

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Karies gigi merupakan salah satu penyakit mulut yang paling umum terjadi di seluruh dunia, termasuk di Indonesia, dan masih menjadi masalah kesehatan masyarakat yang serius. Karies gigi sangat dipengaruhi oleh faktor perilaku dan keterbatasan akses terhadap pelayanan kesehatan gigi juga turut memperburuk keadaan (Yulyananda Firasty dkk. 2023). Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) 2018, menunjukkan bahwa karies gigi di Indonesia mencapai 88,80%, yang berarti sebagian besar masyarakat mengalami kerusakan gigi. Karies gigi umumnya dimulai pada area yang sulit dibersihkan, seperti fissure oklusal, pit, dan permukaan interproksimal (antar gigi). Permukaan fissure dan pit pada gigi molar maupun premolar memiliki morfologi yang relatif dalam dan sempit. Struktur ini menciptakan area retentif yang memudahkan akumulasi sisa makanan dan plak, sehingga meningkatkan risiko terjadinya karies (Sreedvi dkk. 2025).

Pemeriksaan klinis untuk mendeteksi karies gigi umumnya melibatkan evaluasi visual permukaan gigi yang teliti, ditambah dengan palpasi ringan menggunakan alat seperti sonde atau *explorer*. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan warna, tekstur, dan kontur pada jaringan keras gigi yang menjadi indikasi awal terjadinya demineralisasi. Pemeriksaan dengan sonde sebaiknya dilakukan dengan tekanan minimal untuk menghindari kemungkinan merusak email yang sudah mengalami demineralisasi tetapi

belum terbentuk kavitas. Deteksi lesi non-kavitas (lesi awal) sangat penting dalam upaya pencegahan karies yang lebih lanjut (Abdelaziz 2023). Pemeriksaan klinis yang teliti sangat penting untuk mendeteksi karies gigi pada tahap awal, sebelum terbentuknya kavitas yang lebih dalam.

Karies yang tidak dapat diamati secara klinis memerlukan pemeriksaan radiografi sebagai metode penunjang yang akurat dalam proses diagnosis. Radiografi ini memungkinkan identifikasi lesi karies yang tidak terlihat secara klinis. Struktur internal gigi secara radiografi dapat divisualisasikan, membantu dalam menilai kedalaman dan luas penyebaran lesi. Pentingnya penggunaan sistem klasifikasi seperti *International Caries Detection and Assessment System (ICDAS)* dalam pemeriksaan klinis mengenai tingkat keparahan lesi (Ghodasra dan Brizuela, 2025). Lesi karies didapatkan gambaran radiolusen yang menandakan terjadinya proses demineralisasi gigi oleh karies. Kehilangan mineral sebesar 40% pada gigi dapat terdeteksi dengan mudah melalui radiografi berdasarkan gambaran radiolusensi yang ditunjukkan (Oktavian dkk. 2023).

Metode pencitraan radiografi berdasarkan pengolahan citra dapat dibedakan menjadi dua, yaitu radiografi konvensional dan radiografi digital. Radiografi digital merupakan inovasi terkini yang mampu memberikan detail visual yang lebih baik dalam mendukung diagnosis klinis. Radiografi digital menggantikan film konvensional dengan penerima gambar, terdapat dua jenis sistem yaitu *charge-coupled device (CCD)* dan *storage phosphor (SP)*. Kedua jenis reseptor menghasilkan gambar yang dapat digunakan untuk diagnostik, tetapi masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan yang berbeda yang dapat membuat

satu atau yang lain lebih cocok untuk situasi tertentu (Hatta dkk. 2018). Radiografi konvensional masih menggunakan film intraoral yang diletakkan di dalam rongga mulut pasien. Proses pembacaan hasil gambar pada metode ini memerlukan tahapan pemrosesan manual, termasuk penggunaan cairan *developer* dan *fixer*, yang dapat memengaruhi kualitas hasil jika tidak dilakukan secara optimal (Bella dkk. 2020).

Pengambilan gambar radiografi periapikal dapat dilakukan melalui dua metode, yaitu teknik paralel dan teknik *bisecting*. Teknik paralel dikenal memiliki hasil citra yang lebih akurat, namun penerapannya tidak selalu memungkinkan karena keterbatasan posisi film dan ketidaknyamanan pasien. Sementara itu, teknik radiografi bitewing digunakan untuk mengevaluasi area interproksimal, hubungan antara rahang atas dan bawah, mendeteksi adanya karies, memantau perkembangan karies, menilai hasil restorasi, serta mengamati kondisi jaringan periodontal. (Rahmadani dkk. 2024).

Seiring dengan kemajuan teknologi di bidang kedokteran gigi, deteksi karies secara dini dan akurat menjadi aspek yang semakin penting. Diagnosis yang tepat tidak hanya mencegah tindakan restoratif yang invasif, tetapi juga mendukung penerapan perawatan *non-operatif* yang lebih konservatif. Radiografi memiliki peran penting dalam mendeteksi lesi yang tidak tampak secara klinis serta mendukung perencanaan terapi yang tepat. Efektivitas radiografi sangat bergantung pada kualitas citra yang dihasilkan serta ketepatan interpretasi oleh klinisi (Awaru & Nugroho, 2021).

Penelitian terdahulu telah dilakukan oleh Hatta dkk. (2018), yang meneliti perbandingan karakteristik umum antara radiografi konvensional dan digital

dalam praktik kedokteran gigi. Fokus kajian terletak pada aspek teknis, efisiensi, serta kenyamanan penggunaannya. Sementara itu, penelitian oleh Irma Ade Armaningsih (2015), mengkaji perbandingan antara radiograf konvensional dan digital dalam mendeteksi karies. Desain penelitian menggunakan pendekatan diagnostik, di mana gambar dari kedua jenis radiograf dievaluasi oleh observer. Penilaian hanya berdasarkan pembacaan visual tanpa analisis statistik mendalam. Meskipun kedua penelitian tersebut memberikan kontribusi penting, keduanya belum secara spesifik mengevaluasi dan membandingkan tingkat akurasi diagnostik terhadap karies oklusal berdasarkan parameter kuantitatif yaitu sensitivitas, spesifisitas, akurasi, serta nilai prediktif. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi relevan untuk dilakukan guna menghadirkan data yang lebih mendalam dan terfokus, sehingga dapat memperkuat dasar pengambilan keputusan klinis yang lebih tepat dalam bidang kedokteran gigi.

