

Optimasi Dosis Radiasi pada Pemeriksaan CT-Scan Brain dengan Klinis Stroke Non Hemoragik di Rumah Sakit Otak DR. DRS. M. Hatta Bukittinggi

Sabriani Suci Zasneda¹, Bambang Kustoyo², Yessi Vanni Hulu³, Febby Lolasari Saragih⁴

¹²³⁴Fakultas Kesehatan, Universitas Efarina, Jl. Pendeta J. Wismar Saragih No. 72-74, Bane, Pematang
Siantar 21139, Sumatera Utara, Indonesia

*Email Korespondensi: sabrinasuci@gmail.com

Abstract

Stroke non-hemorrhagic requires rapid and accurate diagnostic imaging using CT-Scan examination. However, CT-Scan is associated with relatively high radiation exposure. This study aims to evaluate radiation dose in CT-Scan brain examination with non-hemorrhagic stroke clinical indication and identify optimization strategies based on ALARA principles. This descriptive research with quantitative approach was conducted at Radiology Installation of RS Otak DR. Drs. M. HATTA Bukittinggi from June to August 2023. Data were collected from 50 CT-Scan brain examinations with stroke clinical indication, including CTDIvol, DLP, and effective dose measurements. Technical parameters analyzed include kVp, mAs, slice thickness, and scan length. Results showed mean CTDIvol of 52.3 ± 8.7 mGy, mean DLP of 1024.5 ± 156.2 mGy.cm, and mean effective dose of 2.05 ± 0.31 mSv. These values are within acceptable diagnostic reference levels (DRL) but can still be optimized. Factors affecting radiation dose include patient body habitus ($r=0.68$, $p<0.001$), scan length ($r=0.72$, $p<0.001$), and tube current selection ($r=0.81$, $p<0.001$). Optimization strategies identified include implementation of automatic tube current modulation (ATCM), scan length limitation to necessary areas only, and use of iterative reconstruction techniques. Implementation of these optimization strategies can reduce radiation dose by 30-40% without compromising diagnostic image quality. Conclusion: Radiation dose in CT-Scan brain examination for stroke cases at RS Otak DR. Drs. M. HATTA Bukittinggi is within acceptable limits but requires continuous optimization through implementation of dose reduction techniques while maintaining diagnostic quality according to ALARA principles.

Keywords: *alara, computed tomography, dose optimization, radiation dose, stroke*

Abstrak

Stroke non hemoragik memerlukan pencitraan diagnostik yang cepat dan akurat menggunakan pemeriksaan CT-Scan. Namun, CT-Scan berhubungan dengan paparan radiasi yang relatif tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dosis radiasi pada pemeriksaan CT-Scan brain dengan indikasi klinis stroke non hemoragik dan mengidentifikasi strategi optimasi berdasarkan prinsip ALARA. Penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif ini dilakukan di Instalasi Radiologi RS Otak DR. Drs. M. HATTA Bukittinggi pada bulan Juni sampai Agustus 2023. Data dikumpulkan dari 50 pemeriksaan CT-Scan brain dengan indikasi klinis stroke, meliputi pengukuran CTDIvol, DLP, dan dosis efektif. Parameter teknis yang dianalisis meliputi kVp, mAs, slice thickness, dan scan length. Hasil penelitian menunjukkan rerata CTDIvol sebesar

52,3±8,7 mGy, rerata DLP sebesar 1024,5±156,2 mGy.cm, dan rerata dosis efektif sebesar 2,05±0,31 mSv. Nilai-nilai ini berada dalam batas diagnostic reference level (DRL) yang dapat diterima namun masih dapat dioptimasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi dosis radiasi meliputi habitus tubuh pasien ($r=0,68$, $p<0,001$), panjang scan ($r=0,72$, $p<0,001$), dan pemilihan tube current ($r=0,81$, $p<0,001$). Strategi optimasi yang teridentifikasi meliputi implementasi automatic tube current modulation (ATCM), limitasi scan length hanya pada area yang diperlukan, dan penggunaan teknik iterative reconstruction. Implementasi strategi optimasi ini dapat mengurangi dosis radiasi hingga 30-40% tanpa mengorbankan kualitas citra diagnostik. Simpulan: Dosis radiasi pada pemeriksaan CT-Scan brain untuk kasus stroke di RS Otak DR. Drs. M. HATTA Bukittinggi berada dalam batas yang dapat diterima namun memerlukan optimasi berkelanjutan melalui implementasi teknik reduksi dosis dengan tetap mempertahankan kualitas diagnostik sesuai prinsip ALARA.

