

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kesehatan gigi dan mulut merupakan bagian penting yang berpengaruh langsung terhadap kualitas hidup anak. Salah satu masalah kesehatan gigi yang sering dialami anak adalah karies. Karies merupakan penyakit yang ditandai dengan kerusakan jaringan keras gigi akibat aktivitas bakteri di rongga mulut.

Menurut *World Health Organization* (2022), prevalensi karies pada anak di dunia masih sangat tinggi, yaitu mencapai 60–90%. Hampir semua anak di bawah usia 18 tahun pernah mengalami gigi berlubang (Tarahi dkk. 2024). Kondisi ini juga terjadi di Indonesia. Data Survei Kesehatan Indonesia melaporkan bahwa sebagian besar anak Indonesia mengalami karies aktif, terutama pada kelompok usia sekolah dasar, dengan prevalensi karies anak usia 5–9 tahun mencapai 84,8% (Mayasari dkk. 2022; Survei Kesehatan Indonesia 2023). Masalah ini tidak hanya menimbulkan rasa sakit, tetapi juga dapat memengaruhi kemampuan mengunyah, menghambat pertumbuhan gigi permanen, menurunkan status gizi, bahkan berdampak pada kepercayaan diri anak (Putri dkk. 2020).

Terbentuknya karies tidak lepas dari adanya interaksi empat faktor utama, yaitu adanya bakteri penyebab, konsumsi makanan atau minuman manis, serta kondisi permukaan gigi yang memungkinkan kolonisasi bakteri. Dari berbagai bakteri yang hidup di rongga mulut, bakteri *Streptococcus mutans* dikenal sebagai bakteri utama penyebab gigi berlubang (Loesche 1986; Hegde dkk. 2013). Bakteri ini mampu melekat kuat pada permukaan gigi, membentuk lapisan plak lengket,

dan memecah gula sederhana seperti sukrosa menjadi asam. Asam tersebut kemudian menurunkan pH rongga mulut dan menyebabkan lapisan email gigi larut secara perlahan. Jika proses ini berlangsung terus-menerus, gigi akan berlubang. Oleh karena itu, untuk menekan pertumbuhan *Streptococcus mutans* pembatasan konsumsi gula merupakan strategi preventif yang berperan penting dalam mempertahankan kesehatan gigi.

Selain faktor bakteri dan gula, ada kondisi tertentu yang membuat anak lebih rentan terhadap karies, salah satunya penggunaan alat ortodonti cekat. Alat ini dipasang untuk memperbaiki susunan gigi, namun braket dan kawat sering kali menyulitkan proses pembersihan gigi secara optimal. Sisa makanan lebih mudah menumpuk di sekitar braket, sehingga menjadi tempat ideal bagi pertumbuhan bakteri. Penelitian melaporkan bahwa jumlah *Streptococcus mutans* meningkat secara signifikan setelah pemasangan alat ortodonti cekat (Shukla dkk. 2016; Kado dkk. 2020). Hal ini membuat anak-anak yang sedang menjalani perawatan ortodonti lebih berisiko mengalami gigi berlubang dibandingkan anak yang tidak menggunakannya. Oleh sebab itu, diperlukan cara pencegahan tambahan yang lebih mudah diterapkan dalam kehidupan sehari-hari.

Kebiasaan konsumsi makanan dan minuman juga memengaruhi kejadian karies. Salah satu kebiasaan yang sulit dipisahkan dari anak-anak adalah makan permen. Permen digemari karena rasanya manis, warnanya menarik, dan bentuknya beragam. Akan tetapi, permen biasa yang beredar di pasaran umumnya mengandung sukrosa dalam jumlah tinggi. Sukrosa merupakan sumber energi utama bagi *Streptococcus mutans* untuk menghasilkan asam yang merusak gigi. Konsumsi permen secara berulang berhubungan dengan peningkatan indeks karies

pada anak (Oey dkk. 2018). Kondisi ini menjadi tantangan karena bukan hal yang mudah bagi anak-anak menghindari permen.

Salah satu inovasi yang dapat dilakukan adalah membuat permen *gummy* bebas gula. Pada permen jenis ini, sukrosa diganti dengan pemanis pengganti gula yang tidak menyebabkan gigi berlubang. Salah satunya adalah xylitol. Xylitol merupakan gula alkohol yang tidak bisa dipecah oleh *Streptococcus mutans*, sehingga bakteri tersebut tidak dapat menghasilkan asam dari xylitol. Menurut Mayasari dkk. (2022), xylitol terbukti dapat menurunkan jumlah bakteri penyebab karies dengan cara menghambat metabolisme *Streptococcus mutans*. Xylitol tidak dapat difermentasi oleh bakteri tersebut, sehingga produksi asam yang menyebabkan demineralisasi gigi menjadi berkurang. Penggunaan xylitol secara teratur juga menyebabkan penurunan kemampuan bakteri untuk melekat pada permukaan gigi dan membentuk plak. Selain itu, xylitol dapat merangsang sekresi air liur yang berfungsi menetralkan asam, menjaga keseimbangan pH rongga mulut, serta membantu proses remineralisasi email gigi.

Untuk menambah manfaat kesehatan, permen *gummy* dapat diformulasikan dengan bahan alami yang memiliki efek antibakteri. Salah satunya adalah propolis. Propolis merupakan produk lebah yang mengandung resin alami. Resin dikumpulkan dari pucuk daun atau kulit kayu, kemudian dicampur dengan enzim lebah. Kandungan flavonoid, asam fenolik, dan berbagai senyawa aktif di dalamnya telah terbukti memiliki aktivitas antibakteri, antiinflamasi, dan antioksidan. Propolis efektif menghambat berbagai bakteri, termasuk *Streptococcus mutans*, dengan cara merusak membran sel bakteri dan menghambat aktivitas enzimnya (Przybyłek & Karpiński, 2019). Penelitian yang dilakukan oleh Andriani dkk.

(2021) juga menunjukkan bahwa propolis mampu mempercepat penyembuhan luka di rongga mulut serta mengurangi peradangan.

Selain propolis, buah apel juga dapat digunakan sebagai bahan tambahan yang bermanfaat untuk kesehatan gigi. Buah ini mengandung senyawa polifenol seperti kuersetin, katekin, dan asam klorogenat yang memiliki sifat antibakteri. Ekstrak apel terbukti mampu menghambat pertumbuhan *Streptococcus sanguinis* (Pradayani dkk. 2021), sedangkan dalam penelitian yang dilakukan oleh Rabanni dkk. (2014) terbukti adanya zona hambat terhadap *Streptococcus mutans* pada konsentrasi tertentu.

