

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Sinar-X

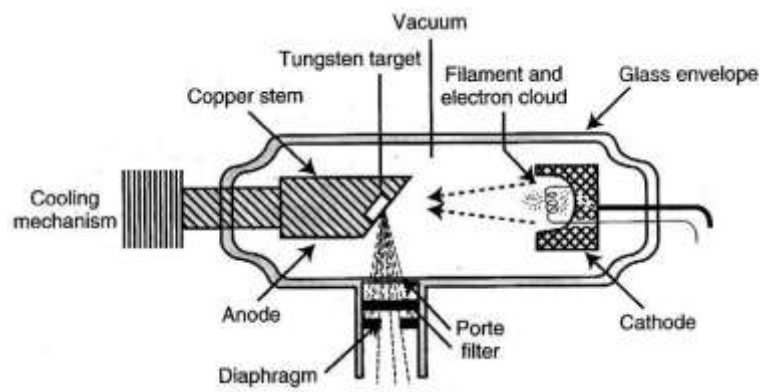
Sinar-X pertama kali ditemukan oleh Wilhelm Conrad Röntgen pada akhir abad ke-19. Penemuan ini menjadi tonggak penting dalam sejarah ilmu pengetahuan, sehingga Röntgen dianugerahi Penghargaan Nobel Fisika pada tahun 1901. Sinar-X memiliki keistimewaan yang membedakannya dari gelombang elektromagnetik lainnya, salah satunya adalah panjang gelombangnya yang sangat pendek, bahkan lebih pendek daripada sinar ultraviolet. Hal ini membuat sinar-X mampu menembus berbagai material padat, termasuk jaringan tubuh manusia, sehingga sangat bermanfaat dalam dunia medis untuk melihat bagian dalam tubuh tanpa perlu melakukan pembedahan (Glasser, 1993).

Selain itu, sinar-X juga memiliki energi yang sangat tinggi, yang memungkinkannya untuk menembus logam tipis maupun jaringan keras seperti tulang dan kemampuan yang tidak dimiliki oleh cahaya tampak biasa. Walaupun tidak dapat dilihat oleh mata telanjang, sinar-X dapat menyebabkan beberapa bahan tertentu memancarkan cahaya (berpendar atau *fluoresen*) ketika terpapar olehnya. Namun demikian, di balik manfaatnya yang besar, sinar-X juga memiliki potensi bahaya karena sifatnya yang dapat mengionisasi atom. Proses ionisasi ini berisiko merusak jaringan dan sel hidup, sehingga penggunaannya dalam dunia medis harus dilakukan secara hati-hati dan sesuai takaran yang tepat (Hall & Giaccia, 2012).

Proses pembentukan sinar-X terjadi ketika alat pemancar dinyalakan, dan elektron-elektron berenergi tinggi dipercepat dari katode menuju anode, yang umumnya terbuat dari logam berat seperti tungsten. Ketika elektron mengenai atom-atom target di anode, terdapat dua mekanisme pembentukan sinar-X yang dapat terjadi. Pertama, apabila elektron menghantam elektron pada kulit dalam atom target, maka akan

tercipta kekosongan. Kekosongan ini kemudian diisi oleh elektron dari kulit luar, dan pergerakan tersebut menghasilkan energi yang dilepaskan dalam bentuk sinar-X karakteristik (Faiz & Mould, 1997).

Kedua, jika elektron melintas sangat dekat dengan inti atom target, maka elektron tersebut akan mengalami perlambatan mendadak akibat gaya tarik inti atom. Energi yang hilang dari perlambatan ini dipancarkan dalam bentuk sinar-X yang dikenal sebagai sinar-X *Bremsstrahlung*. Kedua jenis sinar-X ini, yakni sinar-X karakteristik dan sinar-X *Bremsstrahlung*, merupakan dasar dari proses pembentukan sinar-X yang digunakan dalam pemeriksaan radiografi (Faiz & Mould, 1997).



Gambar 2.1 Tabung Sinar-X
Sumber: Nugraheni (2018)

Gambar 2.1 memperlihatkan struktur dasar dari tabung sinar-X yang merupakan komponen utama dalam sistem pencitraan radiografi. Tabung ini bekerja berdasarkan prinsip pemercepatan elektron dari katode menuju anode menggunakan tegangan tinggi. Pada bagian katode, terdapat filamen yang terbuat dari logam tungsten. Ketika filamen dipanaskan oleh arus listrik, terjadi proses emisi termionik yang menyebabkan elektron-elektron terlepas dan membentuk awan elektron. Elektron-elektron ini kemudian dipercepat oleh perbedaan tegangan tinggi menuju permukaan target logam yang terdapat pada anode.