Berdasarkan uraian di atas, penulis terdorong untuk melakukan penelitian mengenai tingkat keakuratan dalam mendiagnosis karies oklusal menggunakan radiografi konvensional dan digital. Penulis ingin meneliti topik ini karena karies oklusal sering sulit dideteksi secara klinis, terutama pada tahap awal (*initial caries lesion*) sehingga memerlukan metode radiografi yang akurat untuk menunjang pengambilan keputusan perawatan. Di tengah meningkatnya penggunaan teknologi digital, diperlukan data ilmiah yang membandingkan efektivitas diagnostik kedua metode tersebut. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi sebagai dasar dalam praktik klinis kedokteran gigi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, dapat dirumuskan suatu masalah yaitu, Bagaimana tingkat akurasi radiograf konvensional dan radiograf digital dengan teknik periapikal paralel dalam mendiagnosis karies oklusal, apabila ditinjau dari parameter diagnostik?

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Tujuan umum dari penelitian ini untuk mengetahui tingkat keakuratan diagnosis karies oklusal dengan menggunakan radiografi konvensional dan radiografi digital, dengan pendekatan teknik periapikal paralel, berdasarkan parameter diagnostik.

1.3.2 Tujuan Khusus

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah agar dapat dilakukan analisis terhadap tingkat akurasi dalam mendiagnosis karies oklusal menggunakan radiografi konvensional dan radiografi digital dengan teknik periapikal paralel, yang ditinjau berdasarkan parameter diagnostik.

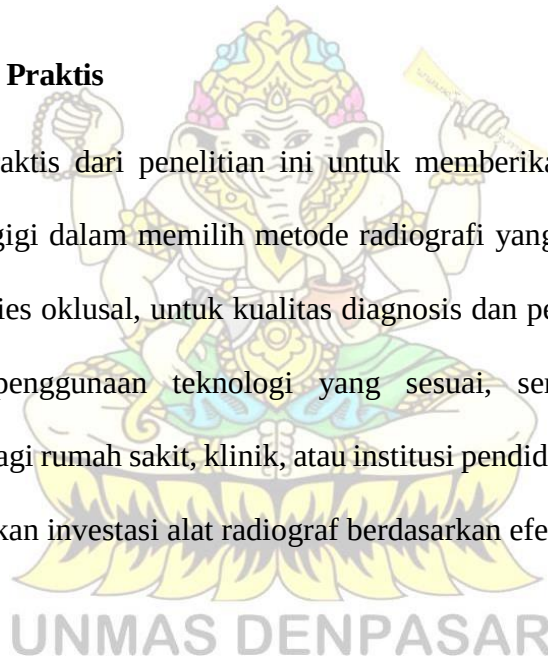
1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat Akademik

Manfaat akademik dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang radiologi kedokteran gigi. Penelitian ini juga dapat menjadi referensi ilmiah bagi mahasiswa, dosen, dan peneliti yang berkepentingan dalam mengkaji perbandingan efektivitas radiografi konvensional dan digital dalam mendeteksi karies oklusal.

1.4.2 Manfaat Praktis

Manfaat praktis dari penelitian ini untuk memberikan informasi ilmiah kepada dokter gigi dalam memilih metode radiografi yang lebih akurat untuk deteksi dini karies oklusal, untuk kualitas diagnosis dan pelayanan kedokteran gigi melalui penggunaan teknologi yang sesuai, serta menjadi bahan pertimbangan bagi rumah sakit, klinik, atau institusi pendidikan kedokteran gigi dalam menentukan investasi alat radiograf berdasarkan efektivitas klinisnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radiografi Kedokteran Gigi

2.1.1 Sejarah Radiografi Kedokteran Gigi

Sinar-x pertama kali ditemukan oleh Wilhem C. Roentgen, seorang professor fisika dari Jerman pada tahun 1895 saat melihat fluoresensi yang berasal dari kristal barium platinosianida, sehingga ia dianugerahi hadiah Nobel pada tahun 1901. Otto Walkhoff, seorang dokter gigi berkebangsaan Jerman, adalah orang pertama yang menggunakan sinar-x pada foto gigi premolar rahang bawah pada akhir Desember 1895 dan awal Januari 1896. Ia mencoba menggunakan teknik bitewing sederhana untuk melakukan radiografi pertamanya. Ia memasukkan lempeng kaca fotografi yang dibungkus dengan kertas hitam ke dalam mulutnya sendiri dan kemudian diberi paparan sinar radiografi selama 25 menit (White dan Pharoah 2014).



Gambar 2.1 Wilhelm Conrad Röntgen
(White dan Pharoah 2014)

Perkembangan alat radiografi di bidang kedokteran gigi dimulai sejak tahun 1913, ketika William D. Coolidge menyempurnakan penemuan sinar-x oleh Wilhelm Roentgen. Coolidge memodifikasi tabung yang digunakan dengan membuat sebuah tabung katoda sinar-x yang dilengkapi kawat pijar. Tabung tersebut merupakan tabung vakum yang di dalamnya hanya terdapat dua elektroda, yaitu anoda dan katoda. Tabung jenis ini disebut *hot cathode tube* dan merupakan tabung yang dipergunakan untuk pesawat rontgen konvensional pada saat ini. Pada tahun 1923, dimunculkan miniatur yang lebih kecil dari versi yang pertama. Radiografi kemudian berkembang hingga tahun 1966, yang ditandai dengan munculnya sinar-x untuk intraoral dengan *long beam* yang digunakan sampai saat ini. Selanjutnya pada tahun 1987, Francis Mouyen memperkenalkan radiografi digital (Hatta dan Yunus 2018).