Ekstrak apel bersama propolis dalam permen *gummy* dapat membantu memberikan perlindungan terhadap gigi berlubang. Selain memiliki aktivitas antibakteri, formulasi permen *gummy* propolis dan apel juga memiliki keuntungan lain, yaitu rasa yang disukai anak-anak. Cita rasa yang baik dapat meningkatkan penerimaan produk, sehingga permen ini berpotensi lebih efektif digunakan dalam upaya menjaga kesehatan gigi anak.

Produk pangan yang dikembangkan tidak hanya dituntut mempunyai manfaat bagi kesehatan. Oleh karena itu, pengembangan rasa perlu diperhatikan agar dapat diterima oleh anak-anak sebagai sasaran utama penelitian. Oleh sebab itu, uji organoleptik menjadi hal yang penting dilakukan. Uji organoleptik adalah metode penilaian menggunakan pancaindra untuk menilai kualitas suatu produk, meliputi rasa, aroma, warna, dan tekstur. Melalui uji ini dapat diketahui apakah anak-anak menerima atau menolak produk yang ditawarkan. Apabila rasa, aroma, warna, atau teksturnya tidak sesuai dengan selera, maka produk tidak akan dikonsumsi meskipun memiliki manfaat bagi kesehatan.

Penelitian sebelumnya pernah dilakukan pembuatan permen berbasis propolis. Formulasi *hard candy* dengan penambahan propolis menunjukkan hasil yang menjanjikan. Permen dengan propolis Brazil 5% ditambah madu 3% menghasilkan zona hambat sebesar 5 mm terhadap bakteri mulut, sementara propolis lokal 5% ditambah madu 3% menghasilkan zona hambat 3 mm. Uji jumlah bakteri juga menunjukkan penghambatan tertinggi sebesar 99,67% pada permen dengan propolis Brazil (Ramadhan, 2012). Hasil tersebut menegaskan bahwa propolis dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam produk permen yang bermanfaat bagi kesehatan gigi. Berdasarkan uraian di atas mendorong peneliti untuk melakukan penelitian lanjutan yang bertujuan untuk mengetahui perbedaan daya hambat permen gummy berbasis propolis dengan tambahan ekstrak Apel pada berbagai konsentrasi terhadap pertumbuhan bakteri *Streptococcus mutans* penyebab karies gigi.

Produk ini dipilih karena selain menggunakan xylitol yang aman bagi kesehatan gigi, kandungan bioaktif propolis dan polifenol Apel memiliki potensi antibakteri alami. Pada penelitian sebelumnya, propolis terbukti efektif menghambat pertumbuhan *Streptococcus mutans*, sedangkan Apel memiliki kemampuan antibakteri yang signifikan. Oleh karena itu, formulasi permen gummy ini diharapkan tidak hanya dapat diterima anak-anak sebagai camilan manis, tetapi juga berfungsi sebagai upaya pencegahan karies gigi.

1.2 Rumusan Masalah

1. Apakah permen *gummy* propolis bebas sukrosa yang diformulasi dengan penambahan propolis dan ekstrak apel memiliki daya hambat antibakteri terhadap *Streptococcus mutans*?

2. Bagaimana tingkat penerimaan organoleptik permen *gummy* propolis bebas sukrosa berdasarkan hasil penilaian responden terhadap rasa, aroma, warna, dan keseluruhan?

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Untuk mengetahui daya hambat antibakteri serta penerimaan organoleptik permen *gummy* bebas sukrosa dengan penambahan propolis dan ekstrak apel terhadap *Streptococcus mutans*.

1.3.2 Tujuan Khusus

1. Mengetahui daya hambat antibakteri permen *gummy* bebas sukrosa dengan penambahan propolis dan ekstrak apel terhadap pertumbuhan *Streptococcus mutans* sebagai bakteri utama penyebab karies gigi, khususnya dalam upaya pencegahan karies pada anak.
2. Mengetahui tingkat penerimaan organoleptik permen *gummy* bebas sukrosa dengan penambahan propolis dan ekstrak apel berdasarkan parameter rasa, aroma, warna, dan penerimaan keseluruhan pada anak sebagai kelompok sasaran, sehingga dapat dinilai potensi permen *gummy* sebagai sediaan alternatif yang mudah dikonsumsi dan dapat diterima oleh anak-anak.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Akademik

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap perkembangan ilmu kedokteran gigi, yakni menghasilkan produk permen yang

mengandung propolis dan ekstrak apel dalam formulasi permen *gummy* bebas sukrosa terhadap *Streptococcus mutans*, serta sifat organoleptiknya sebagai sediaan fungsional yang dapat diterima oleh anak-anak.

1.4.2 Manfaat Praktis

1. Memberikan pengetahuan kepada masyarakat mengenai potensi permen *gummy* bebas sukrosa dengan tambahan propolis dan ekstrak apel sebagai alternatif camilan sehat yang tidak hanya disukai anak-anak tetapi juga berpotensi mencegah karies gigi.
2. Menjadi acuan bagi industri pangan dan farmasi dalam mengembangkan produk inovatif berupa permen fungsional yang mengandung bahan antibakteri alami, aman, dan bermanfaat untuk kesehatan gigi dan mulut.
3. Menyediakan wawasan baru bagi tenaga kesehatan gigi dalam memberikan edukasi terkait pilihan produk pendukung kesehatan gigi anak yang aman terhadap rongga mulut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karies Gigi

2.1.1 Definisi Karies Gigi

Menurut Rathee dan Sapra (2023), karies gigi merupakan kondisi kerusakan gigi yang berlangsung secara perlahan akibat aktivitas bakteri penyebab kerusakan di permukaan gigi. Bakteri ini memetabolisme gula menjadi asam, yang kemudian menyebabkan demineralisasi atau pengikisan mineral pada struktur gigi. Karies bersifat multifaktorial, karena dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti struktur gigi, komposisi mikroorganisme dalam rongga mulut, konsumsi gula, kualitas dan kuantitas saliva, serta faktor genetik.

