



Optimisasi Dosis dan Kualitas Citra CT-Scan untuk Variasi Pitch sebagai Upaya Proteksi Radiasi di Rumah Sakit Umum Pusat Adam Malik Medan

Josepa ND Simanjuntak¹, Martua Damanik¹, Elvita Rahmi Daulay¹

¹ Departemen Radiologi, RSUP H. Adam Malik, Medan Sumatera, 20136

josepasimanjuntak@gmail.com

Makalah Penelitian

Menyerahkan

3 Mei 2021

Diterima

14 Juli 2021

Terbit

26 Juli 2021

ABSTRAK

OPTIMISASI DOSIS DAN KUALITAS CITRA CT-SCAN UNTUK VARIASI PITCH SEBAGAI UPAYA PROTEKSI RADIASI DI RUMAH SAKIT UMUM PUSAT ADAM MALIK MEDAN. Optimisasi merupakan upaya dalam menjamin keselamatan radiasi pasien dan menjadi tindakan utama dalam mengatasi kekhawatiran terhadap paparan radiasi CT-Scan. Hal ini menyebabkan munculnya berbagai upaya pengurangan dosis. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan dosis yang minimal dengan citra tetap berkualitas. Upaya optimisasi dilakukan oleh tim radiologi di Rumah Sakit Adam Malik Medan menggunakan CT-Scan GE 16 slice dan water phantom ukuran diameter 16 dan 32 cm, serta borang kuesioner kualitas citra. Pengambilan data dilakukan dengan cara mengamati pemeriksaan CT-Scan head, chest dan abdomen pada pasien dewasa (≥ 15 tahun). Data yang diambil adalah nilai CTDI vol dan DLP selama setahun. Kemudian dilakukan scan water phantom dengan protokol head menggunakan parameter pitch 0,562 dan 0,938. Chest dan abdomen menggunakan pitch 1,375 dan 1,75. Hasil yang diperoleh dievaluasi dan diaplikasikan terhadap pasien. Kemudian dilakukan pengisian skor kuesioner kualitas citra. Hasil nilai CTDI_{vol} dan DLP dengan scan water phantom ukuran 16 dan 32 cm diperoleh penurunan nilai dosis, untuk pitch 0,938 lebih rendah 1,6% dibanding pitch 0,562 dan pitch 1,75 lebih rendah 1,2%, dibanding pitch 1,375. Untuk pemeriksaan CT head dengan menggunakan pitch 0,963 diperoleh nilai CTDI_{vol} 1,5% dan DLP 2%. Untuk chest dengan menggunakan pitch 1,75 diperoleh nilai CTDI_{vol} 1,3% dan DLP 2%, sedangkan pemeriksaan abdomen dengan pitch 1,75 diperoleh nilai CTDI_{vol} 1,8% dan DLP 1,4%. Dari ketiga hasil ini diperoleh nilai CTDI_{vol} dan DLP lebih tinggi dari nilai DRL nasional. Nilai yang diperoleh lebih tinggi dari DRL nasional disebabkan oleh perbedaan protokol uji phantom dengan implementasi klinis dan kurangnya ketelitian menggunakan parameter lainnya serta perubahan parameter scan tidak secara menyeluruh. Diperoleh nilai skor 3 dalam form kuesioner menyatakan citra masih dapat diinterpretasi oleh dokter radiologi. Dalam penelitian ini disimpulkan bahwa upaya optimisasi dapat dilakukan dengan cara mengubah parameter pitch dengan memperhatikan parameter lainnya tanpa mengurangi kualitas citra yang diinterpretasikan oleh dokter radiologi.

Kata kunci: Optimisasi, Dosis Radiasi, Pitch, Kualitas Citra, CT-Scan

ABSTRACT

Optimization is an effort to ensure patient radiation safety and is the main action in overcoming concerns about CT-Scan radiation exposure. This led to the emergence of various measures to reduce the dose. This study aims to obtain a minimal dose with a high-quality image. Optimization efforts were carried out by the radiology team at Adam Malik Hospital Medan using a 16 slice GE CT-Scan and a water phantom with a diameter of 16 and 32 cm and an image quality questionnaire form. Collected data by observing the head, chest, and abdomen CT-Scan in adult patients (≥ 15 years). The data taken is the value of CTDI vol and DLP for a year. Then a water phantom scan was carried out with the head protocol using pitch parameters 0.562 and 0.938. The chest and abdomen use pitches of 1.375 and 1.75.