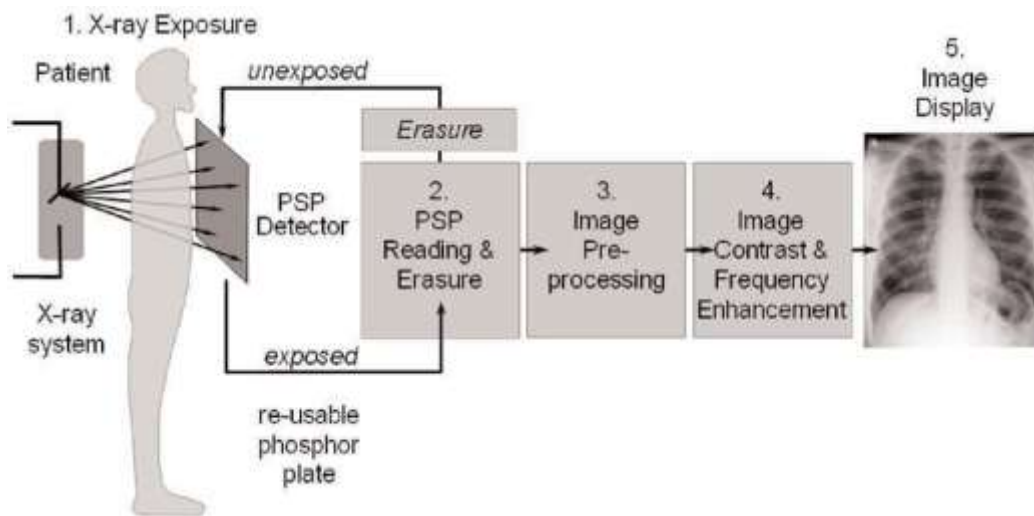
Saat elektron berenergi tinggi tersebut menumbuk target anode, yang juga umumnya terbuat dari tungsten, sebagian besar energi kinetiknya akan berubah menjadi panas (sekitar 99%), dan sisanya menjadi sinar-X (sekitar 1%). Untuk mencegah kerusakan akibat panas yang dihasilkan, sistem ini dilengkapi dengan batang tembaga (*copper stem*) dan

mekanisme pendingin yang berfungsi menghantarkan panas keluar dari area target. Tabung sinar-X diselubungi oleh amplop kaca (*glass envelope*) yang berisi vakum. Keberadaan vakum ini penting untuk memungkinkan pergerakan elektron tanpa hambatan dari partikel udara, sehingga proses pembentukan sinar-X berlangsung lebih efisien.

Sinar-X yang terbentuk akan diarahkan keluar melalui jendela keluaran tabung. Sebelum mencapai tubuh pasien, sinar-X tersebut melewati diafragma dan filter (*porte filter*). Diafragma berfungsi untuk membatasi luas area paparan sinar-X agar hanya bagian tubuh yang diperiksa saja yang terkena radiasi. Sementara itu, filter digunakan untuk menyerap sinar-X berenergi rendah yang tidak bermanfaat secara diagnostik namun dapat meningkatkan paparan radiasi pada pasien. Seluruh rangkaian proses ini memungkinkan tabung sinar-X menghasilkan radiasi yang terkendali dan efektif untuk keperluan pencitraan medis tanpa perlu melakukan pembedahan.

2.1.2 Computed Radiography (CR)

Computed Radiography (CR) merupakan salah satu inovasi penting dalam dunia radiologi, yang menandai peralihan dari teknologi film konvensional menuju era digital tanpa harus sepenuhnya mengganti infrastruktur alat radiografi yang sudah ada. Sistem ini memanfaatkan pelat khusus yang dapat digunakan berulang kali, memungkinkan proses pencitraan yang lebih efisien, ramah lingkungan, serta mendukung integrasi data secara digital di lingkungan medis modern. CR hadir sebagai solusi antara bagi fasilitas kesehatan yang ingin bertransformasi ke digital tanpa investasi besar seperti pada sistem *Direct Digital Radiography* (DR), sehingga tetap mempertahankan alat X-ray konvensional namun memperoleh manfaat digitalisasi gambar radiologi.



Gambar 2. 2 Sistem pencitraan pada Computed Radiography (CR)

Sumber : AAPM (2006)

Gambar 2.2 menggambarkan alur sistem pencitraan pada teknologi *Computed Radiography* (CR) secara berurutan dan sistematis. Pertama, sinar-X dipancarkan dari sistem rontgen dan melewati tubuh pasien, lalu ditangkap oleh *Photostimulable Phosphor* (PSP) atau disebut juga plate fosfor yang berperan sebagai detektor utama, *plate* ini menyimpan informasi citra laten (Adhianto et al., 2014). Energi dari sinar-X yang tertahan pada plate tersebut membentuk citra laten yang belum dapat dilihat secara langsung. PSP kemudian dimasukkan ke dalam alat pembaca untuk dilakukan proses pembacaan dan penghapusan data (*PSP reading & erasure*) dengan bantuan pemindaian laser. Data digital yang dihasilkan selanjutnya diproses melalui tahap *image pre-processing*, di mana dilakukan koreksi geometris, *noise reduction*, dan penyesuaian histogram. Tahap berikutnya adalah peningkatan kontras dan frekuensi (*contrast & frequency enhancement*) guna memperjelas detail struktur anatomi, dan akhirnya citra ditampilkan pada layar monitor untuk dianalisis. Teknologi CR ini memanfaatkan sistem digital dan memiliki keunggulan dalam efisiensi penggunaan plate yang dapat digunakan kembali serta memungkinkan pengolahan citra secara optimal (Ningtias et al., 2015).

