

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Computed Tomography (CT) kepala merupakan modalitas diagnostik utama untuk berbagai indikasi neurologis akut dan kronis termasuk trauma kepala, stroke iskemik/hemoragik, infeksi, dan evaluasi massa intracranial karena kemampuannya memberikan informasi anatomi dan densitas jaringan dengan cepat dan luas. Namun, kontribusi CT terhadap paparan radiasi medis populasi signifikan. Oleh karena itu optimisasi dosis menjadi prioritas keselamatan radiasi tanpa mengorbankan kemampuan diagnostik. Peningkatan kecepatan pada CT-Scan multi-slice memungkinkan akuisisi gambar yang lebih cepat, namun optimisasi dosis radiasi tetap menjadi fokus utama untuk memastikan keselamatan pasien dan kualitas citra diagnostik yang optimal (Dewilza et al, 2023).

Standar dose adalah protokol akuisisi yang memanfaatkan pengaturan tegangan tabung (kVp) dan arus tabung termodulasi (mA) yang dikonfigurasi untuk mencapai kualitas citra diagnostik yang optimal, seringkali mengacu pada parameter pabrikan atau panduan klinis yang tidak secara eksplisit bertujuan untuk pengurangan dosis radiasi agresif. Sebaliknya, protokol low dose dirancang dengan memprioritaskan minimalisasi paparan radiasi, seringkali dengan menurunkan tegangan tabung (kVp) dan/atau arus tabung (mA) secara signifikan, yang berpotensi memengaruhi rasio kontras-ke-noise dan detail spasial citra (Dewi et al, 2022) sebagai contoh penurunan tegangan tabung (kVp) dari 100 kV menjadi 80 kV dapat mengurangi dosis radiasi secara signifikan, namun berpotensi meningkatkan noise dan menurunkan rasio sinyal ke noise karena berkurangnya penetrasi foton pada energy yang lebih rendah (Golubickas et al, 2021).

Perubahan tegangan tabung yang lebih tinggi akan menghasilkan dosis yang lebih besar (Dewilza et al, 2023). Penelitian menunjukkan bahwa penurunan tegangan tabung, bahkan hingga 80 kV, mampu mengurangi CT DIvol dan DLP secara signifikan, namun perlu diperhatikan potensi peningkatan noise citra yang dapat mempengaruhi kualitas diagnostik (Diantama et al, 2024). Namun, metode pengurangan dosis lainnya, seperti pengurangan mAs, juga menunjukkan hasil yang menjanjikan, dimana beberapa penelitian menemukan tidak ada perbedaan signifikan pada parameter perfusi otak yang diestimasi antara akuisis 50 mAs dan 100 mAs (Chung et al, 2023).

Parameter dosis teknis yang sering dilaporkan adalah CT DIvol (volumetric CT dose index). Variasi parameter akuisisi utama seperti kVp (tegangan tabung) dan mAs (arus waktu) berpengaruh langsung terhadap nilai CT DIvol serta karakteristik spektrum foton, sehingga memengaruhi noise, kontras, dan resolusi spasial citra. Oleh karena itu studi perbandingan antara protokol *standard dose* dan *low dose* harus mengevaluasi baik metrik dosis maupun metrik kualitas citra (noise, SNR, CNR, MTF) serta relevansi diagnostik klinis. Perubahan tegangan tabung

sinar-X memengaruhi jumlah radiasi dan energi foton, yang pada gilirannya akan mengubah dosis CT-Scan, noise, dan kontras citra (Dewilza et al, 2023).