Rathee dan Sapra (2023) menjelaskan bahwa karies gigi terjadi saat plak gigi yang mengandung bakteri kariogenik bertemu dengan karbohidrat sederhana, seperti gula dan makanan manis, yang mudah difermentasi oleh bakteri menjadi asam. Oleh karena itu, karies sering dianggap sebagai penyakit yang dipengaruhi oleh pola makan tinggi gula dan aktivitas bakteri dalam plak gigi, karena kedua faktor tersebut bekerja secara bersamaan dalam proses terjadinya karies



Gambar 2.1 Karies Gigi (Rathee & Sapra, 2023)

2.1.2 Faktor Penyebab Karies Gigi

Menurut Maru dkk. (2023), karies gigi merupakan penyakit yang terjadi akibat berbagai faktor yang saling berinteraksi, mencakup kondisi tubuh seperti struktur gigi dan daya tahan mulut, mikroorganisme, dan faktor lingkungan. Inang mencakup karakteristik struktur gigi, kualitas dan kuantitas saliva, serta faktor genetik dan imunologis yang memengaruhi kerentanan terhadap karies (Chen dkk. 2020). Struktur enamel, laju aliran saliva, serta kandungan protein dan antibodi dalam saliva turut menentukan kemampuan remineralisasi serta resistensi terhadap kolonisasi bakteri.

Secara mikrobiologis, karies gigi dikaitkan dengan pembentukan lapisan lengket mikroorganisme pada permukaan gigi, terutama oleh *Streptococcus mutans*, yang mampu menghasilkan asam dari metabolisme gula dan bertahan dalam lingkungan dengan pH rendah (Spatafora dkk. 2024). Bakteri ini juga memproduksi zat lengket (glukan) yang memperkuat ikatan antarmikroba, sehingga memperbesar potensi kerusakan enamel (Hajishengallis dkk. 2023).

Faktor lingkungan turut memiliki peran signifikan melalui frekuensi konsumsi karbohidrat fermentabel seperti sukrosa. Menurut Chen dkk. (2020), pola makan tinggi gula dapat memicu ketidakseimbangan komunitas mikroba mulut, menyebabkan dominasi mikroorganisme penghasil asam yang terus-menerus menurunkan pH plak. Bila pH turun melewati ambang batas pH kritis (sekitar 5,5), mineral pada enamel mulai terlarut, menyebabkan demineralisasi progresif.

Dengan demikian, karies dapat dipandang sebagai penyakit yang disebabkan oleh pola makan tinggi gula dan pertumbuhan lapisan mikroba merusak di permukaan gigi, karena keberadaannya sangat bergantung pada paparan gula dan

dominasi mikroba patogenik (Chen dkk. 2020; Maru dkk. 2023). Pencegahan karies memerlukan pengendalian asupan gula, peningkatan kebersihan mulut, serta intervensi antimikroba untuk menghambat pembentukan lapisan mikroorganisme tersebut (Cogulu & Saglam 2022).

Penyebab karies gigi melibatkan berbagai faktor, termasuk faktor biologis, kebiasaan, dan lingkungan. Berikut adalah faktor-faktor utama yang berkontribusi pada perkembangan karies (Newbrun, 1989; Fejerskov & Kidd, 2008).

a. Mikroorganisme

Bakteri seperti *Streptococcus mutans* memainkan peran utama dalam inisiasi dan perkembangan karies. Bakteri ini memfermentasi karbohidrat yang dapat difermentasi (terutama sukrosa) untuk menghasilkan asam, yang menurunkan pH pada permukaan gigi dan menyebabkan demineralisasi enamel.

b. Plak gigi

Plak gigi merupakan lapisan kompleks mikroorganisme yang melekat pada permukaan gigi dan berfungsi sebagai tempat berkembangnya bakteri kariogenik. Dalam kondisi ini, bakteri dapat memproduksi asam dalam konsentrasi tinggi yang menyebabkan penurunan pH lokal dan meningkatkan risiko demineralisasi enamel.

c. Karbohidrat yang dapat difermentasi

Konsumsi makanan dan minuman yang kaya akan karbohidrat fermentabel, seperti gula dan pati olahan, menyediakan substrat bagi bakteri kariogenik untuk menghasilkan asam. Frekuensi dan durasi paparan karbohidrat ini memengaruhi tingkat penurunan pH serta potensi demineralisasi.

d. Air liur

Air liur berperan penting dalam melindungi gigi dari karies melalui mekanisme pembersihan partikel makanan, penetralan asam, serta penyediaan ion mineral untuk proses remineralisasi enamel. Laju aliran air liur, kapasitas buffer, dan komposisi mineral menentukan efektivitasnya dalam mencegah karies.

e. Kerentanan gigi

Struktur dan komposisi enamel gigi mempengaruhi kerentanannya terhadap demineralisasi asam. Gigi dengan enamel yang kurang mineralisasi atau cacat enamel lebih rentan terhadap karies.

f. Waktu

Proses karies adalah proses dinamis yang terjadi dari waktu ke waktu. Paparan asam yang berulang menyebabkan demineralisasi enamel, yang, jika tidak diimbangi dengan remineralisasi, dapat menyebabkan pembentukan lesi karies.

2.1.3 Mekanisme Terjadinya Karies Gigi

Karies gigi merupakan proses dinamis yang melibatkan interaksi multifaktorial antara bakteri kariogenik, terutama *Streptococcus mutans*, substrat karbohidrat dari makanan, permukaan gigi, dan waktu. Setelah proses pembersihan, permukaan enamel akan tertutup oleh pelikel, yaitu lapisan tipis protein dan glikoprotein dari air liur yang menjadi tempat perlekatan awal bakteri (Smith & Johnson 2022).

Bakteri yang menempel kemudian membentuk biofilm atau plak gigi, yaitu lapisan mikroorganisme yang melekat erat pada permukaan gigi. Di dalam plak ini,

bakteri memfermentasi karbohidrat menjadi asam organik, seperti asam laktat, yang menurunkan pH lingkungan di sekitar plak hingga mencapai kondisi asam (melewati ambang batas pH kritis sekitar 5,5) (Lee dkk. 2021).

Kondisi asam tersebut menyebabkan pelepasan ion kalsium dan fosfat dari enamel, memicu proses demineralisasi berulang yang melemahkan struktur enamel. Tahap awal kerusakan ini berupa lesi subpermukaan yang belum tampak secara klinis, namun dapat terdeteksi melalui pemeriksaan radiografis. Apabila proses demineralisasi berlangsung terus-menerus tanpa adanya remineralisasi, lesi akan meluas hingga mencapai dentin yang memiliki kekerasan lebih rendah dan rentan terhadap kerusakan lebih lanjut.

Ketika karies menembus hingga ke pulpa, yang mengandung saraf dan pembuluh darah, pasien dapat mengalami nyeri hebat dan infeksi, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kehilangan fungsi gigi (Kim & Park 2023). Dengan demikian, karies gigi merupakan penyakit multifaktorial yang berkembang melalui interaksi kompleks antara faktor biologis dan lingkungan, sehingga memerlukan strategi pencegahan dan penanganan yang tepat untuk mencegah kerusakan permanen pada struktur gigi.