2.1.3 Imaging Plate (IP)

Imaging Plate (IP) atau pelat pencitraan merupakan komponen utama dalam sistem *Computed Radiography* (CR) yang berfungsi

menangkap dan menyimpan energi dari sinar-X setelah melewati tubuh pasien. Tidak seperti sistem konvensional yang menggunakan film, IP menggunakan bahan *photostimulable phosphor* (PSP), yaitu fosfor khusus yang mampu menyimpan energi sinar-X dalam bentuk citra laten. Bahan yang umum digunakan adalah barium fluorohalida yang didoping dengan europium. Setelah penyinaran, IP dibaca menggunakan alat CR reader yang memindai permukaannya dengan laser, sehingga energi yang tersimpan dilepaskan dalam bentuk cahaya tampak. Cahaya ini diubah menjadi sinyal listrik dan diproses menjadi citra digital yang dapat ditampilkan di monitor (Widiastuti et al., 2022).

2.1.4 Kaset *Imaging Plate* (IP)

Kaset *Imaging Plate* (IP) dalam sistem *Computed Radiography* (CR) memiliki bentuk dan ukuran yang menyerupai kaset film konvensional, sehingga mempermudah transisi dari sistem analog ke digital. Meskipun secara fisik mirip, kaset IP memiliki struktur internal yang berbeda, terutama karena adanya pelat fosfor dan jendela khusus untuk pembacaan citra laten. Jendela ini memungkinkan sinar laser masuk saat proses pembacaan, sehingga citra dapat dikonversi menjadi sinyal digital. Untuk menjaga kualitas gambar, bagian belakang kaset IP dilapisi dengan lapisan timbal setebal 150 mikrometer, yang berfungsi menyerap radiasi hamburan balik agar tidak mengganggu pelat fosfor. Lapisan ini mencegah munculnya artefak seperti bayangan ganda dan noise, serta mempertahankan kontras gambar, terutama pada pemeriksaan berdosisi rendah. Selain itu, lapisan timbal juga membantu melindungi IP dari kerusakan fisik akibat tekanan atau benturan selama penggunaan (Aldicia, 2023).

2.1.5 *Digitizer* dan Sistem Komputer

Digitizer memiliki peran penting dalam sistem *computed radiography*, yaitu untuk membaca, menghapus, serta memproses citra radiografi yang telah direkam pada *imaging plate*. Alat ini berfungsi sebagai pemroses utama gambar dan terhubung langsung dengan komputer khusus yang memang dirancang untuk keperluan pencitraan medis. Dalam

sistem ini, tersedia beragam fitur dan perangkat lunak yang dapat digunakan untuk memperbaiki dan mengedit gambar sesuai kebutuhan, baik berdasarkan area anatomi yang diperiksa maupun jenis tampilan radiografi yang diinginkan. Hal ini memungkinkan pengguna untuk melakukan penyesuaian terhadap tingkat kerapatan, kontras, dan detail citra sesuai kebutuhan klinis,

Teknologi pencitraan digital sendiri membawa banyak keuntungan, salah satunya adalah kemampuan untuk menampilkan detail patologis secara lebih jelas. Proses pengolahan gambar digital bertujuan untuk menghasilkan pencahayaan yang merata, meningkatkan kontras, mengoptimalkan ketajaman spasial, serta meminimalkan gangguan noise pada citra yang dihasilkan, sehingga kualitas gambar menjadi lebih baik dan mendukung akurasi diagnosis.

2.1.6 Printer

Hasil gambar radiografi yang telah melalui tahap pemrosesan dapat disimpan dalam bentuk digital (*softcopy*) maupun cetak (*hardcopy*). Umumnya, salinan digital disimpan di media seperti *harddisk* atau CD. Namun, dalam praktik klinis sehari-hari, banyak fasilitas kesehatan yang masih mengandalkan hasil cetak sebagai acuan utama untuk interpretasi dan penegakan diagnosis.

2.1.7 Pemeriksaan *Thorax Poste Anterior* (PA)

Pemeriksaan radiografi *thorax* merupakan salah satu prosedur diagnostik yang paling sering dilakukan dalam bidang radiologi. Tujuan utamanya adalah untuk menilai kondisi organ paru-paru dan jantung, serta mendeteksi adanya kelainan atau penyakit pada area dada. Pemeriksaan ini sangat penting dalam proses penegakan diagnosis berbagai gangguan pernapasan, infeksi, penyakit jantung, trauma dada, maupun pemantauan perkembangan penyakit tertentu.