2.1.2 Definisi Radiografi

Radiografi merupakan alat penunjang diagnostik yang esensial dalam bidang kedokteran gigi, karena berfungsi penting dalam mendukung pemeriksaan klinis, khususnya dalam mendeteksi struktur yang tidak dapat diamati secara langsung. Pemeriksaan visual saja sering kali tidak cukup untuk mendeteksi kelainan yang tersembunyi di balik jaringan keras seperti gigi dan tulang rahang. Oleh karena itu, radiografi hadir sebagai metode pencitraan yang memberikan informasi tambahan yang mendetail mengenai keadaan jaringan keras dan lunak di dalam rongga mulut. Teknologi ini sangat membantu dalam menyikapi kondisi yang tidak terjangkau secara kasat mata, seperti lesi karies yang tersembunyi di permukaan proksimal gigi, infeksi pada akar gigi, kelainan

perkembangan, serta perubahan patologis pada tulang alveolar (Whaites dan Drage 2020; Mozzo dkk 2009).

Radiografi memungkinkan dokter gigi melakukan deteksi dini terhadap berbagai penyakit atau kelainan, sehingga diagnosis dapat ditegakkan dengan lebih akurat dan perencanaan perawatan dapat dilakukan secara lebih tepat sasaran. Radiografi juga memiliki peran penting dalam evaluasi hasil perawatan yang telah dilakukan, seperti menilai keberhasilan terapi saluran akar atau tindakan pencabutan gigi (White dan Pharoah 2014). Radiografi turut berkontribusi dalam berbagai aspek lain di bidang kedokteran gigi, termasuk dalam kegiatan edukatif, penelitian ilmiah, serta evaluasi klinis. Radiografi menjadi komponen esensial dalam praktik kedokteran gigi, baik dalam bentuk konvensional maupun digital melalui berbagai keunggulan tersebut. Seiring berkembangnya teknologi, radiografi terus mengalami inovasi untuk menghasilkan citra yang lebih akurat, efisien, dan aman bagi pasien (Rahardjo 2012; Rusyanti dkk 2022).

2.2 Teknik Pencitraan Radiografi Digital

2.2.1 Radiografi Digital

Radiografi digital merupakan salah satu inovasi penting dalam bidang pencitraan kedokteran gigi yang telah menggantikan sistem film konvensional dengan sensor berbasis teknologi digital. Sistem ini memungkinkan gambar diperoleh secara langsung, dapat dimodifikasi melalui fitur manipulasi citra seperti zoom, kontras, dan kecerahan, serta disimpan dalam bentuk data elektronik (Sabarudin dan Tiau 2021; Sanjeev dkk 2023). Keunggulan lain adalah paparan radiasi yang lebih rendah dibandingkan sistem analog sehingga

lebih aman bagi pasien (Hidayat dkk 2022). Proses terbentuknya radiografi digital melibatkan interaksi sinar-x dengan piksel sensor elektronik, konversi data analog menjadi sinyal digital oleh komputer, hingga akhirnya ditampilkan sebagai citra pada monitor (Costa dkk 2023; Lee dkk 2024).

2.2.2 Prinsip Kerja Radiografi Digital

Gambar digital terdiri dari piksel, yaitu elemen kecil yang sangat peka terhadap cahaya. Setiap piksel menghasilkan gradasi abu-abu berdasarkan paparan radiasi, lalu tersusun dalam baris dan kolom pada sensor digital, berbeda dengan kristal perak halida pada film konvensional yang terdistribusi secara acak. Sensor berfungsi sebagai detektor radiasi dan tidak langsung menghasilkan citra, melainkan menampilkannya pada layar komputer (Kuramoto dkk 2020). Sinyal yang ditangkap sensor awalnya berupa sinyal analog, kemudian dikirim ke komputer dan direkam dalam interval tertentu. Output dari masing-masing piksel dikuantifikasi dan dikonversi menjadi angka digital, biasanya dalam rentang 0 hingga 256, di mana 0 mewakili warna hitam dan 256 mewakili warna putih, sedangkan nilai di antaranya merepresentasikan gradasi abu-abu (Costa dkk 2023).

Tingkat gradasi abu-abu ini menentukan resolusi kontras, sedangkan ukuran piksel menentukan resolusi spasial. Kedua faktor tersebut berkontribusi terhadap kualitas keseluruhan citra radiografi. Resolusi citra biasanya dinyatakan dalam satuan line pairs per millimeter (LP/mm), di mana film konvensional umumnya mencapai sekitar 20 LP/mm, sedangkan radiografi digital berkisar 7–10 LP/mm (Kuramoto dkk 2020). Meskipun resolusinya lebih

rendah, beberapa penelitian menunjukkan bahwa hal ini tidak berdampak signifikan terhadap akurasi diagnosis klinis (Wenzel dkk 2022).

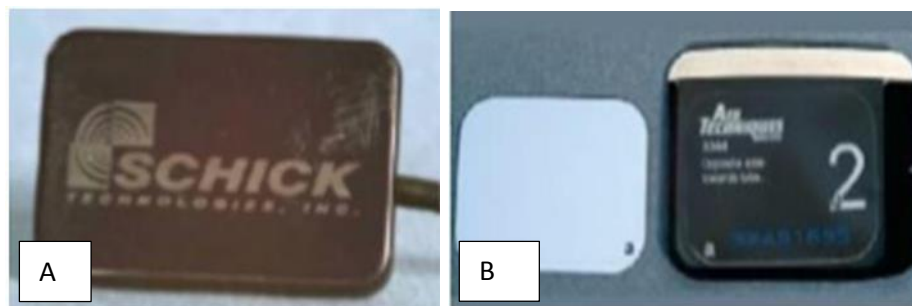
2.2.3 Komponen Pendukung Radiografi Digital

a) Sumber Sinar x

Tabung sinar-x merupakan komponen utama yang menghasilkan radiasi dalam sistem radiografi. Proses pembentukan sinar-x terjadi ketika elektron berenergi tinggi bertumbukan dengan target logam, biasanya tungsten, sehingga memancarkan radiasi. Besar tegangan (kVp) dan kuat arus (mA) pada tabung sinar-x dapat disesuaikan untuk mengontrol intensitas serta energi radiasi yang dipancarkan. Pengaturan parameter ini sangat menentukan kualitas citra diagnostik sekaligus jumlah paparan radiasi yang diterima pasien (Sharma dkk 2022).