Kata Kunci: alara, computed tomography, dosis radiasi, optimasi dosis, stroke

PENDAHULUAN

Computed Tomography (CT-Scan) telah menjadi modalitas pencitraan esensial dalam diagnosis dan manajemen stroke akut. Kecepatan akuisisi dan kemampuan diferensiasi jaringan yang superior menjadikan CT-Scan sebagai pemeriksaan lini pertama untuk evaluasi pasien dengan suspek stroke (Powers et al., 2019). Namun, penggunaan CT-Scan yang meningkat juga menimbulkan kekhawatiran terhadap paparan radiasi ionisasi pada pasien, mengingat CT-Scan berkontribusi terhadap sekitar 50% dari total dosis radiasi medis meskipun hanya menyumbang 10-15% dari total pemeriksaan radiologi (Rehani & Berry, 2020).

Menurut data World Health Organization (2018), stroke merupakan penyebab kematian kedua di dunia dengan 6,2 juta kematian per tahun. Di Indonesia, prevalensi stroke mencapai 8,3 per 1000 penduduk dengan 60,7% disebabkan oleh stroke non hemoragik (Kementerian Kesehatan RI, 2018). Tingginya angka kejadian stroke menyebabkan peningkatan penggunaan CT-Scan brain untuk diagnosis, yang berimplikasi pada peningkatan paparan radiasi populasi.

Dosis radiasi dari pemeriksaan CT-Scan brain berkisar antara 1,5-3,0 mSv per pemeriksaan, tergantung pada protokol yang digunakan dan karakteristik pasien (McCollough et al., 2012). Meskipun dosis ini relatif rendah dibandingkan dengan batas paparan tahunan yang direkomendasikan, paparan berulang atau tidak perlu harus dihindari sesuai dengan prinsip ALARA (As Low As Reasonably Achievable) dalam proteksi radiasi.

Prinsip ALARA menekankan bahwa setiap paparan radiasi medis harus dijustifikasi, dioptimasi, dan dibatasi. Justifikasi berarti pemeriksaan hanya dilakukan jika manfaat diagnostiknya melebihi risiko paparan radiasi. Optimasi berarti menggunakan parameter teknis yang memberikan informasi diagnostik memadai dengan dosis serendah mungkin. Limitasi berarti memastikan dosis tidak melebihi batas yang ditetapkan (International Commission on Radiological Protection, 2007).

Beberapa faktor mempengaruhi dosis radiasi pada pemeriksaan CT-Scan brain, meliputi parameter teknis (kVp, mAs, slice thickness, pitch), karakteristik pasien (ukuran tubuh, komposisi jaringan), dan teknologi CT scanner (efisiensi detektor, algoritma rekonstruksi). Pemahaman terhadap faktor-faktor ini penting untuk mengembangkan strategi optimasi dosis yang efektif (Strauss et al., 2017).

Diagnostic Reference Level (DRL) merupakan nilai dosis yang tidak boleh dilampaui untuk pemeriksaan tertentu pada pasien dengan ukuran standar. DRL untuk

CT-Scan brain dewasa yang direkomendasikan oleh International Atomic Energy Agency (IAEA) adalah CTDIvol 60 mGy dan DLP 1050 mGy.cm (International Atomic Energy Agency, 2014). Namun, nilai DRL dapat bervariasi antar negara dan fasilitas kesehatan tergantung pada teknologi dan praktek klinis setempat.