Optimalisasi dosis radiasi pada pemeriksaan CT scan kepala adalah krusial, mengingat CT scan merupakan sumber utama paparan radiasi medis dan berkontribusi signifikan terhadap total dosis radiasi yang diterima pasien (Sihaloho et al, 2023). Parameter seperti CTDIvol dan DLP secara khusus digunakan sebagai standar kontrol kualitas untuk memantau dosis radiasi yang dipancarkan oleh perangkat CT scan, meskipun keduanya tidak secara langsung mengukur dosis yang diserap pasien (Palupi et al, 2023). Sebaliknya, nilai-nilai ini berfungsi sebagai indikator dosis keluaran radiasi dari pemindai CT (Diartama et al, 2023). Meskipun CTDIvol dan DLP tidak secara langsung mencerminkan dosis serap pasien, nilai-nilai ini merupakan pengukuran standar internasional yang berguna untuk membandingkan protokol CT antar pemindai (Fathelrahman et al, 2023). Meskipun demikian, dosis radiasi CT scan diketahui lebih besar dibandingkan dengan modalitas radiologi diagnostik lainnya, sehingga memerlukan perhatian serius terhadap optimisasi dosis. Peningkatan kV memiliki korelasi langsung dengan peningkatan nilai CTDIvol dan DLP, yang selanjutnya berkontribusi pada dosis efektif yang lebih tinggi (Delvihadini et al, 2025).

Dosis pada CT scan akan memengaruhi kualitas gambar yang dihasilkan. Salah satu metode untuk menyederhanakan analisis kualitas gambar dapat dilakukan dengan menghitung nilai *contrast to noise ratio* (CNR). CNR adalah rasio antara intensitas objek dan noise disekitar latar belakang. Semakin besar nilai CNR, semakin jelas perbedaan antara objek dan noise disekitar latar belakang. Gambar dengan nilai CNR tinggi akan lebih mudah digunakan untuk diagnosis daripada gambar dengan nilai CNR rendah. Oleh karena itu, sangat penting untuk memperhatikan nilai CNR agar gambar yang dihasilkan berkualitas baik. Untuk menghasilkan nilai CNR yang optimal, perlu memperhatikan factor eksposur yang digunakan selama pemeriksaana CT scan. Pengaturan factor eksposur yang tepat akan menghasilkan gambar yang dapat menunjukkan perbedaan yang jelas dalam tingkat kehitaman antar organ. Peningkatan Contrast to Noise Ratio berkorelasi positif dengan resolusi spasial dan kemampuan deteksi lesi yang lebih baik, mendukung akurasi diagnostik yang tinggi. Faktor eksposur, yang meliputi tegangan tabung, arus tabung, dan waktu eksposur, memengaruhi kuantitas dan energi sinar-X yang dihasilkan, yang secara langsung berdampak pada kualitas gambar dan tingkat kebisingan (Dewi et al, 2022).

Tegangan tabung yang lebih tinggi umumnya meningkatkan penetrasi sinar-X dan mengurangi kebisingan, tetapi juga dapat meningkatkan dosis pasien. Sebaliknya, arus tabung (mA) yang lebih tinggi akan meningkatkan jumlah foton yang dihasilkan, menghasilkan pengurangan noise dan peningkatan kualitas citra, namun bersamaan dengan itu juga akan meningkatkan dosis radiasi yang diterima pasien. Optimalisasi tegangan tabung (kV) dan arus tabung (mA) sangat penting untuk menyeimbangkan antara kualitas citra diagnostik dan dosis radiasi yang diterima pasien, dengan penelitian menunjukkan bahwa pengaturan 100 kV dan 200 mA dapat mengoptimalkan CT Number dan kualitas citra secara keseluruhan (Ansar et al, 2024).

Pemilihan tegangan tabung yang tepat juga krusial untuk mengoptimalkan kualitas gambar CT scan, di mana tegangan 120 kV dan 135 kV direkomendasikan untuk organ seperti ginjal, hati, dan paru-paru karena menghasilkan nilai Signal-to-Noise Ratio dan Contrast-to-Noise Ratio yang lebih baik (Faqih et al, 2024). Dengan demikian, penyesuaian parameter akuisisi seperti tegangan dan arus tabung harus dilakukan secara cermat untuk mencapai keseimbangan optimal antara dosis radiasi yang aman dan kualitas citra diagnostik yang memadai. Meskipun demikian, penggunaan tegangan tabung yang lebih rendah dapat secara efektif mengurangi dosis radiasi tanpa mengorbankan kualitas citra secara signifikan, terutama bila dikombinasikan dengan teknik rekonstruksi canggih seperti Automatic Exposure Control (Ansar et al, 2024).