b) Reseptor Gambar

Penggunaan film pada radiografi digital digantikan oleh penerima gambar, pada radiografi digital menggunakan dua reseptor yaitu *Storage Phosphor* (SP) dan juga *Charge Coupled Device* (CCD). Masing-masing reseptor ini memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing dalam menghasilkan gambar yang digunakan untuk menunjang diagnosa pada setiap kasus (Putri dan Yunus 2021).



Gambar 2.2(A) Reseptor Sistem Charge-Coupled Device & (B) PSP Storage Phosphor (Putri dan Yunus 2021)

2.2.4 Komputer dan Monitor

Sistem radiografi digital mengandalkan perangkat komputer dan monitor yang memegang peranan penting dalam proses penayangan, pengolahan, dan penyimpanan citra radiografis. Setelah citra ditangkap oleh sensor seperti CCD(*Charge-Coupled Device*), atau PSP(*Storage Phosphor*), data tersebut kemudian diproses oleh komputer menggunakan perangkat lunak khusus. Melalui software ini, operator dapat melakukan penyesuaian terhadap parameter visual seperti kecerahan, kontras, dan ketajaman gambar untuk memperoleh tampilan yang lebih informatif dan mudah diinterpretasikan. Citra digital juga dapat dibagikan atau diakses melalui perangkat lain selama perangkat lunak yang kompatibel tersedia. Meskipun monitor standar dapat digunakan, penggunaan monitor medis dengan resolusi tinggi yang telah disesuaikan dengan standar tampilan gambar diagnostik akan menghasilkan kualitas visual yang lebih optimal, sehingga memudahkan klinisi dalam mengamati detail-detail kecil yang mungkin tidak tampak pada monitor biasa (Nugroho dkk 2022).

2.2.5 Perlindungan Sensor Digital terhadap Risiko Infeksi

Gambar radiografi akan menggambarkan area yang secara proporsional lebih kecil daripada film konvensional, terkadang mengakibatkan kebutuhan akan gambar tambahan untuk melihat seluruh area yang diinginkan. Tersedia berbagai ukuran jenis sensor intraoral yang digunakan pada radiografi digital ini. Pencegahan infeksi dilakukan dengan membungkus sensor intraoral menggunakan plastik sebelum pemakaian. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan

sensor yang tidak memungkinkan dilakukan sterilisasi menggunakan autoklaf maupun disinfeksi langsung (Iannucci dan Howerton 2022).



Gambar 2. 3 Perangkat intraoral *charge-coupled* dengan kontrol infeksi *plastic* (Putri dan Yunus 2021)

2.2.6 Printer

Printer dalam radiografi digital digunakan untuk mencetak hasil gambar rontgen yang sudah dilihat dan diolah di komputer. Gambar ini bisa dicetak jika dibutuhkan untuk rekam medis, rujukan ke dokter lain, atau untuk diberikan ke pasien. Printer yang digunakan bukan printer biasa, tetapi printer khusus medis yang bisa mencetak gambar dengan kualitas tinggi dan jelas, seperti yang ada pada film rontgen konvensional. Jenis printer yang sering dipakai adalah printer termal dan printer laser medis yang bisa mencetak warna hitam-putih atau gradasi abu-abu dengan tajam. Saat ini memang banyak rumah sakit atau klinik yang sudah menyimpan gambar secara digital tanpa dicetak disebut sistem *Picture Archiving and Communication System* (PACS), printer tetap digunakan di tempat-tempat yang belum sepenuhnya beralih ke sistem digital sepenuhnya (Hatta dan Yunus 2018; Setiowati dkk 2021).

2.2.7 Cara Kerja Radiografi Digital

Radiografi digital terdapat dua reseptor gambar yaitu *Charge Couple Device* (CCD) atau *Complementary Metal Oxide Semiconductor* (CMOS) dan *Storage Phosphor Plate Systems* (PSP). Radiografi digital bekerja dengan cara menggantikan film konvensional dengan sensor digital untuk menangkap gambar dari sinar-x. Ketika sinar-x diproyeksikan ke bagian tubuh pasien, sinyal tersebut ditangkap oleh sensor digital seperti PSP (*phosphor storage plate*), bukan oleh film seperti pada metode lama. Sensor ini akan mengubah energi sinar-x menjadi sinyal listrik, lalu dikirim ke komputer. Komputer memproses sinyal tersebut menggunakan software khusus menjadi gambar digital yang dapat langsung ditampilkan pada layar monitor. Gambar ini bisa diperbesar, diubah kontrasnya, disimpan, atau dikirim ke dokter lain. Proses ini jauh lebih cepat dibandingkan radiografi konvensional karena tidak perlu proses cuci film dan gambar bisa dilihat dalam hitungan detik (Bushong 2017; Hatta dan Yunus 2018).