The results obtained were evaluated and applied to patients, then filled in the image quality questionnaire scores. The results of CTDI_{vol} and DLP values with 16 and 32 cm water phantom scans showed a decrease in the dose value; for pitch 0.938, it was 1.6% lower than pitch 0.562, and pitch 1.75 was 1.2% lower, compared to pitch 1.375. For CT head examination using a pitch of 0.963, the CTDI_{vol} value was 1.5%, and DLP was 2%. For chest using a pitch of 1.75, CTDI_{vol} values were 1.3% and DLP 2%, while abdominal examination with a pitch of 1.75 obtained CTDI_{vol} values 1.8% and DLP 1.4%. From these three results, the CTDI_{vol} and DLP values were higher than the national DRL values. The value obtained is higher than the national DRL due to differences in the phantom test protocol with clinical implementation and the lack of accuracy in using other parameters. Changes in scan parameters are not comprehensive. Obtained a score of 3 in the questionnaire form stating that the radiology doctor can still interpret the image. This study concluded that it could make optimization efforts by changing the pitch parameter by paying attention to other parameters without reducing the quality of the image interpreted by the radiologist.

Keywords: Optimization, Radiation Dose, Pitch, Image Quality, CT-Scan

1. PENDAHULUAN

Pelayanan dengan modalitas *Computed Tomography Scanner* (CT-Scan) merupakan salah satu pelayanan radiologi diagnostik yang memanfaatkan radiasi pengion untuk melakukan diagnosis pasien. CT-Scan merupakan salah satu alat pencitraan yang mempunyai keunggulan, dapat menghasilkan kontras yang besar antar jaringan. Namun dosis pada CT-Scan lebih besar dibanding modalitas radiologi lainnya sehingga menimbulkan kekhawatiran terhadap paparan radiasi yang diterima pasien. Hal ini menyebabkan munculnya berbagai upaya untuk pengurangan dosis, salah satu upaya untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan optimisasi proteksi radiasi [1].

Proses optimisasi proteksi radiasi dalam CT-Scan merupakan upaya untuk meningkatkan keselamatan pasien yang membutuhkan kerja sama tim radiologi dalam berbagai profesi, seperti fisikawan medik, dokter spesialis radiologi, dan radiografer. Hal ini juga diperkuat oleh Parakh dkk. (2016) yang mengungkapkan bahwa pelaksanaan manajemen dosis pasien dibutuhkan kesepahaman dan komitmen oleh tim radiologi yang sangat mempengaruhi keberhasilan optimisasi, mengingat dosis dan kualitas citra pasien dipengaruhi oleh banyak faktor [1].

Optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi merupakan salah satu dari 3 (tiga) prinsip dasar proteksi radiasi, yang dikedepankan dalam menjamin keselamatan pasien dan menjadi salah satu tindakan utama yang ditekankan dalam praktik radiologi diagnostik dan intervensional, yang tercantum dalam dokumen *International Atomic Energy Agency* (IAEA) *Basic Safety Series* dan dalam pernyataan sikap bersama IAEA - *World Health Organization* (WHO) disebut dengan *Bonn Call-for-Action* [2].

Prinsip optimisasi telah ditetapkan secara nasional, oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) sebagaimana dimaksud dalam Peraturan BAPETEN No. 4 Tahun 2020 yang merupakan rekomendasi oleh IAEA dan WHO [3]. Dengan adanya tindakan optimisasi diharapkan mutu pelayanan terhadap pasien dapat meningkat, sehingga dapat memberikan kontribusi dalam hal pengadaan tingkat panduan dosis lokal maupun nasional atau *Diagnostic Reference Level* (DRL). Dengan melakukan optimisasi diharapkan dapat mencegah dan meminimalkan *unnecessary exposure* yang direkomendasikan oleh *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) *Publication* No. 135 [4].

Beberapa studi awal untuk upaya optimisasi telah dilakukan. Lubis dkk (2019), menyampaikan hasil optimisasi yang dilakukan di Rumah Sakit Anak dan Bunda Harapan Kita Jakarta, pada pemeriksaan CT kepala, thoraks dan abdomen pasien pediatrik dengan rentang usia 0-1, 1-5, 5-10 dan 10-15 tahun, diperoleh nilai *Dose Length Product* (DLP) dan *Volumetric Computed Tomography Dose Index* ($CTDI_{vol}$) untuk pasien berusia 10-15 tahun lebih tinggi dari nilai publikasi internasional [5] yang dimuat oleh Vassileva dkk (2015). Hal ini disebabkan panjang *scan* yang terlalu panjang dan penggunaan protokol kepala dewasa untuk beberapa kasus [6].

Simanjuntak, dkk (2018), menyampaikan dalam studi pendahuluan sebagai upaya optimisasi pada pemeriksaan CT *head*, abdomen pasien dewasa ≥ 15 tahun yang dilakukan di Rumah Sakit Adam Malik dan Rumah Sakit Universitas Sumatera Utara Medan diperoleh nilai $CTDI_{vol}$ dan DLP lebih tinggi dari DRL Inggris [7] yang dilaporkan oleh Shrimpton, dkk (2014) [8].