Selama prosedur pemeriksaan, pasien umumnya diposisikan dalam keadaan berdiri dengan menggunakan teknik *posteroanterior* (PA), yaitu sinar-X diarahkan dari belakang tubuh menuju ke depan, sementara pasien menghadap langsung ke *bucky wall stand*, yaitu alat penyangga kaset

radiografi. Posisi ini dipilih karena mampu memberikan gambaran organ *thorax* yang lebih representatif dan meminimalkan distorsi bayangan pada jantung maupun paru-paru (Aldicia, 2023).



Gambar 2.3 Posisi Pemeriksaan Radiografi Posteroanterior (PA)

Sumber : (Bruce 2016)

Panduan posisi ini telah seperti yang terlihat pada gambar 2.3 menjadi standar dalam pelaksanaan pemeriksaan radiografi *thorax* untuk posisi *Posteroanterior (PA)*. Dengan mengikuti prosedur posisi yang tepat, pemeriksaan radiografi *thorax* dapat memberikan informasi diagnostik yang sangat berharga untuk penanganan pasien. Setelah dilakukan penyinaran dan pemrosesan menggunakan *Computed Radiography (CR)*, hasil citra kemudian dicetak. Citra radiografi yang dihasilkan harus memenuhi kriteria tertentu agar memiliki kualitas diagnostik yang memadai.

2.1.8 Phantom Thorax

Phantom merupakan alat bantu yang sangat penting dalam dunia radiologi, khususnya untuk pengujian dan penilaian kualitas citra radiografi secara objektif dan realistis. Secara sederhana, *phantom* adalah model atau representasi dari bagian tubuh manusia yang dirancang untuk meniru karakteristik fisik dan radiologis jaringan tubuh ketika terkena paparan radiasi pengion. Dengan menggunakan *phantom*, tenaga kesehatan dapat melakukan berbagai pengujian tanpa melibatkan pasien secara langsung, sehingga aspek keselamatan dan etika tetap terjaga (Vassileva, 2002).

Phantom biasanya dibuat dari satu atau lebih bahan setara jaringan (*tissue-equivalent materials*), yaitu bahan yang secara fisik dan kimia menyerupai jaringan manusia. Bahan tersebut dirancang agar mampu meniru cara jaringan tubuh menyerap, menyebarkan, dan mentransmisikan

radiasi, sehingga hasil pengujian dapat mencerminkan kondisi klinis yang sebenarnya (Yunianto, 2022). Tingkat kemiripan anatomi yang direpresentasikan oleh *phantom* juga bervariasi, mulai dari blok homogen sederhana hingga model kompleks yang menyerupai struktur organ manusia. Bahkan, beberapa *phantom* modern telah dilengkapi dengan sisipan jaringan manusia asli seperti tulang, untuk memberikan simulasi yang lebih nyata.

Seiring perkembangan teknologi, desain dan pembuatan *phantom* mengalami kemajuan pesat. *Phantom* saat ini tidak hanya digunakan untuk pengujian kualitas citra dan kalibrasi alat, tetapi juga untuk pelatihan operator, simulasi prosedur pencitraan, serta penelitian teknik pencitraan terbaru. Penggunaannya tidak terbatas pada radiografi konvensional, namun juga meluas ke modalitas lain seperti *CT scan*, MRI, dan mamografi (Yunianto, 2022). Dalam praktik radiologi diagnostik, *phantom* menjadi alat penting dalam optimasi kualitas citra dan pengendalian dosis radiasi, sejalan dengan prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*).

Phantom memungkinkan radiografer dan fisikawan medis menguji parameter eksposur, teknik pencitraan, dan sistem pemrosesan gambar guna memastikan citra yang dihasilkan berkualitas tinggi tanpa meningkatkan paparan radiasi. Dalam konteks radiologi digital, hal ini menjadi sangat relevan karena teknologi memungkinkan manipulasi citra untuk meningkatkan visualisasi tanpa menambah paparan radiasi. Salah satu bahan yang umum digunakan untuk membuat *phantom* adalah akrilik, karena memiliki kerapatan massa sekitar 0,944 gram per sentimeter kubik, yang mendekati kerapatan air. Mengingat tubuh manusia sebagian besar terdiri dari air, akrilik mampu mensimulasikan perilaku jaringan lunak terhadap paparan radiasi (Pratiwi, 2006).