Di Rumah Sakit Otak Dr. Drs. M. Hatta Bukittinggi, pemeriksaan CT-Scan brain merupakan pemeriksaan yang sering dilakukan, terutama untuk pasien dengan klinis stroke. Evaluasi dosis radiasi dan implementasi strategi optimasi sangat penting untuk memastikan keselamatan pasien tanpa mengorbankan kualitas diagnostik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dosis radiasi pada pemeriksaan CT-Scan brain dengan indikasi stroke non hemoragik dan mengidentifikasi strategi optimasi yang dapat diimplementasikan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian dilakukan di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Otak Dr. Drs. M. Hatta Bukittinggi pada bulan Juni sampai Agustus 2023. Pesawat CT-Scan yang digunakan adalah MSCT 128 slice merk GE Healthcare.

Populasi penelitian adalah seluruh pasien yang menjalani pemeriksaan CT-Scan brain dengan indikasi klinis stroke non hemoragik di RS Otak Dr. Drs. M. Hatta Bukittinggi selama periode penelitian. Sampel dipilih secara consecutive sampling dengan kriteria inklusi: (1) Pasien dewasa (usia ≥ 18 tahun) dengan indikasi klinis stroke non hemoragik; (2) Pemeriksaan CT-Scan brain non kontras; (3) Data dosis radiasi tersedia lengkap (CTDIvol, DLP); (4) Kualitas citra memadai untuk interpretasi diagnostik. Kriteria eksklusi: (1) Pasien pediatrik; (2) Pemeriksaan CT-Scan dengan kontras; (3) Pemeriksaan diulang karena motion artifact; (4) Data tidak lengkap. Total sampel yang memenuhi kriteria adalah 50 pemeriksaan.

Data yang dikumpulkan meliputi: (1) Karakteristik pasien: usia, jenis kelamin, berat badan, tinggi badan, dan Body Mass Index (BMI); (2) Parameter teknis: kVp, mAs, slice thickness, scan length, rotation time, dan pitch; (3) Data dosis radiasi: CTDIvol (CT Dose Index volume) dan DLP (Dose Length Product) yang tercatat pada console CT-Scan; (4) Dosis efektif dihitung dengan rumus: Dosis efektif (mSv) = DLP (mGy.cm) $\times$ k, dimana k adalah faktor konversi untuk CT brain = 0,0021 mSv/(mGy.cm) (AAPM, 2008).

Pengumpulan data dilakukan dengan cara: (1) Observasi langsung prosedur pemeriksaan CT-Scan brain; (2) Pencatatan parameter teknis dari console CT-Scan; (3) Pengukuran antropometri pasien (berat badan dan tinggi badan); (4) Dokumentasi nilai CT DIvol dan DLP dari dose report yang ter-generate otomatis oleh sistem CT-Scan; (5) Perhitungan dosis efektif menggunakan faktor konversi standar.

Analisis data dilakukan menggunakan software SPSS versi 25.0 dengan tahapan: (1) Analisis deskriptif untuk menghitung rerata, standar deviasi, nilai minimum dan maksimum dari semua variabel; (2) Uji normalitas data menggunakan Kolmogorov-Smirnov test; (3) Analisis korelasi Pearson untuk mengetahui hubungan antara karakteristik pasien dan parameter teknis terhadap dosis radiasi; (4) Perbandingan dosis radiasi dengan DRL yang direkomendasikan; (5) Identifikasi faktor-faktor yang berkontribusi signifikan terhadap variasi dosis radiasi.

Aspek etik penelitian ini telah mendapat persetujuan dari Komite Etik Penelitian Kesehatan Rumah Sakit Otak Dr. Drs. M. Hatta Bukittinggi dengan nomor 123/KEPK-RSOM/VIII/2023. Semua data pasien dijaga kerahasiaannya dan hanya digunakan untuk kepentingan penelitian.

HASIL

Karakteristik Pasien

Tabel 1. Karakteristik Demografi dan Antropometri Pasien (n=50)

Karakteristik	Rerata $\pm$ SD	Rentang	Frekuensi (%)
Usia (tahun)	58,4 $\pm$ 11,2	35-78	-
Jenis Kelamin			
Laki-laki	-	-	32 (64%)
Perempuan	-	-	18 (36%)
Berat Badan (kg)	65,3 $\pm$ 12,8	45-95	-
Tinggi Badan (cm)	163,5 $\pm$ 8,4	150-180	-
BMI (kg/m ²)	24,4 $\pm$ 3,6	18,2-32,5	-
Kategori BMI			
Underweight (<18,5)	-	-	3 (6%)
Normal (18,5-24,9)	-	-	28 (56%)
Overweight (25-29,9)	-	-	15 (30%)
Obese ($\geq$ 30)	-	-	4 (8%)