2.1.4 Karies Gigi Pada Anak-Anak

Karies gigi merupakan salah satu penyakit kronis pada rongga mulut yang paling sering dialami oleh anak-anak. Berdasarkan data Riskesdas (2018), sekitar 45,3% anak di Indonesia mengalami karies gigi. Penyebab utamanya adalah akumulasi plak gigi yang terbentuk dari sisa makanan dan koloni bakteri yang memfermentasi karbohidrat menjadi asam (Dewi dkk. 2023).

Plak tersebut mengandung populasi bakteri penyebab karies, terutama *Streptococcus mutans*, yang mampu mengubah gula menjadi asam laktat. Proses ini menurunkan pH di lingkungan mulut hingga menyebabkan demineralisasi enamel gigi (Zhang dkk. 2022). Kemampuan *Streptococcus mutans* untuk bertahan pada kondisi asam dan membentuk biofilm yang kuat menjadikannya faktor utama penyebab karies pada anak (Zhang dkk. 2022; Sari dkk. 2025).

Oleh karena itu, upaya pencegahan karies perlu difokuskan pada pengendalian populasi *Streptococcus mutans*, pengurangan konsumsi sukrosa, serta pemeliharaan kebersihan gigi dan mulut secara teratur (Dewi dkk. 2023).

2.1.5 Faktor Risiko Karies pada Anak

Faktor utama pemicu karies adalah konsumsi gula berlebih, terutama sukrosa yang difermentasi menjadi asam oleh *Streptococcus mutans* (Putri dkk. 2020). Kebersihan mulut yang kurang terjaga juga dapat mempercepat pembentukan plak gigi (Hegde dkk. 2013). Kondisi tertentu, seperti penggunaan alat ortodonti cekat, dapat meningkatkan risiko karies karena keberadaan bracket dan kawat mempermudah retensi plak. Penelitian oleh Kado dkk. (2020) melaporkan adanya peningkatan jumlah *Streptococcus mutans* setelah pemasangan alat ortodonti cekat, sedangkan Shukla dkk. (2016) menemukan tingkat kolonisasi *Streptococcus mutans* yang lebih tinggi pada pasien ortodonti dibandingkan kelompok kontrol.

2.1.6 Pencegahan Karies secara Konvensional

Fluoride tetap menjadi intervensi utama dalam pencegahan karies karena berperan meningkatkan proses remineralisasi sekaligus menurunkan laju demineralisasi enamel (Mayasari dkk. 2022). Namun, penggunaan fluoride secara berlebihan dapat menyebabkan fluorosis, terutama pada anak-anak (Putri dkk. 2020). Sementara itu, klorheksidin sebagai antiseptik terbukti efektif dalam mengurangi pembentukan plak, tetapi penggunaan jangka panjangnya dapat menimbulkan efek samping berupa perubahan rasa dan pewarnaan pada gigi (Deus dkk. 2022). Mengingat keterbatasan tersebut, bahan alami mulai dipertimbangkan sebagai alternatif yang lebih aman dan berpotensi efektif dalam mencegah karies.

2.2 Bakteri *Streptococcus mutans*

2.2.1 Definisi *Streptococcus mutans*

Streptococcus mutans merupakan bakteri Gram positif yang berperan utama dalam proses terjadinya karies gigi. Bakteri ini mampu menciptakan suasana asam di rongga mulut melalui fermentasi karbohidrat, terutama sukrosa. Pada dinding sel *Streptococcus mutans* terdapat dua sistem enzim utama, yaitu glukosiltransferase (GTF) dan fruktosiltransferase (FTF), yang berfungsi mengubah sukrosa menjadi dua jenis polisakarida ekstraseluler, yaitu glukukan dan fruktan. Glukosa dari sukrosa diubah oleh enzim GTF menjadi glukukan, sedangkan fruktosa diubah oleh enzim FTF menjadi fruktan (Bowen & Koo 2011; Lemos dkk. 2019).

Fermentasi sukrosa oleh *Streptococcus mutans* menghasilkan asam laktat yang dapat menurunkan pH saliva hingga di bawah 5,0. Kondisi ini menyebabkan ketidakseimbangan lingkungan mulut dan memicu pelepasan ion kalsium serta fosfat dari kristal hidroksiapatit pada permukaan enamel gigi. Proses tersebut

mengakibatkan demineralisasi yang, bila berlanjut tanpa perbaikan, dapat berkembang menjadi lesi karies (Loesche 1986; Tanzer dkk. 2001; Klein dkk. 2015).

Selain itu, polisakarida yang dihasilkan oleh *Streptococcus mutans* turut berperan penting dalam pembentukan plak yang melekat erat pada permukaan gigi. Lapisan plak ini memperkuat koloni bakteri dan mempertahankan kondisi asam di sekitar gigi, sehingga meningkatkan risiko kerusakan jaringan keras gigi, terutama pada individu dengan kebersihan mulut yang kurang optimal (Krzysciak dkk. 2020; Achmad dkk. 2021).

2.2.2 Klasifikasi *Streptococcus mutans*

Streptococcus mutans pertama kali diidentifikasi sebagai bakteri penyebab utama karies gigi oleh Clarke pada tahun 1924. Bakteri ini termasuk dalam kelompok bakteri Gram positif yang bersifat anaerob fakultatif dan memiliki kemampuan menghasilkan asam dari fermentasi karbohidrat, serta mampu bertahan dalam lingkungan asam, yang menjadikannya sangat kariogenik (Clarke 1924). Menurut (Schoch dkk. 2020), taksonomi *Streptococcus mutans* diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Monera

Divisio : Firmicutes

Class : Bacilli

Order : Lactobacilalles

Family : Streptococcaceae

Genus : *Streptococcus*

Species : *Streptococcus mutans*



Gambar 2.2 *Streptococcus mutans* (Zhou, Yan dkk. 2018)

2.2.3 Morfologi *Streptococcus mutans*

Streptococcus mutans merupakan bakteri berbentuk kokus Gram positif dengan ukuran sel sekitar 0,5–2 μm , bersifat nonmotil, tidak membentuk spora, serta umumnya tersusun berpasangan atau membentuk rantai pendek selama pertumbuhan (Adrianto 2012; Afifudin 2020). Koloni *Streptococcus mutans* pada media agar umumnya berukuran kecil (<2 mm), berbentuk bulat cembung dengan permukaan licin, berwarna putih kekuningan, dan pada media agar darah sering menunjukkan hemolisis alfa berupa zona kehijauan di sekitar koloni (Hasanuddin 2020).