Selain akrilik atau bahan sintetis khusus juga digunakan untuk meniru karakteristik jaringan seperti lemak, tulang, dan organ dalam. *Phantom* canggih bahkan dilengkapi dengan struktur internal yang dapat diganti-ganti, memungkinkan simulasi kondisi patologis atau variasi anatomi tertentu. Selain itu, *phantom* sangat berguna dalam pelatihan radiografer dan dokter radiologi untuk prosedur pencitraan, pengaturan parameter, dan interpretasi hasil tanpa risiko terhadap pasien. Di bidang

penelitian, *phantom* digunakan untuk mengevaluasi teknik baru, membandingkan performa alat, serta mengembangkan algoritma pemrosesan citra (Yunianto, 2022).

Secara keseluruhan, *phantom* adalah komponen esensial dalam praktik radiologi modern. Kemampuannya dalam merepresentasikan struktur anatomi dan fisiologi secara realistis menjadikannya alat penting dalam pelatihan, penelitian, dan optimasi prosedur pencitraan. Perkembangan teknologi *phantom* yang terus berlanjut membuka peluang besar dalam peningkatan kualitas layanan radiologi tanpa mengorbankan aspek keselamatan pasien.

Banyaknya radiasi yang diterima pasien selama pemeriksaan radiografi umum merupakan fungsi dari beberapa parameter. Salah satu parameter yang mempengaruhi besar keluaran paparan radiasi adalah energi berkas atau tegangan tabung (kV), kuat arus tabung (mA), dan waktu ekspos (s) yang termasuk dalam faktor eksposi radiograf (Amelia et al., 2014).

2.1.9 Tegangan Tabung (kV)

Tegangan tabung (kV) menentukan energi sinar-X, memengaruhi penetrasi dan kontras gambar. Tegangan rendah meningkatkan kontras jaringan lunak, sementara tegangan tinggi memberikan penetrasi optimal untuk struktur padat seperti tulang. Pada pemeriksaan *thorax*, tegangan tabung yang lebih tinggi digunakan untuk memastikan seluruh struktur dada terlihat jelas. *Thorax* terdiri dari struktur padat seperti tulang rusuk dan tulang belakang yang memerlukan sinar-X bertenaga tinggi untuk menghasilkan gambar yang jelas (Michael, 2022). Peningkatan tegangan tabung (kV) pada *CT-Scan* membantu penetrasi jaringan padat seperti tulang dan meningkatkan kontras antara jaringan keras dan lunak. Penggunaan kV yang tepat menghasilkan gambar *thorax* berkualitas tinggi, memudahkan diagnosis kondisi paru-paru, jantung dan tulang, meski harus tetap mempertimbangkan paparan radiasi yang diterima pasien (Noveranty et al., 2024).

2.1.10 Arus Tabung (mA)

Arus tabung (mA) menentukan jumlah foton sinar-X dan memengaruhi kecerahan serta dosis radiasi. Nilai mA yang tinggi menghasilkan gambar lebih terang tetapi meningkatkan paparan radiasi, sehingga harus disesuaikan dengan kebutuhan klinis untuk menjaga keamanan pasien (Sihaloho, 2024). Peningkatan paparan radiasi ini dapat menambah risiko kesehatan, seperti meningkatkan kemungkinan terkena kanker atau efek samping lainnya, terutama jika pemeriksaan dilakukan berulang kali. Karena itu, pengaturan mA harus disesuaikan dengan kebutuhan klinis yang spesifik untuk setiap pemeriksaan. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa kualitas gambar yang diperlukan tercapai tanpa memberikan paparan radiasi yang berlebihan (Sihaloho, 2024).

2.1.11 Waktu Ekspos (s)

Waktu ekspos merupakan durasi lamanya sinar-X dipancarkan dari tabung sinar-X menuju objek selama proses pencitraan berlangsung. Parameter ini berperan penting dalam menentukan jumlah total radiasi yang diterima objek, karena semakin lama waktu ekspos, maka semakin besar pula radiasi yang dipaparkan. Waktu ekspos dikombinasikan dengan arus tabung (mA) membentuk faktor mAs, yang secara langsung memengaruhi densitas dan kualitas citra radiografi. Pemilihan waktu ekspos yang tepat sangat penting untuk mendapatkan citra yang optimal dengan paparan radiasi seminimal mungkin, khususnya pada pemeriksaan dengan risiko gerakan pasien, seperti radiografi *thorax* (Widiastuti et al., 2022).

Kualitas citra radiografi sangat dipengaruhi oleh produksi sinar-X yang terbentuk melalui pengaturan parameter eksposi, terutama tegangan tabung (kV) dan arus-waktu (mAs). Optimalisasi parameter ini menjadi langkah awal yang penting dalam menghasilkan citra diagnostik yang baik. Tegangan tabung memengaruhi energi dan daya tembus sinar-X, sedangkan mAs menentukan jumlah total radiasi yang dihasilkan. Kedua parameter ini secara langsung memengaruhi dua indikator utama kualitas citra, yaitu *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) dan *Contrast-to-Noise Ratio* (CNR).

