administrasi, oral, atau intravena.

Terdapat perbedaan kecil antara xylitol endogen (alami) dan yang dikonsumsi dari luar tubuh. Xylitol endogen merupakan produk fisiologis intermediet dari *D-xylulose* dan *L-xylulose*. Reaksi ini mengambil tempat di mitokondria yang dikatalisasi oleh enzim spesifik untuk xylitol. Xylitol eksogen memasuki sirkulasi portal dan liver di mana xylitol mengalami dehidrogenasi di dalam sitoplasma sel liver oleh *non-specific polyol dehydrogenase enzyme* yang juga dapat bertindak

pada sorbitol. Sumber diet yang mengandung jumlah xylitol yang relatif besar adalah plum, raspberries, dan kembang kol (*0.3 – 0.9 g per 100 g dry matter*, jumlah bergantung kepada musim dan antara varietas tanaman).

Xylitol, *D-fructose* dan sorbitol dikonversi menjadi *D-glucose* dan berbagai metabolit *D-glucose* dalam metabolisme intermediet, dan dibawa ke *mainstream* metabolisme karbohidrat, disimpan sebagai glikogen, dioksidasi menjadi karbon dioksida dan air, atau digunakan sebagai material pembangun untuk biosintesis substansi seperti lemak.

Keuntungan fisiologis xylitol sebagai pengganti gula:

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

2.3.3. Efek Dental

Xylitol diklaim mempunyai efek *cariostatic* dan *anticariogenic*. Hal ini berkaitan dengan sifat xylitol yang secara umum tidak dapat difermentasi oleh bakteri kariogenik, kecuali oleh beberapa jenis bakteri *Streptococcus* dan *yeast*. Namun hasil fermentasi tersebut tidak signifikan dan meningkatkan resiko karies. Karena xylitol secara umum tidak difermentasi, maka xylitol tidak akan menghasilkan produksi asam pada plak dan level pH pada mulut akan tetap netral. Hal tersebut disebabkan oleh keberadaan hidrogen extra pada molekulnya.²⁰ Xylitol dalam konsentrasi tinggi diketahui membentuk kompleks dengan Ca^{2+} , berpenetrasi ke email terdemineralisasi dan berinterfensi dengan *dissolved ions transport* dari lesi ke *demineralizing solution*.²¹ Xylitol

dapat bertindak sebagai Ca^{2+} *ion carrier*, menyediakan Ca^{2+} dari larutan remineralisasi untuk lapisan dalam dan tengah. Dengan demikian xylitol meningkatkan remineralisasi dengan menyediakan Ca^{2+} yang dibutuhkan untuk perbaikan kristal.¹⁹ Xylitol mengurangi formasi plak dan *bacterial adherence* (*antimicrobial*), menghambat demineralisasi email (mengurangi produksi asam), dan mempunyai efek inhibisi langsung pada *Streptococcus mutans*.^{19,20}

Beberapa penelitian mengindikasikan bahwa xylitol lebih superior daripada chlorhexidine dan fluoride *varnish* dalam menginterupsi transmisi bakteri kariogenik dari *caregivers* menjadi *infants*.²⁰ Studi xylitol menunjukkan hasil yang bervariasi dalam reduksi insiden karies atau tingkat *Streptococcus mutans*. Studi menyarankan asupan xylitol yang konsisten menghasilkan hasil yang positif dengan kisaran konsumsi 4-10 gram per hari dibagi 3-7 periode, jumlah yang lebih besar tidak menghasilkan reduksi yang lebih besar pada insiden karies dan dapat membawa ke berkurangnya hasil antikariogenik. Konsumsi dengan frekuensi kurang dari tiga kali per hari pada jumlah xylitol optimal tidak menunjukkan efek apapun. Diarrhea dilaporkan pada pasien yang mengkonsumsi 3 – 60 gram xylitol per hari.⁹

Manfaat xylitol:

- Membantu mengurangi perkembangan kavitas dental caries
- Melawan fermentasi bakteri oral
- Mengurangi formasi plak
- Meningkatkan *salivary flow* dalam rangka membantu remineralisasi
- Sebagai komplemen fluoride.

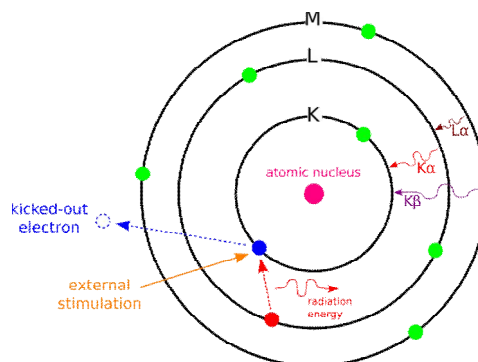
Xylitol sekarang tersedia dalam berbagai bentuk seperti permen karet, mint, tablet yang dapat dikunyah, *lozenges*, pasta gigi, *mouthwashes*, obat batuk, dan produk nutraceutical.⁹