Penurunan mAs atau kVp umumnya menurunkan dosis tetapi meningkatkan noise dan menurunkan SNR; menurunkan kVp dapat meningkatkan kontras untuk bahan dengan beda Z-efektif besar namun juga dapat mempengaruhi artefak dan dosis efektif. Oleh karena itu, trade-off antara pengurangan dosis dan kemampuan mendeteksi lesi (terutama lesi berkontras rendah di parenkim otak) perlu diuji secara objektif (Prabsattroo et al., 2023). Studi penerapan low-dose pada anatomi tertentu (mis. temporal bone) menunjukkan penurunan dosis substansial (mis. >50–70%) dengan penurunan kualitas citra yang seringkali masih dalam batas diagnostik untuk struktur tertentu, namun struktur yang sangat halus dapat terdegradasi pada dosis sangat rendah. Hasil-hasil tersebut membantu menggambarkan prinsip optimisasi dosis tetapi tidak langsung dapat digeneralisasi ke seluruh pemeriksaan CT kepala. Meskipun demikian, variasi tegangan tabung diketahui memengaruhi distribusi berkas sinar-X, dosis CT-Scan, noise, dan kontras citra, sehingga penting untuk mempertimbangkan implikasi ini dalam optimasi protokol. Lebih lanjut, ketebalan irisan juga berperan penting; irisan yang lebih tebal cenderung mengurangi tingkat noise, sementara irisan yang lebih tipis dapat meningkatkan noise, yang secara langsung memengaruhi kemampuan deteksi dan resolusi spasial (Dewilza et al, 2023).

Penentuan tegangan tabung sinar-X yang optimal sangat krusial karena merupakan faktor dominan dalam menghasilkan energi sinar-X yang diperlukan untuk menembus objek dan memengaruhi densitas citra serta rasio sinyal-terhadap-derau (Gede et al, 2020). Pada kasus stroke non-hemoragik, protokol fast stroke dengan ketebalan irisan 1,25 mm telah ditemukan optimal, menghasilkan detail gambar tinggi meskipun dengan potensi noise yang lebih tinggi (Dewilza et al, 2023). Namun, untuk mempertahankan kualitas gambar diagnostik pada ketebalan irisan yang lebih tipis, penyesuaian parameter lain seperti arus tabung atau penggunaan algoritma rekonstruksi iteratif canggih menjadi esensial untuk mengelola noise yang meningkat. Penggunaan algoritma rekonstruksi iteratif, seperti Adaptive Statistical Iterative Reconstruction-V dan Deep Learning Image Reconstruction, telah terbukti efektif dalam mengurangi noise secara signifikan dan meningkatkan kualitas gambar pada dosis radiasi yang lebih rendah (Setiawan et al, 2023).

Oleh karena itu, diperlukan penelitian secara khusus membandingkan protokol dosis standard an dosis rendah pada pemeriksaan CT-scan kepala dengan menilai baik kualitas radiasi (CTDIvol) maupun keluaran citra (CNR dan MTF).

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Mengukur nilai keluaran radiasi sistem CT scan melalui parameter CT DIvol pada perbandingan protokol dosis standar dan dosis rendah menggunakan phantom kepala.
2. Menentukan kualitas citra (CNR dan MTF) phantom kepala pada protokol dosis standard dan dosis rendah

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat membantu dalam menentukan pengaturan yang optimal antara protokol dosis standard an dosis rendah terhadap keluaran radiasii dan kualitas citra pada pemeriksaan CT scan kepala. Hal ini agar bisa membantu para klinis dalam memperoleh citra dengan kualitas diagnostik yang tetap akurat.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober - November 2025 bertempat di Instalasi Radiologi RSUD Mamuju, Sulawesi Barat.