Nilai SNR dan CNR yang tinggi menunjukkan citra yang tajam, kontras, dan memiliki gangguan noise yang minimal, sehingga sangat mendukung proses diagnosis yang akurat (Widiastuti et al., 2022).

2.1.12 Signal to Noise Ratio (SNR)

Signal to Noise Ratio (SNR) merupakan perbandingan antara amplitudo sinyal dengan amplitudo noise, yang digunakan untuk menilai kualitas citra. SNR memiliki pengaruh langsung terhadap kualitas gambar pada pemeriksaan CT Scan, karena peningkatan nilai SNR akan meningkatkan kualitas gambar yang dihasilkan. Dengan nilai SNR yang tinggi, gambar dengan resolusi spasial yang lebih baik dapat tercapai, karena SNR dipengaruhi oleh kekuatan arus tabung (Kartawiguna, 2015). Dijelaskan pula bahwa citra berkualitas optimal ditandai dengan nilai SNR yang tinggi. Rumus untuk menghitung nilai SNR adalah sebagai berikut.

$$SNR = \frac{I_s}{\sigma} \quad (2.1)$$

Dimana, I_s : nilai rata-rata intensitas dari objek (sinyal)
yang diukur dalam citra

σ : Simbol untuk noise (derau) dalam sistem,
dihitung sebagai standar deviasi

2.1.13 Contrast to Noise Ratio (CNR)

Contrast to Noise Ratio (CNR) mengukur perbedaan kontras antara jaringan dalam gambar dibandingkan dengan kebisingan. Ini penting dalam menilai seberapa baik perbedaan antara jaringan terlihat. Semakin tinggi CNR, semakin mudah membedakan jaringan dengan kontras yang lebih baik. CNR dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$CNR = \frac{I_s - I_b}{\sigma} \quad (2.2)$$

Dimana, I_s : nilai rata-rata intensitas dari objek

I_b : nilai rata-rata intensitas dari *background*

σ : Noise (derau), dihitung dengan standar deviasi
dari *background*

2.1.14 Program Simulasi *aRTist*

Software aRTist (Analytical RT Inspection Simulation Tool) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk mengoptimalkan kualitas gambar radiografi, khususnya pada pencitraan medis seperti sinar-X dan *CT scan*, *aRTist* dirancang untuk meningkatkan kualitas citra radiasi sambil mempertimbangkan faktor-faktor seperti paparan radiasi yang diterima oleh pasien, yang bertujuan untuk mengurangi risiko kesehatan akibat paparan radiasi yang berlebihan. Dalam hal ini, *aRTist* memanfaatkan berbagai teknik simulasi untuk mengadaptasi dan menyesuaikan pengaturan perangkat radiografi guna menghasilkan gambar dengan kualitas tinggi serta menjaga dosis radiasi tetap rendah (Michael, 2022). Beberapa fitur utama dari *Software aRTist* adalah sebagai berikut ini: (Dae *et al.*, 2023)

- a. Simulasi Monte Carlo: *aRTist* menggunakan simulasi Monte Carlo, sebuah metode statistik yang digunakan untuk mensimulasikan interaksi foton radiasi dengan materi tubuh. Dengan pendekatan ini, *aRTist* dapat memprediksi distribusi dosis radiasi dalam tubuh dan menentukan pengaturan optimal untuk mencapai kualitas citra yang baik tanpa memberikan paparan radiasi yang berlebihan kepada pasien.
- b. Pengaturan Parameter Pencitraan: *Software* ini dapat mengoptimalkan parameter teknis pencitraan, seperti tegangan tabung (kV), arus tabung (mAs), waktu eksposur, dan lainnya, untuk mendapatkan gambar dengan resolusi tinggi dan kontras yang tepat, serta meminimalkan

noise dan artefak. Hal ini membantu dalam meningkatkan kejelasan gambar dan memudahkan diagnosis.

- c. Pengurangan Paparan Radiasi: Salah satu tujuan utama penggunaan *aRTist* adalah untuk mengurangi dosis radiasi yang diterima pasien tanpa mengorbankan kualitas gambar. Dengan menggunakan simulasi dan algoritma yang canggih, *aRTist* dapat menentukan pengaturan terbaik yang menghasilkan citra berkualitas tinggi dengan dosis yang lebih rendah.
- d. Peningkatan Kualitas Gambar: *aRTist* juga berfokus pada meningkatkan kualitas citra secara keseluruhan, termasuk kontras, resolusi spasial, dan detail halus dalam gambar. Ini memungkinkan teknisi medis dan radiolog untuk lebih mudah mendeteksi kondisi medis tertentu seperti tumor, fraktur, atau kelainan lain.

Kemampuan untuk melakukan simulasi dan optimasi secara canggih, *Software aRTist* membantu meningkatkan efisiensi dan keamanan dalam praktik radiologi, serta mendukung peningkatan kualitas layanan medis, terutama dalam konteks pemindaian *thorax* atau pencitraan tubuh lainnya.