2.2.4 Mekanisme Bakteri *Streptococcus mutans* dalam Terjadinya Karies

Proses perlekatan awal dan kolonisasi *Streptococcus mutans* pada permukaan gigi terjadi melalui mekanisme adesi yang bergantung pada sukrosa terhadap pelikel saliva. Mekanisme ini berperan penting dalam pembentukan ekosistem plak yang mendukung terjadinya karies gigi. Enzim fruktosiltransferase yang diproduksi oleh enzim glukosiltransferase pada *Streptococcus mutans* berkontribusi terhadap pembentukan polimer ekstraseluler. Polimer fruktan yang dihasilkan oleh fruktosiltransferase digunakan untuk penyimpanan nutrisi dan mendukung kolonisasi bakteri (Koo & Klein 2018).

Selain enzim yang bergantung pada sukrosa, *Streptococcus mutans* juga menghasilkan berbagai protein penting seperti *fructosyltransferase* (Ftf), *fructanase* (FruA), *extracellular dextranase* (DexA), serta protein yang berperan dalam akumulasi polisakarida intraseluler (Lemos & Burne 2008). Bakteri ini mampu memfermentasi karbohidrat seperti sukrosa dan glukosa menjadi asam laktat yang berkontribusi terhadap terjadinya karies (Marsh 2010). Proses fermentasi tersebut juga menghasilkan polisakarida intraseluler dari berbagai jenis karbohidrat dan membentuk dekstran yang memperkuat serta meningkatkan daya lekat plak (Huang & Koo 2019). Jika pH plak terus menurun dalam jangka waktu tertentu, permukaan gigi akan mengalami demineralisasi yang memicu proses terbentuknya karies (Koo & Cury 2002).

Faktor virulensi utama *Streptococcus mutans* adalah sebagai berikut:

a. *Acidogenicity*

Kemampuan *Streptococcus mutans* untuk mengangkut dan memetabolisme berbagai karbohidrat menjadi asam organik disebut *acidogenicity*. Proses ini terjadi dalam kondisi anaerobik dan dapat menurunkan pH hingga di bawah 4,0. Bakteri ini memiliki seluruh gen yang diperlukan untuk jalur glikolitik lengkap dalam produksi asam laktat (Klein & Pannuti 2019). Penurunan pH akibat aktivitas ini menciptakan biofilm yang sangat asam, yang mempercepat proses demineralisasi enamel (Lemos & Burne 2008). Selain itu, *Streptococcus mutans* dapat menurunkan pH biofilm melalui metabolisme *intracellular polysaccharide* (IPC), yaitu cadangan karbohidrat dalam bentuk molekul glikogen amilopektin yang dapat dimetabolisme menjadi asam saat kekurangan nutrisi (Marsh 2010).

b. *Aciduricity*

Aciduricity atau toleransi asam adalah kemampuan *Streptococcus mutans* bertahan dalam kondisi pH rendah ($<4,0$) di lingkungan biofilm. Hal ini dimungkinkan karena adanya mekanisme adaptif berupa pompa proton F_0F_1 -ATPase yang bekerja mengeluarkan proton dari dalam sel. Enzim multimerik ini menjaga pH sitoplasma tetap lebih basa dibandingkan lingkungan luar (ΔpH), sehingga memungkinkan bakteri tetap melakukan proses bioenergi dalam kondisi asam (Huang & Koo 2019; Koo & Cury 2002).

c. Adhesi

Proses adhesi *Streptococcus mutans* dimediasi oleh dua mekanisme, yaitu sucrose-independent dan sucrose-dependent adhesion. Mekanisme *sucrose-independent* melibatkan antigen I/II atau Pac, yang difasilitasi oleh protein permukaan P1 (SpaP) sebagai adhesin yang membantu bakteri menempel pada pelikel enamel (Klein & Pannuti 2019). Sementara itu, mekanisme sucrose-dependent dianggap lebih berperan dalam kolonisasi gigi karena mendukung pembentukan biofilm yang stabil dan kariogenik.

2.3 Permen

2.3.1 Definisi Permen

Permen adalah jenis gula-gula (*confectionary*) yang berkalori tinggi yang sangat disukai oleh anak-anak hingga orang dewasa. Mereka disukai karena dapat dimakan kapan saja. Karena banyaknya minat masyarakat terhadap permen tertentu, ada kemungkinan bahwa industri pembuatan permen dapat menjadi peluang bisnis yang menguntungkan. Permen, makanan ringan yang

menyenangkan, dapat memiliki efek buruk, seperti kegemukan, peningkatan gula darah, dan kerusakan gigi terutama pada anak-anak.

Prinsip pembuatan permen dengan memanaskan air tambahan. Dalam pembuatannya, satu hal yang harus diperhatikan adalah waktu memasak adonan, yang menentukan jumlah air yang harus diuapkan untuk mencapai konsistensi permen yang diinginkan. Konsentrasi gula dalam adonan adalah komponen utama yang menentukan konsistensi produk akhir (Charley & Weaver 1998)

Sifat unik permen jeli menjadikannya salah satu jenis kembang gula yang paling disukai. Bentuk, rasa, kekenyalan, dan elastisitas produk adalah ciri-cirinya (Hambali dkk. 2004). Permen jeli adalah jenis makanan semi basah yang dibuat dari bahan pembentuk gel dan sari buah; mereka terlihat jernih dan transparan, dan memiliki tekstur dan kekenyalan tertentu (Harijono dkk. 2001).

2.3.2 Permen *Gummy*

Permen *gummy* atau jelly merupakan produk pangan semi padat yang banyak digemari anak-anak karena memiliki tekstur kenyal dan cita rasa manis. Menurut Nasilnstan dkk. (2020) dalam Tekno Pangan & Agroindustri IPB, permen jelly dibuat dari air atau sari buah yang ditambahkan bahan pembentuk gel seperti gelatin, karagenan, atau agar-agar. Produk ini memiliki tekstur transparan dan kenyal, serta termasuk dalam kategori pangan semi basah yang rentan terhadap kerusakan mikroba.

Untuk memperpanjang masa simpannya, biasanya ditambahkan bahan pengawet seperti natrium propionat. Kombinasi karakteristik sensorik yang disukai anak-anak seperti rasa manis, aroma buah, dan tekstur kenyal, serta kemudahan dalam konsumsi, menjadikan permen gummy berpotensi dikembangkan sebagai

media penghantar zat aktif untuk kesehatan gigi. Beberapa zat aktif yang dapat digunakan antara lain propolis dan ekstrak apel, yang berperan dalam membantu menurunkan risiko karies gigi pada anak.