2.2. Bahan dan Alat

2.2.1 Alat

1. Pesawat CT-scan Siemens
2. Aplikasi IndoQCT

2.2.2 Bahan

1. Phantom Kepala

2.3 Metode Penelitian

2.3.1 Protokol Akusisi

Protokol akusisi pada penelitian ini disusun dengan mengacu pada penelitian pembandingan yang dilakukan oleh Rashma et al., (2024), yang membandingkan protokol dosis standar dan dosis rendah pada pemeriksaan CT scan kepala. Dalam penelitian ini, pemeriksaan CT kepala dilakukan menggunakan CT multislice dengan dua variasi protokol. Protokol dosis standar menggunakan pengaturan tegangan tabung 130 kVp dengan arus tabung 250 mAs, sedangkan protokol dosis rendah menggunakan tegangan tabung 130 kVp dengan arus tabung 200 mAs. Parameter lain seperti *collimation*, *slice thickness*, *pitch* dan *field of view* (FOV) dijaga konstan untuk kedua protokol agar perbandingan hasil lebih objektif.

2.3.2 Evaluasi Parameter Radiasi

2.3.2.1 CTDIvol

Konsep CTDIvol merepresentasikan intensitas keluaran radiasi dari sistem CT scan yang dipaparkan ke area pemeriksaan. Pada dasarnya, CTDIvol merupakan indikator untuk mengukur besarnya paparan radiasi per irisan (*slice*) yang dikeluarkan oleh tabung sinar X selama prosedur pemindaian berlangsung. Secara matematis CTDIvol (mGy) diungkapkan dalam rumusan (Elshaday., 2020)

2.3.3 Evaluasi Kualitas Citra

2.3.3.1 CNR

CNR merupakan parameter yang menggambarkan kemampuan sistem CT dalam menampilkan perbedaan densitas objek terhadap latar belakang dengan mempertimbangkan tingkat noise. Perhitungan nilai CNR dilakukan dengan menempatkan ROI (Region of Interest) pada area objek dan area background, kemudian menggunakan persamaan : (Mutiar., 2023)

$$\text{CNR} = \frac{|A-B|}{SD} \quad (3)$$

Dengan nilai A adalah nilai rata-rata HU pada ROI objek, B adalah nilai rata-rata HU pada background, dengan SD adalah simpangan baku (noise) pada background. Semakin tinggi nilai CNR menunjukkan citra yang dihasilkan memiliki kualitas kontras yang lebih baik dan lebih mudah diinterpretasikan secara diagnostic. Penentuan ROI mengacu pada metode yang digunakan (Mutiar, 2023), yaitu menempatkan ROI pada pusat citra, background, serta beberapa titik perifer untuk memperoleh nilai CNR yang representatif.

2.3.3.2 MTF

MTF digunakan untuk menilai resolusi spasial atau resolusi kontras tinggi dari citra CT. MTF dihitung berdasarkan fungsi sebaran tepi (*Edge Spread Function*), yang kemudian diturunkan menjadi fungsi sebaran garis (*Line Spread Function*) dan dilakukan transformasi Fourier untuk menghasilkan kurva MTF. Nilai MTF 10% umumnya digunakan sebagai acuan, karena mewakili batas frekuensi spasial terendah dimana objek masih dapat divisualisasikan secara klinis (Mutiar, 2023).

Dalam praktiknya, pengukuran dilakukan dengan menggunakan *software* analisis citra yaitu IndoQCT dengan menempatkan ROI pada modul resolusi kontras tinggi pada phantom, sesuai prosedur (Mutiar, 2023) semakin besar nilai MTF menunjukkan kemampuan sistem CT dalam mereproduksi detail spasial dengan lebih baik.

2.4 Alur Penelitian