Sistem *phosphor storage plate* (PSP) menggunakan pelat yang terdiri dari basis poliester fleksibel yang dilapisi dengan emulsi kristal senyawa fluorohalida barium europium yang aktif. Ukuran dan ketebalannya mirip dengan film radiografi konvensional (Whites dan Pharoah 2018). Paparan sinar selesai, plate dikeluarkan, kantong plastik dibuang, kemudian plate ditempatkan pada *scanner* laser (prosesor elektronik) untuk diproses lebih lanjut. Sinar laser yang mengenai plate dan elektron yang tersimpan dikeluarkan sebagai cahaya tampak. Sinyal analog ini kemudian akan menjadi gambar digital pada monitor komputer, dalam waktu 20 detik atau beberapa menit hingga gambar dapat dilihat di layar

komputer. Hal ini dipengaruhi oleh ukuran serta jumlah plat yang ditempatkan di *scan* laser dan resolusi gambar yang diinginkan. Ukuran plat PSP yang tersedia mirip dengan film ukuran 0, 1, 2, 3 dan 4, serta untuk pencitraan ekstraoral memerlukan ukuran yang lebih besar (Putri danYunus 2021).

2.3 Radiografi Konvensional

Radiografi konvensional adalah teknik pencitraan diagnostik yang menggunakan sinar-x dan media film analog untuk menghasilkan gambar struktur internal tubuh, seperti tulang dan jaringan keras lainnya. Dalam praktik kedokteran gigi, radiografi ini berfungsi untuk membantu visualisasi area yang tidak dapat terlihat secara langsung melalui pemeriksaan klinis, seperti akar gigi, tulang alveolar, dan lesi pada jaringan keras. Proses ini melibatkan pemaparan sinar-x ke bagian tubuh yang diperiksa, di mana sinar tersebut akan melewati jaringan dan ditangkap oleh film yang peka terhadap radiasi. Film yang telah terpapar kemudian diproses secara kimia untuk menghasilkan citra radiograf yang dapat digunakan sebagai alat bantu diagnostik oleh dokter gigi (Abbas dkk 2017)

2.3.1 Prinsip Kerja Radiografi Konvensional

Prinsip kerja radiografi konvensional melibatkan proses pembentukan gambar radiograf melalui interaksi antara sinar-x dan emulsi film yang mengandung kristal halida perak. Ketika sinar-x melewati jaringan tubuh, ia akan diserap secara berbeda oleh struktur yang dilaluinya. Jaringan keras seperti gigi menyerap lebih banyak sinar dan akan tampak lebih terang pada film, sedangkan jaringan lunak menyerap lebih sedikit dan tampak lebih gelap. Sinar-x yang mencapai film akan memicu perubahan kimia pada kristal halida perak

sehingga membentuk gambar laten. Gambar ini kemudian dikembangkan melalui proses kimia menggunakan larutan *developer* dan *fixer*, yang akan mengubah gambar laten menjadi gambar nyata yang permanen dan dapat digunakan untuk diagnosis (White dan Pharoah 2014).

2.3.2 Prosesing Film

Pemrosesan film merupakan tahapan krusial yang sangat menentukan kualitas citra radiografi yang dihasilkan. Sekalipun penempatan film sudah sesuai, pasien menunjukkan kerja sama yang baik, serta sudut penyinaran telah optimal, hasil akhir tetap tidak akan memuaskan apabila proses pemrosesan dilakukan secara tidak tepat.

Prosesing film harus melalui beberapa tahap diantaranya adalah : (Ilyas dkk 2020)

1. *Developing* yaitu proses kristal perak halida yang terpapar sinar x dalam emulsi film lalu dikonversikan ke hitam perak metalik untuk menghasilkan warna hitam atau abu-abu pada film.
2. *Rinsing* yaitu proses pembilasan singkat setelah *developing* untuk menghilangkan sisa larutan *developer* pada permukaan film agar tidak mengontaminasi larutan *fixer* pada tahap berikutnya.
3. Fiksasi yaitu proses pembuangan kristal perak halida yang tidak terpapar dalam emulsi film, dengan hanya meninggalkan gelatin yang melekatkan hitam perak metalik ke dalam film.
4. *Washing* yaitu pencucian film dengan air mengalir untuk membersihkan sisa larutan *fixir*.
5. *Drying* yaitu pengeringan film yang telah jadi.

2.3.3 Kelebihan dan Kekurangan Radiografi Konvensional dan Digital (White dan Pharoah 2018)

Kelebihan Radiografi Konvensional:

1. Resolusi spasial tinggi

Film konvensional memiliki ketajaman gambar yang sangat baik (resolusi tinggi), sehingga detail anatomi halus dapat terlihat jelas

2. Biaya operasional relatif rendah

Harga film dan alat konvensional lebih murah dibandingkan sistem digital, khususnya dalam jumlah kecil atau praktik skala kecil.

3. Stabil dan tahan lama

Film radiografi konvensional bila disimpan dengan benar, dapat bertahan lama dan digunakan sebagai dokumentasi jangka panjang.

Kekurangan Radiografi Konvensional:

1. Proses waktu yang lama

Dibutuhkan waktu untuk pencucian dan pemrosesan film, sehingga memperlambat alur kerja klinis.

2. Paparan radiasi lebih tinggi

Radiografi konvensional cenderung memerlukan dosis radiasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem digital. Radiografi konvensional menghasilkan gambar dengan kontras dan pencahayaan yang tidak dapat dimodifikasi ataupun diperbaiki.

3. Membutuhkan ruang penyimpanan

Film cetak memerlukan tempat arsip fisik yang cukup besar dan bisa rusak karena kondisi lingkungan.

Kelebihan Radiografi Digital :

1. Kecepatan dan Efisiensi Tinggi

Radiografi digital memberikan hasil yang instan dengan gambar langsung muncul di layar monitor tanpa memerlukan waktu pemrosesan film yang biasanya membutuhkan beberapa menit.

2. Reduksi Paparan Radiasi yang Signifikan

Sistem digital membutuhkan dosis radiasi yang jauh lebih rendah dibandingkan film konvensional, dengan pengurangan hingga 50-80%. Sensor digital memiliki sensitivitas yang lebih tinggi terhadap sinar-x, sehingga dapat menghasilkan gambar berkualitas dengan paparan minimal, yang tentunya lebih aman bagi pasien dan operator.