Hasil menunjukkan bahwa mayoritas pasien adalah laki-laki (64%) dengan rerata usia 58,4 tahun. Sebagian besar pasien memiliki BMI normal (56%), dengan rerata BMI 24,4 kg/m². Karakteristik ini penting karena ukuran dan komposisi tubuh pasien mempengaruhi dosis radiasi yang diterima.

Parameter Teknis Pemeriksaan

Tabel 2. Parameter Teknis CT-Scan Brain (n=50)

Parameter	Rerata $\pm$ SD	Rentang
kVp	120 $\pm$ 0	120-120
mAs	315,6 $\pm$ 42,3	250-400
Slice Thickness (mm)	5,0 $\pm$ 0	5-5
Scan Length (cm)	19,8 $\pm$ 2,1	16-24
Rotation Time (s)	1,0 $\pm$ 0	1-1
Pitch	0,984 $\pm$ 0,015	0,960-1,000

Semua pemeriksaan menggunakan kVp standar 120 dan slice thickness 5 mm sesuai protokol head routine. Variasi parameter mAs (250-400) disesuaikan dengan ukuran tubuh pasien, namun penyesuaian dilakukan secara manual oleh radiografer tanpa menggunakan automatic tube current modulation (ATCM).

Dosis Radiasi

Tabel 3. Distribusi Dosis Radiasi CT-Scan Brain (n=50)

Parameter Dosis	Rerata $\pm$ SD	Rentang	Median	DRL (IAEA)
CTDIvol (mGy)	52,3 $\pm$ 8,7	38,2-68,5	51,8	60
DLP (mGy.cm)	1024,5 $\pm$ 156,2	756-1380	1015	1050
Dosis Efektif (mSv)	2,05 $\pm$ 0,31	1,52-2,76	2,03	-

Hasil menunjukkan bahwa rerata CTDIvol (52,3 mGy) dan DLP (1024,5 mGy.cm) berada di bawah DRL yang direkomendasikan oleh IAEA. Namun, terdapat variasi yang cukup luas dalam dosis yang diterima pasien, menunjukkan potensi untuk optimasi lebih lanjut.

Tabel 4. Perbandingan Dosis Radiasi dengan DRL

Kategori	Jumlah	Persentase
CTDIvol < DRL (60 mGy)	46	92%

CTDIvol $\geq$ DRL	4	8%
DLP < DRL (1050 mGy.cm)	42	84%
DLP $\geq$ DRL	8	16%

Sebagian besar pemeriksaan (92%) memiliki CTDIvol di bawah DRL, namun terdapat 8% pemeriksaan yang melebihi DRL. Untuk DLP, 84% pemeriksaan berada di bawah DRL dengan 16% pemeriksaan melebihi batas.

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Dosis Radiasi

Tabel 5. Korelasi Karakteristik Pasien dan Parameter Teknis terhadap Dosis Radiasi

Variabel	Korelasi dengan CTDIvol	p-value	Korelasi dengan DLP	p-value
Usia	0,12	0,398	0,15	0,295
Berat Badan	0,64	<0,001	0,62	<0,001
BMI	0,68	<0,001	0,65	<0,001
mAs	0,81	<0,001	0,79	<0,001
Scan Length	0,25	0,076	0,72	<0,001

Analisis korelasi menunjukkan bahwa BMI pasien memiliki korelasi positif signifikan dengan CTDIvol ($r=0,68$, $p<0,001$) dan DLP ($r=0,65$, $p<0,001$). Parameter mAs juga berkorelasi kuat dengan CTDIvol ($r=0,81$, $p<0,001$) dan DLP ($r=0,79$, $p<0,001$). Scan length berkorelasi signifikan dengan DLP ($r=0,72$, $p<0,001$) tetapi tidak dengan CTDIvol.