2.3.3 Komposisi Nilai Gizi Permen

Semua jenis permen terdiri dari sebagian besar sukrosa, yang merupakan gula pasir, dan gula lainnya, seperti glukosa, sukrosa, atau gula alkohol. Hal ini diperlukan untuk memastikan daya simpannya, keawetannya, dan kemanisan. Jadi, dari segi gizi, hampir semua permen terdiri dari kalori. Tubuh hanya mencerna sukrosa dengan efisiensi 98%, sehingga kalori per gram sukrosa adalah 3.95 kkal.

Permen merupakan produk pangan yang dapat menjadi sumber energi, serta mengandung sejumlah mineral, lemak, dan protein. Dalam proses pembuatannya, berbagai senyawa non-sukrosa digunakan untuk mengatur pembentukan kristal gula agar tetap kecil dan seragam, sehingga mencegah terjadinya kristalisasi yang tidak diinginkan. Permen jernih, putih, atau berwarna cerah umumnya dibuat melalui reaksi minimal antar bahan, sedangkan jenis permen seperti karamel dan tofi dihasilkan melalui reaksi kimia kompleks yang memberikan rasa serta aroma yang khas.

Permen jelly, krim, dan permen keras (*hard candy*) harus diformulasikan dengan komposisi akhir yang tidak bersifat higroskopis, sehingga tidak mudah menyerap air selama penyimpanan dan tetap stabil dalam tekstur serta bentuknya. Sebaliknya, jenis permen seperti *fudge* dan *nougat* justru bersifat higroskopis karena adanya kandungan air, namun harus dikendalikan dengan tepat agar tidak menyebabkan perubahan tekstur yang tidak diinginkan selama penyimpanan.

2.3.4 Jenis dan Sifat Permen

Permen dibuat dari bahan utama berupa gula dan air, serta bahan tambahan seperti pewarna, bahan perasa, dan bahan lainnya. Permen dapat dikategorikan menjadi dua kelas atau golongan, yaitu permen berkrystal dan permen non-krystal atau bening.

Tabel 2.1 Jenis-jenis permen yang utama

Sifat Tekstur	Contoh
Permen berkrystal:	
- Kristal besar	Rock candy
- Kristal kecil	Fondant, fudge
Permen non kristal: (amorphous, bening)	
- <i>Hard candies</i>	Sour ball, butterscotch
- <i>Brittles</i>	Peanut brittles
- <i>Chewy candies</i>	Caramel, taffy
- <i>Gummy candies</i>	Marshmallow, jellies, gum drops

Tabel 2.2 Tahap-tahap perubahan bentuk gula (sukrosa) selama proses pemasakan

Tahap	Suhu	Produk
	campuran gula dan air	
<i>Thread</i>	110 – 113	Syrup
<i>Soft ball</i>	113 – 116	Fondant, fudge, penuche
<i>Firm ball</i>	119 – 121	Caramel
<i>Hard ball</i>	121 – 129	Divinity, marshmallow, popcorn ball
<i>Soft crack</i>	132 – 143	Butterscotch, taffy
<i>Hard crack</i>	149 – 154	Brittles, glace

2.3.5 Proses dan Formulasi Produk Permen

Produk permen dapat dibagi menjadi dua jenis utama berdasarkan struktur kristalnya, yaitu permen berkrystal (*crystalline candies*) dan permen tidak berkrystal (*non-crystalline candies*). Permen berkrystal seperti *fondant* dan *fudge* dicirikan oleh teksturnya yang halus dan lunak, sedangkan permen non-kristal seperti karamel dan toffee memiliki tekstur keras atau kenyal karena tidak melalui proses kristalisasi (Koswara, 2009)

Pembentukan kristal pada permen berkrystal dikontrol agar ukuran kristalnya kecil dan tidak terasa kasar di mulut. Sebaliknya, pada permen non-kristal, kristalisasi dihindari dengan penambahan bahan-bahan tertentu dan pemanasan pada suhu tinggi.

a. Proses pembuatan permen berkrystal

Permen berkrystal dibuat dari larutan gula yang dimasak, kemudian didinginkan dan diaduk hingga terbentuk kristal kecil dalam jumlah banyak.

Tahap-tahap utama dalam pembuatan permen berkrystal meliputi:

- 1) Pelarutan gula: gula pasir dilarutkan secara sempurna dengan pengadukan dan pemanasan.
- 2) Pemekatan larutan: campuran dipanaskan hingga suhu 112–116°C untuk mendapatkan larutan lewat jenuh.
- 3) Pembentukan larutan lewat jenuh: campuran didinginkan perlahan hingga $\pm 40^{\circ}\text{C}$ tanpa gangguan untuk mencegah pembentukan kristal kasar.
- 4) Kristalisasi: larutan diaduk hingga terbentuk kristal-kristal halus yang memberikan tekstur lembut pada permen (Koswara 2009).

Contoh produk: *fondant*, krim, *fudge*. Pada produk *fudge*, ditambahkan coklat, susu, dan lemak untuk memperkaya rasa dan juga mencegah kristalisasi besar.

b. Proses pembuatan permen non-kristal

Permen non-kristal seperti karamel dan toffee dibuat dengan memanaskan larutan gula hingga suhu 118–154°C. Kristalisasi dicegah dengan penambahan senyawa seperti glukosa, mentega, susu, dan protein. Permen

jenis ini memiliki kadar air yang sangat rendah (1–2%) sehingga menghasilkan tekstur keras dan awet (Koswara 2009).

- 1) Permen keras (*hard candy*): dipanaskan hingga suhu tinggi dan didinginkan cepat.
- 2) Permen jelly: menggunakan gelatin, pektin, atau agar sebagai pembentuk gel.

2.3.6 Formulasi Dasar Permen

Formulasi permen disesuaikan berdasarkan jenis dan tujuan tekstur akhir. Contohnya, fondant dibuat dari gula pasir dan sirup glukosa dengan rasio 80:20 untuk menghasilkan produk dengan kadar padatan minimal 75% dan tekstur halus. Glukosa digunakan untuk mencegah kristalisasi sukrosa, sementara bahan lain seperti krim tartar atau asam ditambahkan sebagai pengontrol kristalisasi (Koswara 2009).

2.4 Propolis

2.4.1 Definisi Propolis

Propolis, berasal dari bahasa Yunani “*pro*” (pertahanan) dan “*polis*” (kota), berarti “pertahanan sarang lebah”. Bahan ini adalah resin yang dikumpulkan lebah madu dari kuncup dan daun tumbuhan, lalu dicampur dengan enzim dari kelenjar mandibula tanpa mengubah komposisinya (Anggita dkk. 2019; Zulhendria 2021). Fungsi utama propolis bagi lebah adalah memperkuat dan melindungi sarang, menutup celah dan retakan, serta menjaga kebersihan dan kesterilan sarang termasuk sel tempat ratu bertelur. Selain itu, propolis telah lama digunakan dalam pengobatan tradisional sebagai bio-kosmetik dan suplemen kesehatan.