3. Fleksibilitas dalam Manipulasi Gambar

Citra digital dapat dimodifikasi secara *real-time* untuk meningkatkan kualitas diagnostik. Gambar dapat diperbesar untuk melihat detail yang lebih baik, kontras dan *brightness* dapat disesuaikan untuk mengoptimalkan visualisasi, serta dapat dilakukan *cropping* dan *enhancement* lainnya sesuai kebutuhan diagnostik.

4. Ramah Lingkungan dan Bebas Bahan Kimia

Proses radiografi digital tidak memerlukan bahan kimia *developer* dan *fixer* yang biasa digunakan dalam pemrosesan film konvensional. Penggunaan sistem tersebut tidak hanya menurunkan biaya operasional, tetapi juga ramah lingkungan karena mengeliminasi limbah cair berbahaya.

5. Kemudahan Penyimpanan dan Distribusi

Citra digital dapat disimpan secara elektronik dalam sistem komputer atau *cloud storage*, menghemat ruang penyimpanan fisik yang besar. Selain itu, gambar dapat dengan mudah dibagikan melalui email atau *platform digital* lainnya untuk keperluan konsultasi, rujukan, atau kolaborasi antar dokter gigi.

Kekurangan Radiografi Digital:

1. Investasi Awal Yang Tinggi

Penggunaan teknologi radiografi digital memerlukan investasi awal yang cukup tinggi. Sensor digital dengan kualitas baik memiliki harga yang mahal, ditambah dengan kebutuhan perangkat lunak khusus, komputer berkapasitas tinggi, serta infrastruktur pendukung lainnya.

2. Kerusakan Teknologi

Ketika terjadi kerusakan perangkat keras, masalah *software*, atau gangguan listrik, seluruh proses pengambilan dan penyimpanan gambar dapat terhenti total. Kondisi ini dapat mengganggu alur kerja klinik dan berpotensi merugikan pelayanan pasien, terutama dalam situasi darurat.

3. Ketidaknyamanan Pasien Selama Prosedur

Sensor intraoral digital umumnya memiliki dimensi yang lebih tebal dan kaku dibandingkan film konvensional yang fleksibel. Karakteristik ini seringkali menyebabkan ketidaknyamanan yang lebih besar bagi pasien, terutama pada anak-anak atau pasien dengan rongga mulut yang kecil. Sensor yang keras juga dapat menyebabkan trauma minor pada jaringan lunak mulut.

2.4 Teknik Radiografi Intraoral

Radiografi intraoral merupakan salah satu modalitas pencitraan yang paling fundamental dalam praktik kedokteran gigi. Teknik pencitraan ini melibatkan penempatan reseptor gambar di dalam rongga mulut pasien untuk menghasilkan gambaran detail struktur gigi dan jaringan pendukungnya (White dan Pharoah 2014). Pemeriksaan radiografi dalam bidang kedokteran gigi sangat membantu klinisi dalam penegakkan diagnosis, perencanaan perawatan, dan evaluasi hasil terapi (Permatahati dkk 2020).

2.4.1 Teknik Radiografi Bitewing

Radiografi bitewing adalah teknik pencitraan intraoral yang dirancang khusus untuk memvisualisasikan mahkota gigi posterior dan area interproksimal secara optimal. Nama "bitewing" berasal dari tab atau sayap kecil yang digigit oleh pasien untuk memposisikan film pada posisi yang tepat di antara gigi rahang atas dan bawah (Frommer dkk.2019). Prinsip fundamental radiografi bitewing adalah penempatan reseptor gambar secara horizontal atau vertikal di antara permukaan oklusal gigi rahang atas dan bawah. Sinar-x diarahkan tegak lurus terhadap reseptor melalui titik kontak gigi untuk meminimalkan *overlapping* dan mengoptimalkan visualisasi area interproksimal (Bushong 2021). Sudut horizontal sinar-x biasanya berkisar antara 0-10 derajat untuk menghindari superimposisi struktur gigi yang berdekatan.



Gambar 2.4 Teknik Radiografi Bitewing (White dan pharoah 2018)

Indikasi radiografi bitewing (Whaites & Drage, 2021) :

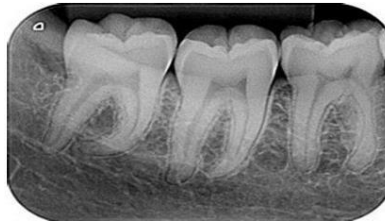
1. Deteksi karies interproksimal yang tidak terlihat secara klinis.
2. Evaluasi adanya karies sekunder di sekitar restorasi.
3. Pemantauan perkembangan karies dari waktu ke waktu.
4. Penilaian ketinggian tulang alveolar pada kasus penyakit periodontal.

Kontraindikasi radiografi bitewing :

1. Tidak bermanfaat untuk menilai lesi periapikal.
2. Sulit dilakukan pada pasien dengan keterbatasan membuka mulut atau tidak kooperatif.
3. Tidak dapat digunakan bila kontak gigi terbuka seluruhnya sehingga pemeriksaan klinis cukup.

2.4.2 Teknik Radiografi Periapikal

Radiografi periapikal adalah teknik pencitraan intraoral yang dirancang untuk menampilkan gambaran lengkap gigi individual beserta jaringan periodontal di sekitar apeks akar. Terminologi "periapikal" mengacu pada area di sekitar (peri) ujung akar gigi (apikal), yang merupakan fokus utama evaluasi dalam teknik ini (Stuart dan Whaites 2019). Setiap radiograf periapikal biasanya mencakup 2-4 gigi dengan visualisasi lengkap dari mahkota hingga apeks akar.