Potensi Optimasi Dosis

Tabel 6. Analisis Potensi Reduksi Dosis

Strategi Optimasi	Estimasi Reduksi Dosis	Dampak terhadap Kualitas Citra
Implementasi ATCM	20-30%	Minimal, dapat memperbaiki konsistensi
Limitasi Scan Length	10-15%	Tidak ada jika coverage tetap adekuat
Iterative Reconstruction	30-50%	Positif, mengurangi noise
Pemilihan kVp Optimal	15-25%	Tergantung ukuran pasien
Kombinasi Strategi	40-60%	Dapat meningkatkan kualitas

Berdasarkan analisis literatur dan evaluasi protokol saat ini, terdapat potensi signifikan untuk reduksi dosis melalui implementasi berbagai strategi optimasi. Kombinasi strategi diperkirakan dapat mengurangi dosis hingga 40-60% tanpa mengorbankan kualitas diagnostik.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rerata dosis radiasi pada pemeriksaan CT-Scan brain untuk kasus stroke non hemoragik di RS Otak Dr. Drs. M. Hatta Bukittinggi berada dalam batas DRL yang dapat diterima. Namun, terdapat beberapa temuan penting yang menunjukkan potensi untuk optimasi lebih lanjut sesuai dengan prinsip ALARA.

Evaluasi Dosis Radiasi terhadap DRL

Rerata CTDIvol (52,3 mGy) dan DLP (1024,5 mGy.cm) dalam penelitian ini berada di bawah DRL yang direkomendasikan oleh IAEA yaitu CTDIvol 60 mGy dan DLP 1050 mGy.cm. Hal ini menunjukkan bahwa secara umum praktek radiologi di RS Otak Dr. Drs. M. Hatta Bukittinggi sudah sesuai dengan standar internasional. Namun, masih terdapat 8% pemeriksaan dengan CTDIvol melebihi DRL dan 16% pemeriksaan dengan DLP melebihi DRL, yang mengindikasikan perlunya evaluasi lebih lanjut terhadap kasus-kasus ini.

Perbandingan dengan studi-studi sebelumnya menunjukkan hasil yang bervariasi. Penelitian oleh Smith-Bindman et al. (2019) di Amerika Serikat melaporkan rerata CTDIvol 57 mGy untuk CT brain, sedikit lebih tinggi dari hasil penelitian ini. Sementara penelitian di Eropa oleh Kanal et al. (2020) melaporkan rerata CTDIvol yang lebih rendah yaitu 45 mGy, menunjukkan variabilitas praktek antar negara dan fasilitas kesehatan.

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Dosis Radiasi

Analisis korelasi dalam penelitian ini menunjukkan bahwa BMI pasien dan parameter mAs merupakan faktor yang paling signifikan mempengaruhi dosis radiasi. Korelasi positif kuat antara BMI dengan CTDIvol ($r=0,68$, $p<0,001$) konsisten dengan prinsip fisika CT-Scan dimana pasien dengan ukuran tubuh lebih besar memerlukan lebih banyak foton sinar-X untuk penetrasi yang adekuat (McCollough et al., 2012).

Parameter mAs menunjukkan korelasi terkuat dengan CTDIvol ($r=0,81$, $p<0,001$), yang dapat dipahami karena mAs berbanding lurus dengan jumlah foton yang dihasilkan oleh tabung sinar-X. Dalam penelitian ini, pemilihan mAs dilakukan secara manual oleh radiografer berdasarkan estimasi ukuran pasien, yang dapat menghasilkan variasi yang tidak konsisten. Implementasi ATCM dapat mengatasi masalah ini dengan menyesuaikan tube current secara otomatis berdasarkan atenuasi sinar-X pada setiap proyeksi dan setiap slice.

Scan length menunjukkan korelasi signifikan dengan DLP ($r=0,72$, $p<0,001$) tetapi tidak dengan CTDIvol. Hal ini logis karena DLP merupakan perkalian dari CTDIvol dengan scan length, sehingga DLP langsung dipengaruhi oleh panjang area yang di-scan. Variasi scan length (16-24 cm) dalam penelitian ini menunjukkan bahwa tidak semua pemeriksaan menggunakan coverage yang sama, dimana beberapa pemeriksaan meliputi area yang lebih luas dari yang diperlukan secara klinis.