2.4. ENERGY DISPERSIVE X-RAY (EDX)

Analisis EDX (*energy dispersive X-ray*) atau yang juga dikenal sebagai EDS (*energy dispersive spectrometry*) merupakan teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi komposisi elemen dari spesimen. Sistem analisis EDX bekerja berintegrasi dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan tidak dapat beroperasi tanpa *microscope* tersebut.²⁴

Prinsip dasar metode ini adalah analisis energi elektron dari material melalui emisi *Backscattered* (BSD) setelah pemberian sinar elektron. Selama analisis EDX, spesimen ditembak dengan sinar elektron di dalam SEM. Elektron yang ditembakkan bertabrakan dengan elektron dari atom spesimen dan membuat elektron – elektron tersebut terlepas dalam prosesnya. Posisi yang dikosongkan oleh *inner shell electron* yang lepas ditempati oleh *higher-energy electron* dari *outer shell*. Untuk menempati posisi tersebut, *transferring outer electron* harus mengeluarkan energinya. Jumlah energi yang dikeluarkan oleh *transferring electron* bergantung kepada *shell* atau kulit dimana elektron tersebut berasal dan kulit tempat tujuan transfernya.^{12,24,25}

Emisi atau energi yang dikeluarkan kemudian dikumpulkan oleh detektor. Data dari detektor kemudian dianalisis untuk menetapkan elemen berdasarkan emisi energinya, dan kuantitas elemen berdasarkan perbandingan dengan standar dari alat EDX. Dalam penelitian analisis data dilakukan dengan *normalized results* yang berarti jumlah prosentase dari seluruh elemen yang diperiksa adalah 100%. Hasil dari analisis EDX adalah *EDX spectrum*. Setiap puncak tersebut mempunyai kekhasan dengan sebuah atom. Semakin tinggi puncak pada *spectrum*, semakin tinggi konsentrasi elemen tersebut pada spesimen.^{12,24}



Gambar 2. 10. Prinsip Kerja EDX.

Proses perpindahan Elektron dari kulit luar ke kulit dalam

Sumber: <http://www.microanalyst.net>

2.5. X-RAY DIFFRACTION (XRD)

2.5.1. Hubungan Kristal dan X-ray

Material solid dideskripsikan sebagai (1) amorphous: atom tersusun dalam pola acak, kaca adalah material *amorphous*, dan (2) kristalin: atom tersusun dalam pola tetap. Sekitar 95% dari seluruh material padat dapat dideskripsikan sebagai kristalin. Ketika X-ray berinteraksi dengan substansi kristalin (*phase*), didapatkan pola difraksi. A. W. Hull dalam *A New Method of Chemical Analysis* pada tahun 1919 menyatakan bahwa setiap substansi kristalin memberikan sebuah pola; substansi yang sama selalu memberikan pola yang sama; dan pada campuran substansi masing – masing menghasilkan pola yang tidak bergantung pada yang lain. Pola XRD merupakan substansi murni, seperti sidik jari dari substansi. Penggunaan utama dari XRD adalah untuk mengidentifikasi komponen sample dengan prosedur *search/match*.²⁶

Ketika sinar X-ray menabrak sebuah atom, elektron disekeliling atom tersebut akan mulai terombang – ambing (*oscillate*) dengan frekuensi yang sama dengan sinar yang masuk. Pada segala arah, akan terjadi *destructive interference*, yaitu gelombang akan keluar dari phase dan tidak ada resultan energi yang meninggalkan sampel solid. Tetapi tidak demikian dengan atom kristal. Atom pada kristal tersusun dalam

pola yang teratur, dan pada beberapa arah akan terdapat *constructive interference*. Gelombang akan tetap pada *phase* dan terdapat sinar X-ray yang meninggalkan sampel dan menghasilkan pola difraksi.

2.5.2. Prinsip Kerja XRD

Alat yang digunakan untuk melakukan XRD adalah *diffractometer*. Spektrum difraksi yang khas terdiri dari alur intensitas yang terefleksi melawan sudut detektor 2θ atau θ yang bergantung pada konfigurasi goniometer, bagian *diffractometer* yang memastikan posisi anguler objek.

Nilai 2θ untuk *peak* (puncak) bergantung pada panjang gelombang (*wavelength*) dari material anoda X-ray tube. Oleh karenanya adalah biasa untuk mengurangi posisi *peak* ke *interplanar spacing* yang berkorespondensi dengan bidang h , k , dan l yang menyebabkan refleksi. Nilai *d-spacing* hanya bergantung kepada bentuk dari *unit cell* (elemen bervolume terkecil). *d-spacing* didapatkan dari fungsi 2θ dari *Bragg's law* sebagai berikut:

$$d = n\lambda/2 \sin \theta$$

n = urutan <i>diffracted beam</i> λ = panjang gelombang
--

Setelah *d-spacing* sampel didapatkan, selanjutnya dicocokkan dengan *International Center Diffraction Data* (ICDD). Hal ini yang disebut dengan prosedur *search/match*.



Gambar 2. 11. *Diffractometer*.

2.6. KERANGKA TEORI