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu bertujuan untuk mempertajam analisis dalam pembahasan hasil penelitian. Selain itu, penelitian terdahulu dapat menambah wawasan tentang penelitian yang dilakukan serta menjadi pembanding hasil penelitian dari pihak lain. Hasil penelitian terdahulu dijelaskan pada tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

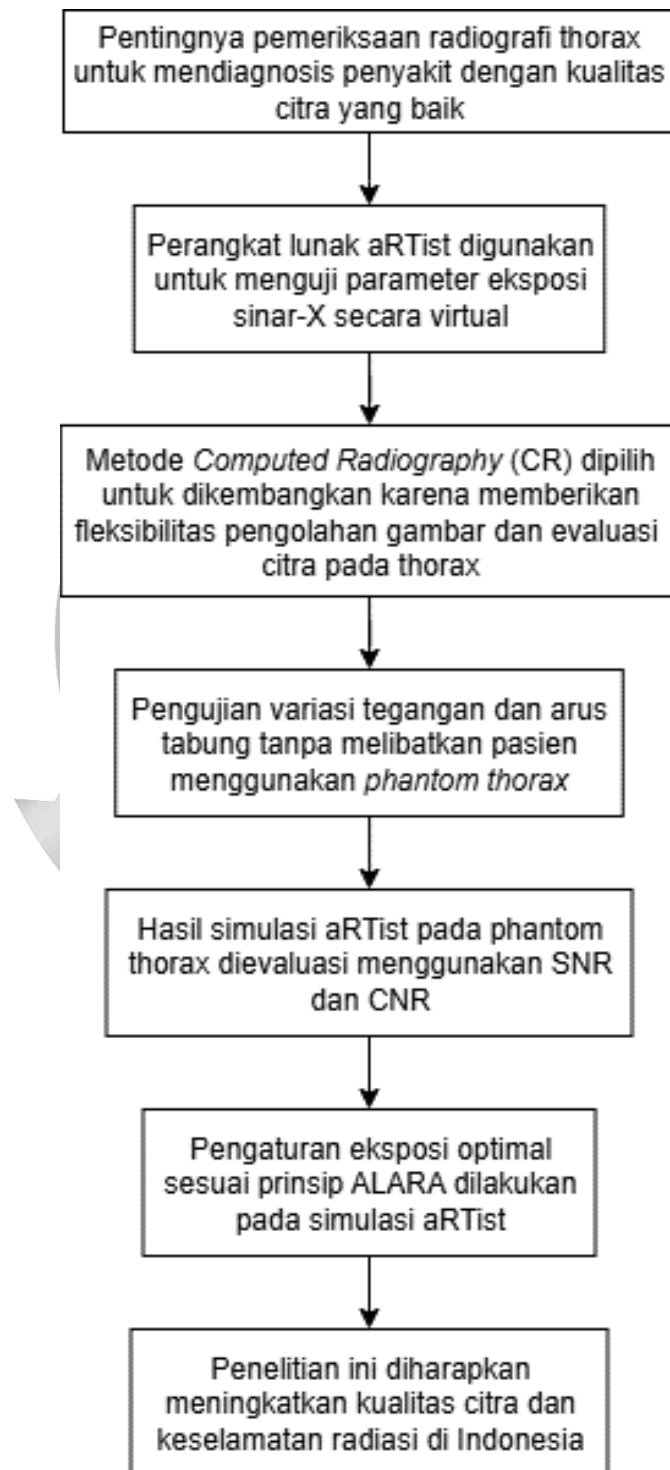
No	Judul Penelitian	Deskripsi	Korelasi dengan Penelitian
1	<i>Using 3d Printing Techniques To CReate An Anthropomorphic Thorax Phantom For Medical Imaging Purposes (Colien Hazelaar et al., 2018)</i>	<i>Phantom</i> pencitraan secara luas digunakan untuk pengujian dan optimalisasi perangkat pencitraan tanpa perlu memaparkan manusia pada radiasi. Namun, <i>phantom</i> yang tersedia secara komersial umumnya diproduksi dalam bentuk dan ukuran yang sederhana dan umum, sehingga tidak mencerminkan situasi klinis untuk banyak pasien. Dengan menggunakan teknik pencetakan 3D, kami membuat <i>phantom</i> berukuran asli berdasarkan hasil <i>CT scan</i> toraks dari seorang pasien dengan kanker paru. <i>Phantom</i> ini dirakit dari struktur tulang yang dicetak menggunakan gipsum, struktur paru-paru yang terdiri dari saluran napas, pembuluh darah berukuran lebih dari 1 mm, dan	Menjadi acuan penulis dalam memodelkan <i>phantom thorax</i> seperti densitas dan material yang menyusun tiap organ pada bagian <i>phantom thorax</i> .