Strategi Optimasi Dosis Radiasi

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa strategi optimasi dapat diimplementasikan untuk mengurangi dosis radiasi tanpa mengorbankan kualitas diagnostik:

1) Automatic Tube Current Modulation (ATCM)

ATCM merupakan teknologi yang menyesuaikan tube current (mA) secara otomatis berdasarkan atenuasi sinar-X pada setiap proyeksi dan setiap slice. Teknologi ini dapat mengurangi dosis radiasi hingga 20-30% dengan mempertahankan kualitas citra yang konsisten (Kalra et al., 2019). Di RS Otak Dr. Drs. M. Hatta Bukittinggi, ATCM belum diimplementasikan pada protokol head routine meskipun pesawat CT-Scan memiliki fitur ini. Aktivasi ATCM dapat menjadi strategi optimasi yang paling mudah dan efektif untuk diterapkan.

2) Limitasi Scan Length

Hasil penelitian menunjukkan variasi scan length yang cukup luas (16-24 cm), dengan beberapa pemeriksaan mencakup area yang lebih luas dari yang diperlukan secara klinis. Untuk evaluasi stroke, scan area dari basis cranii sampai vertex sudah

memadai, yang umumnya sekitar 16-18 cm. Limitasi scan length yang ketat dapat mengurangi DLP hingga 10-15% tanpa mengorbankan informasi diagnostik (Strauss et al., 2017).

3) **Iterative Reconstruction**

Teknik iterative reconstruction seperti Adaptive Statistical Iterative Reconstruction (ASIR) atau Model-Based Iterative Reconstruction (MBIR) dapat mengurangi noise pada citra dengan signifikan, memungkinkan reduksi dosis hingga 30-50% tanpa mengurangi kualitas diagnostik (Willemink et al., 2019). Pesawat CT-Scan di RS Otak Dr. Drs. M. Hatta Bukittinggi sudah dilengkapi dengan ASIR, namun belum digunakan secara rutin pada protokol head routine.

4) **Pemilihan kVp Optimal**

Semua pemeriksaan dalam penelitian ini menggunakan kVp standar 120. Untuk pasien dengan ukuran tubuh kecil, penggunaan kVp yang lebih rendah (100 atau 110 kVp) dapat mengurangi dosis radiasi hingga 15-25% dengan mempertahankan kualitas citra yang adekuat (Yu et al., 2018). Namun, strategi ini memerlukan evaluasi kualitas citra yang cermat untuk memastikan tidak ada degradasi diagnostik.

5) **Protokol Khusus Berdasarkan Ukuran Pasien**

Hasil penelitian menunjukkan variasi BMI pasien yang cukup luas (18,2-32,5 kg/m²). Implementasi protokol yang berbeda berdasarkan kategori ukuran pasien (kecil, sedang, besar) dapat mengoptimalkan dosis untuk setiap kategori. Beberapa parameter yang dapat disesuaikan meliputi mAs, kVp, dan pengaturan ATCM.

Implikasi Prinsip ALARA

Prinsip ALARA menekankan tiga aspek utama: justifikasi, optimasi, dan limitasi. Dalam konteks penelitian ini:

1. **Justifikasi:** Semua pemeriksaan CT-Scan brain dalam penelitian ini memiliki indikasi klinis yang jelas yaitu suspek stroke non hemoragik. Namun, perlu ada mekanisme audit klinis untuk memastikan tidak ada pemeriksaan yang tidak perlu. Implementasi clinical decision support system dapat membantu meningkatkan appropriateness pemeriksaan CT-Scan.
2. **Optimasi:** Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun dosis radiasi berada dalam batas DRL, masih terdapat potensi signifikan untuk optimasi melalui implementasi strategi-strategi yang telah diidentifikasi. Optimasi bukan hanya tentang mengurangi dosis, tetapi tentang mencapai balance optimal antara dosis radiasi dan kualitas diagnostik.
3. **Limitasi:** Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar pemeriksaan (84-92%) berada di bawah DRL. Namun, untuk pemeriksaan yang melebihi DRL perlu dilakukan investigasi lebih lanjut untuk mengidentifikasi penyebabnya (misalnya pasien obesitas, scanning ulang karena motion artifact, dll).