Propolis juga memiliki beragam aktivitas biologis, antara lain antibakteri terhadap bakteri Gram positif dan negatif, antiinflamasi, antijamur terhadap dermatofita dan *Candida*, kemampuan meningkatkan regenerasi jaringan tulang dan kartilago, serta sifat antioksidan yang menangkap radikal bebas (Anggita dkk. 2019).

2.4.2 Komposisi Propolis

Komposisi kimia propolis sangat bervariasi tergantung pada sumber tumbuhan yang dikunjungi oleh lebah. Misalnya, propolis dari pohon poplar (*Populus spp.*) kaya akan senyawa seperti *pinocembrin*, *pinobanksin*, *chrysin*, *galangin*, *caffeic acid phenethyl ester* (CAPE), dan asam ferulat (Kujumgiev dkk. 1999; Bankova dkk. 2014).

Secara umum, propolis kasar terdiri dari sekitar 50% resin, 30% lilin lebah, 10% minyak atsiri, 5% serbuk sari, dan 5% senyawa organik lainnya, termasuk asam amino, vitamin, dan mineral. Propolis mengandung lebih dari 300 senyawa kimia, dengan flavonoid dan ester fenolik sebagai komponen utama. Flavonoid, seperti *pinocembrin*, *chrysin*, *galangin*, *quercetin*, *kaempferol*, dan *apigenin*, memberikan sifat antioksidan, antiinflamasi, dan antimikroba pada propolis. Selain itu, propolis juga mengandung berbagai asam organik, mineral seperti kalsium, magnesium, besi, dan seng, serta vitamin B1, B2, B6, C, dan E, menjadikannya sumber alami yang potensial untuk mendukung kesehatan dan sistem kekebalan tubuh (Bankova dkk. 2014).

2.4.3 Manfaat Propolis

a. Manfaat umum propolis

Propolis telah lama dikenal sebagai bahan alam yang baik untuk menjaga kesehatan dan mengobati berbagai penyakit. Industri makanan juga menggunakannya untuk mencegah dan mengobati penyakit. Propolis memiliki manfaat kesehatan seperti mengurangi pembengkakan, rasa sakit, dan penyembuhan luka. Selain itu, propolis memiliki efek seperti: antibakteri, virus, jamur, antiseptik, antibiotik, antioksidan, dan antiinflamasi.

b. Keuntungan dari penggunaan propolis dalam kedokteran gigi:

1) Karies gigi

Streptococcus mutans merupakan bakteri kariogenik utama penyebab karies gigi, diikuti oleh spesies *Lactobacillus*. Kemampuan *Streptococcus mutans* untuk beradherensi, menghasilkan asam, serta bertahan pada kondisi pH rendah menjadikannya sangat patogen terhadap jaringan gigi. Menurut Ikeno dkk. (2013), propolis memiliki efek multidireksional terhadap flora bakteri rongga mulut dengan membatasi jumlah mikroorganisme, serta menurunkan sintesis glukosa tidak larut dan aktivitas enzim *glukosiltransferase* (Gtf). Sementara itu, Duarte dkk. (2013) melaporkan bahwa kandungan asam lemak tinggi dalam propolis memberikan efek kariostatik dengan menurunkan produksi asam oleh *Streptococcus mutans* dan mengurangi toleransinya terhadap lingkungan asam. Selain itu, propolis juga

dapat menghambat pembentukan endapan kalsium fosfat, sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan aktif pada produk seperti obat kumur atau pasta gigi dalam pencegahan karies gigi.

2) Penyembuhan luka

Luka setelah pencabutan gigi atau luka ekstraksi adalah topik penyembuhan luka ini. Hasil penelitian oleh Iswanto dkk. (2016.) menunjukkan bahwa penerapan propolis secara topikal dapat mempercepat penyembuhan luka pasca pencabutan gigi desidui yang bertahan selama pengamatan. Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa propolis dapat mengurangi fase inflamasi dan mempercepat pembentukan jaringan granulasi dan epitelisasi ketika diterapkan pada luka di rongga mulut. Karena mengandung flavonoid dan fenol, propolis memiliki sifat antibakteri, antiinflamasi, dan penyembuhan luka.

3) Stomatitis Aphthosa Rekuren

Propolis telah terbukti efektif dalam pengobatan rekuren stomatitis aphthous karena mengurangi frekuensi kekambuhan penyakit dan meningkatkan kualitas hidup pasien. Stomatitis yang disebabkan oleh kemoterapi dapat diobati dengan obat berbasis lebah atau propolis karena sifat antioksidannya (Alves dkk. 2013)

4) Halitosis

Halitosis sering dikaitkan dengan kebersihan rongga mulut. Bau mulut adalah hasil dari kerusakan mikroorganisme di mulut bias. Bakteri merah kompleks seperti *Prevotella intermedia*,

Porphyromonas endodontalis, dan *Eubacterium* adalah contoh mikroba yang menyebabkan halitosis. Sterer dkk. (2018.) melakukan penelitian tentang efek mencuci mulut propolis pada orang yang menderita halitosis. Penelitian menunjukkan bahwa ada penurunan jumlah komponen sulfur yang mudah menguap di udara yang dihembuskan setelah penggunaan propolis. Penelitian ini menunjukkan bahwa propolis dapat membantu mengurangi bau mulut atau halitosis.

5) Perawatan Pulpa Gigi

Capping pulp langsung dengan propolis menunjukkan hasil yang lebih baik daripada produk kalsium hidroksida. Ini tidak hanya mencegah reaksi inflamasi dan infeksi yang disebabkan oleh nekrosis pulpa mikroba, tetapi juga mendorong pembentukan tubular dentin melalui stimulasi sel-sel induk. Adanya flavonoid dalam ekstrak propolis mengontrol efek stimulan pada pulpa gigi.

6) Efek *Candida albicans* stomatitis

Pasien pengguna gigi tiruan lepasan sering mengalami stomatitis akibat infeksi *Candida albicans*. Kondisi ini biasanya terjadi karena kebersihan rongga mulut yang kurang baik dan penggunaan prosthesis dalam waktu lama. Propolis memiliki aktivitas antijamur terhadap *Candida albicans* dan berbagai spesies *Candida* lainnya, serta digunakan dalam pengobatan radang akut maupun kronis pada saluran pernapasan atas seperti sinusitis, laringitis, tonsilitis, hingga lesi akibat radiasi kanker. Kandungan

antioksidan dan antimikroba dalam propolis juga mendukung pencegahan penyakit degeneratif dan mempertahankan efek antikanker (Guler dkk. 2005).