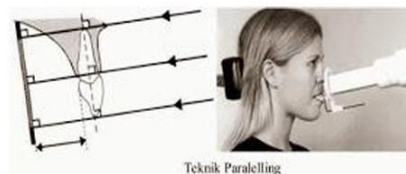


Gambar 2. 5 Teknik Periapikal (White dan Pharoah 2014)

Terdapat dua teknik utama dalam pengambilan gambar radiografi periapikal:

1. Teknik *paralleling* (teknik kesejajaran)

Teknik periapikal paralel, yang juga dikenal sebagai teknik *right-angle* atau *long-cone technique*, adalah metode radiografi di mana film ditempatkan sejajar dengan sumbu panjang gigi dan sinar-x diarahkan tegak lurus terhadap kedua struktur tersebut (Langland dkk 2019). Teknik ini dianggap sebagai *gold standard* dalam radiografi periapikal karena menghasilkan distorsi minimal dan memberikan gambaran yang paling akurat dari struktur dental. Prinsip geometri yang mendasari teknik ini adalah bahwa ketika objek, film, dan sumber radiasi berada dalam hubungan yang sejajar, maka gambaran yang dihasilkan akan memiliki proporsi yang sama dengan objek aslinya. Kondisi ini memungkinkan pengukuran yang akurat dan interpretasi yang lebih reliabel (Petersson dan Kumar 2019)



Gambar 2. 6 Teknik Paralel (White dan Pharoah)

Indikasi Teknik Paralel (Whaites & Drage 2021)

1. Deteksi lesi periapikal dengan akurasi tinggi.
2. Evaluasi ketinggian tulang alveolar dan status periodontal.
3. Penentuan panjang kerja dalam perawatan endodontik.
4. Pemantauan pasca perawatan endodontik maupun implant.
5. Pemeriksaan follow-up jangka panjang karena hasilnya konsisten dan dapat direproduksi.

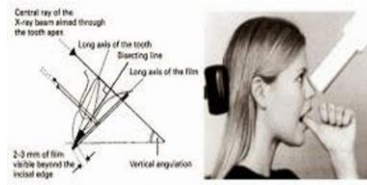
Kontraindikasi Teknik Paralel (Whaites & Drage 2021):

1. Sulit diterapkan pada pasien dengan mulut kecil, palatum dangkal, atau refleks muntah kuat.
2. Pasien merasa tidak nyaman dengan film holder atau sensor yang kaku.
3. Pasien anak-anak yang tidak kooperatif karena sulit mempertahankan posisi sensor.

2. Teknik *Bisecting line* (teknik garis bagi sudut)

Teknik periapikal *bisecting line* adalah teknik radiografi yang berdasarkan pada aturan isometri, di mana sinar-x diarahkan tegak lurus terhadap garis yang membagi dua sudut yang dibentuk oleh sumbu panjang gigi dan film radiografi (Whaites dan Drage 2021). Teknik ini pertama kali dikembangkan oleh Cieszynski pada tahun 1907 dan kemudian disempurnakan oleh berbagai ahli radiologi dental.

Prinsip dasar teknik ini adalah untuk meminimalkan distorsi dimensional pada gambaran radiografi dengan menggunakan konsep geometri proyeksi. Ketika film tidak dapat ditempatkan sejajar dengan sumbu panjang gigi, maka sudut yang terbentuk antara film dan gigi harus dibagi dua (*bisected*), dan sinar-x diarahkan tegak lurus terhadap garis pembagi tersebut (Parks dan Williamson 2020).



Gambar 2. 7 Teknik *Bisecting* (White dan Pharoah 2014)

Indikasi teknik bisecting (Whaites dan Drage 2021):

1. Digunakan ketika teknik paralel sulit diterapkan, misalnya pada pasien dengan palatum dangkal atau mulut kecil.
2. Evaluasi kelainan periapikal seperti abses, kista, atau granuloma.
3. Penilaian gigi impaksi, resorpsi akar, atau anomali gigi.

Kontraindikasi teknik bisecting (Whaites dan Drage 2021):

1. Tidak dianjurkan untuk evaluasi yang membutuhkan akurasi tinggi, misalnya penentuan panjang kerja endodontik.
2. Tidak ideal untuk penilaian kehilangan tulang periodontal.
3. Rentan distorsi berupa elongation atau foreshortening bila sudut tidak tepat.

2.5 Karies Gigi

2.5.1 Definisi

Karies gigi merupakan salah satu penyakit kronis yang paling umum terjadi pada manusia, ditandai dengan kerusakan progresif jaringan keras gigi akibat aktivitas asam yang dihasilkan oleh bakteri dalam plak gigi. Proses ini terjadi ketika bakteri menguraikan karbohidrat fermentabel dari makanan, menghasilkan asam yang menurunkan pH lingkungan rongga mulut dan menyebabkan demineralisasi email serta dentin. Proses demineralisasi ini dapat berkembang menjadi lesi yang dalam jika tanpa penanganan yang cepat,

menimbulkan nyeri, infeksi pulpa, dan bahkan kehilangan gigi. Karies gigi tidak hanya bersifat lokal tetapi juga memiliki dampak sistemik karena dapat mempengaruhi kualitas hidup, nutrisi, dan kesehatan umum seseorang (Fejerskov, Nyvad, dan Kidd 2015).

Karies kini dipahami sebagai penyakit yang dimediasi oleh biofilm, dipicu oleh konsumsi gula berlebih, serta sangat bergantung pada waktu dan kebiasaan oral individu. Selain itu, interaksi antara faktor risiko seperti *higiene oral* yang buruk, frekuensi konsumsi makanan manis, dan kurangnya paparan fluoride turut mempercepat proses karies (Pitts dkk 2017).

2.5.2 Interpretasi Anatomi Radiografi Jaringan Keras Gigi

Berdasarkan Interpretasi radiografi jaringan keras gigi merupakan keterampilan penting dalam diagnosis radiologi kedokteran gigi. Radiograf harus mampu memperlihatkan struktur normal gigi, sehingga kelainan dapat dikenali dengan tepat. Menurut Whaites dan Drage (2021), jaringan keras gigi terdiri atas enamel, dentin, dan sementum, yang masing-masing memiliki karakteristik radiografis berbeda.