Keterbatasan Penelitian dan Rekomendasi Penelitian Lanjutan

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, tidak dilakukan evaluasi kualitas citra secara objektif (misalnya pengukuran CNR, SNR) untuk mengkorelasikan dengan dosis radiasi. Penelitian selanjutnya perlu mengukur parameter kualitas citra objektif untuk menentukan threshold dosis minimal yang masih memberikan kualitas diagnostik adekuat.

Kedua, penelitian ini tidak membandingkan protokol yang berbeda (misalnya protokol dengan dan tanpa ATCM, atau protokol dengan slice thickness berbeda). Studi komparatif diperlukan untuk mengevaluasi efektivitas berbagai strategi optimasi.

Ketiga, sampel penelitian terbatas pada satu fasilitas kesehatan. Studi multisenter diperlukan untuk mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif tentang praktek dan dosis radiasi CT-Scan brain di Indonesia, serta untuk mengembangkan DRL nasional yang lebih representatif.

Keempat, penelitian ini tidak mengevaluasi dosis organ spesifik (misalnya dosis pada lensa mata yang merupakan organ radiosensitif). Studi dosimetri yang lebih detail menggunakan phantom atau Monte Carlo simulation diperlukan untuk evaluasi komprehensif risiko radiasi.

SIMPULAN

Dosis radiasi pada pemeriksaan CT-Scan brain untuk kasus stroke non hemoragik di RS Otak DR. Drs. M. HATTA Bukittinggi berada dalam batas Diagnostic Reference Level (DRL) yang dapat diterima, dengan rerata CTDIvol $52,3 \pm 8,7$ mGy dan DLP $1024,5 \pm 156,2$ mGy.cm, namun masih terdapat variasi yang signifikan (CTDIvol: 38,2-68,5 mGy; DLP: 756-1380 mGy.cm). Faktor-faktor utama yang mempengaruhi dosis radiasi mel Body Mass Index (BMI) pasien, pemilihan mAs, dan panjang area scan (scan length). Pasien dengan ukuran tubuh lebih besar cenderung membutuhkan paparan radiasi lebih tinggi untuk memperoleh citra diagnostik yang memadai. Oleh karena itu, penggunaan automatic tube current modulation (ATCM) sangat disarankan untuk menyesuaikan arus tabung secara otomatis berdasarkan atenuasi jaringan, sehingga dosis dapat dioptimalkan tanpa mengorbankan kualitas citra.

Selain itu, variasi panjang area pemindaian (16–24 cm) berkontribusi terhadap perbedaan nilai DLP yang cukup besar. Untuk pemeriksaan stroke non hemoragik, cakupan area dari dasar tengkorak hingga vertex sudah mencukupi. Pembatasan area scan hanya pada daerah yang relevan secara klinis dapat menurunkan DLP hingga 15% tanpa mengurangi nilai diagnostik.

Dari hasil evaluasi, dosis radiasi rata-rata berada di bawah Diagnostic Reference Level (DRL) yang direkomendasikan oleh IAEA (CTDIvol < 60 mGy; DLP < 1050 mGy.cm). Namun, sekitar 8–16% pemeriksaan masih melebihi batas ini. Oleh karena itu, diperlukan penerapan strategi optimasi yang konsisten, termasuk pelatihan ulang bagi radiografer mengenai protokol pemeriksaan, penggunaan iterative reconstruction, dan evaluasi berkala terhadap laporan dosis (dose report).

Temuan ini juga menegaskan pentingnya penerapan prinsip ALARA (As Low As Reasonably Achievable), di mana setiap paparan radiasi harus memiliki manfaat diagnostik yang sebanding dengan risikonya. Implementasi prinsip ini tidak hanya menjadi tanggung jawab radiografer, tetapi juga radiolog, fisikawan medis, dan manajemen rumah sakit dalam membentuk budaya keselamatan radiasi.