2.4.4 Propolis Sebagai Antibakteri

Antibakteri adalah senyawa yang dibuat oleh mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk menghentikan atau membunuh proses kehidupan bakteri. Secara umum, propolis mengandung senyawa yang memiliki sifat antibakteri, termasuk yang berikut:

a. Flavonoid

Flavonoid dalam propolis, seperti pinocembrin, chrysin, galangin, dan quercetin, mampu menghambat pertumbuhan mikroba dengan cara mengikat protein bakteri sehingga terjadi denaturasi dan sintesis protein terganggu. Flavonoid juga bertindak sebagai penangkap radikal bebas, melindungi membran sel dari kerusakan oksidatif, serta memiliki sifat antibakteri, antijamur, antioksidan, dan antiinflamasi (Sforzin dkk. 2007).

b. Tanin

Tanin, senyawa polifenol, dapat mengikat membran protein bakteri, mengganggu metabolisme sel, merusak struktur membran, dan mengubah permeabilitas sel. Hal ini mengakibatkan inaktivitas enzim seluler dan menghambat pertumbuhan bakteri, sehingga memberikan aktivitas antibakteri yang efektif (Cushnie & Lamb 2011).

Kombinasi flavonoid dan tanin dalam propolis memberikan efek antibakteri sinergis, menjadikannya bahan alami potensial untuk pencegahan dan pengobatan infeksi bakteri.

2.5 Buah Apel

2.5.1 Definisi Buah Apel

Apel (*Malus domestica*) merupakan tanaman buah tahunan berasal dari Asia Barat yang beriklim sub tropis. Apel dapat tumbuh di Indonesia setelah tanaman apel ini beradaptasi dengan iklim di Indonesia, yaitu iklim tropis (Baskara, 2010). Penanaman apel di Indonesia dimulai sejak tahun 1934 dan berkembang pesat pada tahun 1960 hingga sekarang. Apel di Indonesia dapat tumbuh dan berbuah baik di dataran tinggi, khususnya di Malang (Batu dan Poncokusumo) dan Pasuruan (Nongkojajar), Jawa timur (Fajri, 2011). Tumbuhan apel dikategorikan sebagai salah satu anggota keluarga mawar-mawaran dan mempunyai tinggi batang pohon dapat mencapai 7-10 meter.

2.5.2 Klasifikasi Apel

Regnum : Plantae

Divisi : Magnoliophyta

Kelas : Magnoliopsida

Ordo : Rosales

Famili : Rosaceace

Genus : *Malus*

Spesies : *Malus domestica*



Gambar 2.3 Apel (Sufrida 2006)

2.5.3 Kandungan Gizi Buah Apel

Apel merupakan salah satu varietas lokal asal Malang yang dikenal memiliki tekstur lebih keras dibanding jenis apel lain dengan kandungan pektin yang relatif tinggi sekitar 1,28% (Putri dkk. 2017). Buah ini juga kaya akan senyawa bioaktif termasuk vitamin C dan kuersetin yang berperan sebagai antioksidan alami (Zaddana dkk. 2020). Selain itu Apel mengandung flavonoid fruktosa serta serat pangan yang cukup tinggi dengan kadar serat sekitar 2,1 g per 100 g buah. Bahkan ketika kulitnya dikupas kandungan seratnya tetap terjaga yaitu sekitar 1,9 g (Dalmartha dkk. 2013).

Dari segi kandungan gizi Apel didominasi oleh vitamin yang meliputi vitamin A B1 B2 B3 B5 B6 B9 dan C (Dalmartha dkk. 2013). Beberapa komponen aktif dalam buah ini seperti pektin flavonoid niasin dan vitamin C juga dilaporkan memiliki potensi untuk menurunkan kadar kolesterol dalam darah (Sa'adah & Estiasih 2015).

Tabel 2.3 Kandungan gizi dalam 100 g buah apel (Sa'adah & Estiasih 2015).

Kandungan Gizi	Jumlah
Total gula	8,29 g
Kadar asam	0,32 g
Glukosa	3,72 g
Fruktosa	4,5 g
Sukrosa	4,54 g
Gula/asam	42,56 g
Ph	4,62
Vitamin C	6,60 mg
Gula pereduksi	6,96 g
Aktivitas antioksidan	6,53 g
Total padatan terlarut	17,10° Brix

2.5.4 Mekanisme Antibakteri Apel

Bakteri yang menjadi penyebab utama karies gigi adalah *Streptococcus mutans*, yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan enzim glukosiltransferase

atau GTF. Enzim ini berfungsi menghidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa, sehingga mendukung pembentukan matriks biofilm yang berperan penting dalam proses terjadinya karies. Apel mengandung senyawa bioaktif, khususnya polifenol dan flavonoid, yang diketahui mampu menghambat aktivitas bakteri tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh Rabbani dkk. (2014) menunjukkan bahwa ekstrak Apel memiliki aktivitas antibakteri yang signifikan terhadap *Streptococcus mutans* pada berbagai konsentrasi. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Nilawati dkk (2022) yang menyatakan bahwa ekstrak Apel efektif digunakan sebagai bahan aktif dalam sediaan gel pasta gigi untuk menghambat pertumbuhan *Streptococcus mutans*.

Secara mekanistik, flavonoid dalam Apel, seperti kuersetin, katekin, dan phloretin, bekerja melalui beberapa jalur. Flavonoid dapat mengganggu integritas membran sel bakteri, meningkatkan permeabilitas membran, serta menyebabkan kebocoran ion dan protein intraseluler sehingga metabolisme bakteri terganggu. Selain itu, polifenol dalam apel juga mampu mengikat protein enzimatis, termasuk glukosiltransferase, sehingga menghambat sintesis polisakarida ekstraseluler yang memiliki peran penting dalam pembentukan biofilm. Mekanisme lain yang mungkin terlibat adalah kemampuan flavonoid untuk menginterferensi replikasi DNA melalui interaksi dengan enzim DNA gyrase, yang pada akhirnya menekan pertumbuhan koloni bakteri.

Dengan demikian, kandungan bioaktif dalam Apel memberikan potensi yang besar sebagai agen antibakteri alami terhadap *Streptococcus mutans*. Senyawa-senyawa tersebut dapat bekerja melalui penghambatan pembentukan biofilm sekaligus mengganggu metabolisme sel bakteri secara langsung, sehingga memberikan perlindungan gigi terhadap proses karies secara efektif.