Enamel sebagai jaringan paling keras dan padat dalam tubuh, tampak sangat radiopak pada radiograf. Ketebalan dan densitas enamel menyebabkan penyerapan sinar-x yang tinggi, sehingga menghasilkan gambaran putih terang. Dentin yang berada di bawah enamel menunjukkan radiopasitas sedang. Walaupun lebih radiopak dibanding sementum, densitas dentin lebih rendah daripada enamel sehingga terlihat agak lebih gelap.

Pada pertemuan enamel dan dentin terdapat dentino-enamel junction (DEJ), yang biasanya divisualisasikan sebagai garis tipis dan jelas. Struktur ini penting

dalam interpretasi karena menjadi batas anatomis dalam menilai perluasan lesi karies. Sementara itu, sementum relatif sulit diidentifikasi secara radiografis karena memiliki densitas yang mirip dengan dentin, sehingga pada radiograf tampak menyatu dengan dentin akar.

Pulpa gigi, yang tidak termasuk jaringan keras, berfungsi sebagai kontras alami karena tampak radiolusens (lebih gelap) dibanding jaringan keras sekitarnya. Kontras antara enamel, dentin, dan pulpa memudahkan identifikasi anatomi normal maupun perubahan patologis. Oleh karena itu, pemahaman mengenai karakteristik radiografis jaringan keras gigi menjadi dasar penting dalam mendeteksi karies, resorpsi, fraktur, dan perubahan patologis lainnya (Whaites & Drage, 2021).

2.5.3 Klasifikasi Karies Secara Radiografis (White & Pharoah (2018))

E1 : Lesi terbatas pada sepertiga luar enamel.

E2 : Lesi mencapai sepertiga dalam enamel, mulai lebih jelas tampak sebagai radiolusensi.

D1 : Lesi mengenai sepertiga luar dentin, umumnya terlihat jelas pada radiograf.

D2 : Lesi meluas ke sepertiga tengah dentin, biasanya sudah berhubungan dengan kavitas klinis.

D3 : Lesi mencapai sepertiga dalam dentin, sering dekat dengan pulpa dan berpotensi menimbulkan gejala klinis.

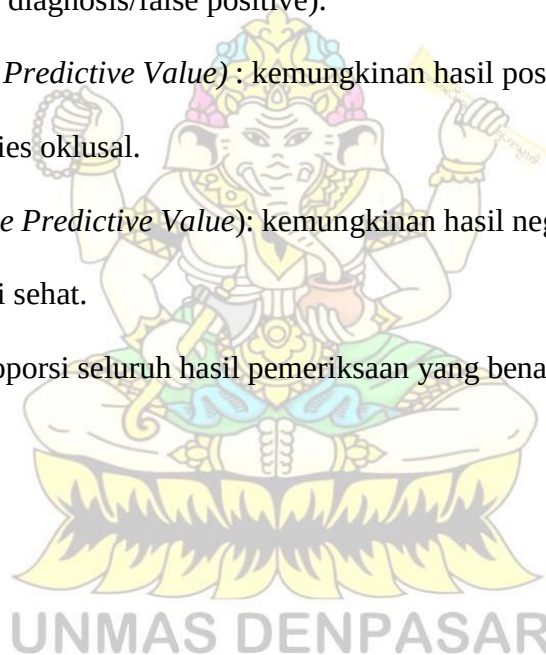


Gambar 2. 8 Karies Oklusal (White dan Pharoah 2018)

Pada gambar 2.8 Radiografi menunjukkan lesi karies oklusal, dengan bentuk radiolusen segitiga pada permukaan oklusal molar. Lesi dimulai dari enamel dan meluas ke dentin. (White dan Pharoah 2018)

2.5.4 Parameter Diagnostik

- a. Sensitivitas : kemampuan radiografi mendeteksi gigi yang benar-benar mengalami karies proksimal (mencegah kasus terlewat atau false negative).
- b. Spesifisitas :kemampuan radiografi mengenali gigi yang sehat (mencegah salah diagnosis/false positive).
- c. PPV (*Positive Predictive Value*) : kemungkinan hasil positif memang benar menandakan karies oklusal.
- d. NPV (*Negative Predictive Value*): kemungkinan hasil negatif memang benar menandakan gigi sehat.
- e. *Accuracy* : Proporsi seluruh hasil pemeriksaan yang benar



BAB III

KERANGKA BERPIKIR, HIPOTESIS DAN KONSEP PENELITIAN

3.1 Kerangka Berpikir

Radiografi intraoral dalam praktik kedokteran gigi berdasarkan teknik pengolahan citra dapat dilakukan menggunakan radiografi konvensional maupun radiografi digital. Radiografi konvensional menggunakan film sebagai media perekam gambar, sedangkan radiografi digital menggunakan sensor digital seperti *storage phosphor plate* (PSP). Radiografi digital dinilai memiliki beberapa keunggulan, antara lain kemampuan menampilkan citra dengan gradasi abu-abu yang lebih luas, kemudahan manipulasi citra (*brightness dan contrast*), serta proses pencitraan yang lebih cepat. Namun, radiografi konvensional masih banyak digunakan di fasilitas pelayanan kesehatan karena ketersediaan alat dan biaya yang lebih terjangkau. Oleh karena itu, diperlukan pembuktian ilmiah mengenai perbedaan tingkat keakuratan kedua metode tersebut dalam mendeteksi karies oklusal.

Penelitian ini menggunakan karies oklusal dibuat secara artifisial menggunakan round bur dengan ukuran 0,5 mm. Pembuatan kavitas dengan ukuran yang terkontrol bertujuan untuk menyeragamkan kondisi lesi karies pada seluruh sampel, sehingga dapat dijadikan standar pembandingan (*gold standard*) dalam menilai kemampuan diagnostik radiografi konvensional dan digital. Kedalaman 0,5 mm dipilih karena merepresentasikan lesi karies awal yang secara klinis sulit terdeteksi, namun masih relevan untuk diuji secara radiografis.