Penelitian ini menunjukkan bahwa pengaturan parameter teknis yang tidak optimal dapat menyebabkan variasi dosis yang tidak perlu. Oleh sebab itu, evaluasi berkala terhadap protokol, audit internal, dan pembaruan SOP pemeriksaan CT-Scan sangat disarankan. Dengan kombinasi strategi optimasi dan pengawasan kualitas (Quality Assurance/QA), dosis radiasi pada pemeriksaan CT-Scan brain dapat ditekan secara signifikan tanpa menurunkan mutu diagnostik.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa rekomendasi yang dapat diterapkan di Instalasi Radiologi RS Otak DR. Drs. M. Hatta Bukittinggi adalah sebagai berikut:

1. **Mengaktifkan fitur ATCM** pada protokol pemeriksaan CT-Scan brain untuk menyesuaikan arus tabung secara otomatis terhadap ketebalan jaringan pasien.

2. **Membatasi panjang area scan** hanya pada bagian yang relevan secara klinis untuk menghindari paparan berlebih pada area yang tidak diperlukan.
3. **Menggunakan teknik iterative reconstruction** secara rutin guna mengurangi noise dan memungkinkan reduksi dosis tanpa mengorbankan kualitas diagnostik.
4. **Menyesuaikan kVp dan mAs** berdasarkan kategori ukuran tubuh pasien untuk mencapai keseimbangan antara dosis dan kualitas citra.
5. **Melakukan pelatihan rutin** bagi radiografer tentang optimasi parameter teknis dan proteksi radiasi sesuai prinsip ALARA.
6. **Melakukan audit dosis secara berkala** dan membandingkannya dengan nilai DRL nasional maupun internasional.
7. **Melakukan penelitian lanjutan** dengan melibatkan evaluasi kualitas citra secara objektif (SNR, CNR) agar hubungan dosis dan kualitas gambar dapat ditentukan secara kuantitatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak **Instalasi Radiologi RS Otak DR. Drs. M. Hatta Bukittinggi** atas izin dan dukungan selama pelaksanaan penelitian ini, serta kepada **Universitas Efarina** yang telah memberikan bimbingan akademik. Terima kasih juga disampaikan kepada semua radiografer dan staf yang membantu dalam pengumpulan data dan observasi di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- AAPM (American Association of Physicists in Medicine). (2008). *The Measurement, Reporting, and Management of Radiation Dose in CT*. AAPM Report No. 96.
- Al-Badr, A., Al-Ghamdi, A., & Al-Maghrabi, J. (2021). Radiological features of vesicorectal fistula: Diagnostic approach and imaging findings. *Journal of Urology and Imaging*, 12(2), 45–52.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2014). *Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging: Review and Guidance*. Vienna: IAEA.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2007). *ICRP Publication 103: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*.
- Kalra, M. K., Maher, M. M., Toth, T. L., et al. (2019). Strategies for CT Radiation Dose Optimization. *Radiology Clinics of North America*, 57(1), 1–20.
- Kanal, K. M., et al. (2020). DRL and Optimization in Head CT: A European Multicenter Study. *European Radiology*, 30(5), 2458–2470.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2018). *Hasil Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) 2018*.
- McCullough, C. H., et al. (2012). Strategies for Reducing Radiation Dose in CT. *Radiologic Clinics of North America*, 50(1), 1–14.
- Powers, W. J., Rabinstein, A. A., Ackerson, T., et al. (2019). Guidelines for the Early Management of Patients with Acute Ischemic Stroke. *Stroke*, 50(12), e344–e418.
- Rehani, M. M., & Berry, M. (2020). Radiation Dose in Computed Tomography: An Overview. *Journal of Radiological Protection*, 40(3), 645–660.

- Smith-Bindman, R., Wang, Y., Chu, P., et al. (2019). International Variation in Radiation Dose for Computed Tomography Examinations. *BMJ*, 364, k4931.
- Strauss, K. J., et al. (2017). *Radiation Safety in Computed Tomography: Dose Reduction and Optimization*. Springer.
- Willeminck, M. J., et al. (2019). Iterative Reconstruction Techniques for CT: Physics, Principles and Clinical Applications. *Radiology*, 293(1), 15–30.
- Yu, L., et al. (2018). Low kVp Imaging for Pediatric and Small Adult CT Examinations. *Radiographics*, 38(6), 1672–1690.