		permukaan luar paru-paru; tiga tumor paru yang dicetak menggunakan nilon; serta jaringan lunak yang direpresentasikan oleh silikon yang dituangkan ke dalam cetakan hasil cetak 3D. Gambar sinar-X kilovolt dan CT dari <i>phantom</i> sangat mirip dengan gambar pasien asli dalam hal ukuran, bentuk, dan struktur. Perbandingan permukaan menggunakan model 3D dari <i>phantom</i> dan model 3D yang digunakan untuk pencetakan menunjukkan perbedaan rata-rata kurang dari 1 mm untuk semua struktur. Pengujian tarik terhadap bahan-bahan yang digunakan menunjukkan bahwa <i>phantom</i> mampu menahan dosis radiasi lebih dari 24.000 Gy. Dengan demikian, pembuatan <i>phantom</i> toraks antropomorfik menggunakan teknik pencetakan dan pencetakan 3D merupakan hal yang layak dilakukan. <i>Phantom</i> ini sangat menyerupai pasien asli dari segi akurasi spasial dan saat ini digunakan untuk mengevaluasi kualitas pencitraan berbasis sinar-X serta teknik verifikasi posisi untuk radioterapi.	
--	--	--	--

2	Analisis Optimasi Citra Radiografi Pada Pemeriksaan <i>Thorax</i> Sistem <i>Computed Radiography</i> (CR) Terhadap <i>Entrance Surface Dose</i> (ESD) (Ambarsari et al., 2014)	Penelitian yang dilakukan oleh Ambarsari et al. (2014) menunjukkan bahwa kombinasi faktor eksposi 55 kV dan 8 mAs menghasilkan kualitas citra radiografi <i>thorax</i> terbaik pada sistem <i>Computed Radiography</i> (CR) berbasis <i>phantom</i>. Kondisi ini memberikan nilai standar deviasi terendah sebesar 6,605 yang menunjukkan tingkat noise yang rendah, serta nilai ESD hanya 0,098 mGy, yang berada jauh di bawah batas <i>Diagnostic Reference Level</i> (DRL) sebesar 0,4 mGy. Selain itu, nilai log median (IgM) yang dihasilkan sebesar 1,91 termasuk dalam kisaran optimal untuk kualitas pencitraan CR. Citra pada eksposi ini juga menunjukkan gambaran anatomi <i>thorax</i> yang simetris dan detail, termasuk paru-paru, jantung, trakea, dan bronkus, sehingga secara diagnostik dinilai sangat memadai.	Menjadi acuan penulis dalam menentukan parameter eksposi untuk mengevaluasi kualitas citra <i>thorax</i> berbasis CR. Korelasi ini memperkuat bahwa eksposi kV rendah hingga sedang (55–65 kV) dengan mAs moderat (sekitar 8) mampu menghasilkan citra berkualitas baik dengan dosis radiasi yang rendah, menjadikannya pilihan optimal untuk pencitraan <i>thorax</i> dengan prinsip ALARA (<i>As Low As Reasonably Achievable</i>).
---	---	--	--

3	Analisis Kualitas Citra Radiografi CR Dengan <i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR) dan <i>Contrast To Noise Ratio</i> (CNR) Menggunakan <i>MiCRodicom</i> (Rivi Astria et al., 2024)	Penelitian ini bertujuan menganalisis kualitas citra sinar-X dari berbagai parameter radiografi (<i>Thorax</i>, <i>Clavicula</i>, <i>Pelvis</i>, dan <i>Molar</i>) menggunakan <i>software MiCRodicom</i>, dengan mengukur <i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR) dan <i>Contrast to Noise Ratio</i> (CNR). Hasil menunjukkan bahwa setiap citra memiliki nilai SNR dan CNR yang berbeda; citra <i>Pelvis</i> memiliki nilai SNR tertinggi (9,25), sedangkan citra <i>Molar</i> memiliki nilai CNR tertinggi (-0,71). <i>Software MiCRodicom</i> dinilai mudah digunakan dalam analisis kualitas citra radiografi.	Menjadi acuan penulis dalam menentukan 5 titik ROI yang digunakan untuk mengukur besar SNR dan CNR.
---	--	---	--

2.3 Kerangka Berpikir



Bagan 2.1 Diagram alir kerangka berpikir

Sumber : diolah oleh penulis

2.4 Hipotesis

Penelitian ini mengajukan hipotesis bahwa terdapat pengaruh yang

signifikan dari variasi tegangan tabung (kV) dan arus-waktu (mAs) terhadap kualitas citra radiografi *thorax* yang dimodelkan menggunakan program simulasi *aRTist*, sebagaimana ditinjau melalui parameter *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) dan *Contrast-to-Noise Ratio* (CNR), di mana variasi faktor eksposi 65 kV/8 mAs dan 75 kV/4 mAs menghasilkan citra optimal dengan nilai SNR dan CNR dalam batas ideal untuk mendiagnosis penyakit.