Survei dosis pasien CT toraks dewasa juga telah dilakukan oleh Damanik, dkk (2018), di rumah sakit yang sama dengan tujuan untuk mengetahui lebih awal nilai kebutuhan pengoptimalan dalam prosedur CT-Scan. Hasil metrik dosis yang dihitung dalam kuartil tiga (Q3) untuk GE Optima CT660 diperoleh nilai $CTDI_{vol}$ 75% dan DLP 63% dan untuk Philips Brilliance diperoleh nilai $CTDI_{vol}$ 33% dan DLP 46,6% masing-masing lebih tinggi dari DRL Internasional [9].

Ketiga studi awal ini merekomendasikan evaluasi lebih lanjut dengan melibatkan parameter kualitas citra dan parameter teknis lainnya untuk menemukan praktik terbaik.

Sebagai tindak lanjut langkah optimisasi pemeriksaan CT-Scan, dalam evaluasi parameter teknis untuk menjamin keselamatan pasien dengan dosis radiasi yang minimal dan citra tetap berkualitas, paper ini membahas tentang optimisasi dosis dan kualitas citra pada CT *head*, *chest* dan abdomen untuk variasi parameter *scan pitch*.

2. LANDASAN TEORI

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi dosis pasien dalam prosedur pemeriksaan CT-Scan adalah posisi pasien, *scan length* yang tepat, parameter *scan*, penggunaan kontras media dan tekniknya, post dan proses algoritma. Optimisasi dosis dapat dilakukan oleh tim radiologi dengan menggunakan faktor-faktor di atas [1].

Pada CT-Scan terdapat beberapa parameter *scan* yang perlu dievaluasi dalam upaya optimisasi seperti:

1. *Localizer image* dalam posisi *Anterior posterior* (AP), *Posterior Anterior* (PA) dan lateral.
2. *Scan mode* yaitu aksial dan helikal. Untuk aksial dengan *scan mode step and shoot*. Meja tidak bergerak selama akuisisi data sedangkan untuk helikal dengan *scan mode* tabung bergerak terus menerus selama pergerakan meja. Biasanya dilakukan untuk *body scan*.
3. Arus tabung adalah *milli ampere second* (mAs)/*slice*. Arus tabung dikalikan dengan waktu rotasi *gantry* dalam satuan detik.
4. *Tube potensial* (kV), merupakan beda potensial antara katoda dan anoda yang dapat mempengaruhi kualitas dan kuantitas produksi sinar-X. *Tube potensial* tidak memiliki hubungan linear terhadap dosis.
5. *Automatic Exposure Control* (AEC) merupakan suatu teknik untuk penyesuaian otomatis arus tabung. AEC berfungsi sesuai bentuk ukuran dan karakteristik atenuasi bahan atau obyek,
6. *Table movement* terdiri dari *table increment* (mm) dan *table feed* (mm/rotation). *Table increment* (mm) yaitu jarak tempuh meja antar *scan* yang digunakan dalam mode *axial*. *Table feed* (mm/rotation) yaitu jarak tempuh oleh meja 360° tiap rotasi *gantry*. Digunakan untuk mode helikal.
7. *Pitch* terdiri dari *beam pitch* dan *slice pitch*. *Beam pitch* yaitu *pitch* meja (mm) dibagi dengan lebar berkas X-ray (mm) dan *slice pitch* yaitu jarak (mm) per kolimasi detector (mm). *Pitch* adalah komponen penting pada protokol CT-Scan yang secara fundamental mempengaruhi kualitas gambar, waktu *scanning* dan dosis radiasi pada pasien. Parameter ini hanya ada pada mode spiral atau helikal. *Pitch* ditingkatkan nilainya untuk meningkatkan kecepatan proses *scanning* atau menurunkan dosis radiasi [10].
8. *Detector configuration*, merupakan data sepanjang pasien (*z-axis*) dikalikan dengan ketebalan efektif dari data yang aktif.
9. *Scan length*, dosis meningkat dengan meningkatnya panjang *scan*.
10. *Slice thickness* (mm), yaitu nominal lebar dari rekonstruksi gambar di *z-axis*. dan *slice interval* (mm) yaitu jarak antara dua gambar yang direkonstruksi secara berturut-turut.
11. *Reconstruction techniques* terdiri dari *Filtered Back Projection* (FBP) dan *Iterative Image Reconstruction* (IRT). FBP rentan terhadap *noise* dan artefak pada dosis rendah dan lebih cepat. IRT yaitu model matematika lebih baik dengan *noise* dan artefak pada dosis rendah dan lebih lambat daripada FBP.

Kuantitas radiasi yang digunakan untuk optimisasi pada CT-Scan yaitu $CTDI$ dan DLP. $CTDI$ merupakan metode penghitungan dosis pada CT-Scan yang dapat dilakukan pada fantom dan pada udara bebas. Pengukuran $CTDI$ pada fantom bisa diestimasi sebagai pengukuran dosis pada pasien dan pada permukaan tubuh pasien baik dosis permukaan atas dan permukaan bawah, karena sumber dan

detektor dari pesawat CT-Scan berputar 360°. CTDI diperoleh dengan cara mengintegrasikan profil dosis untuk satu kali *scanning*, dibagi dengan lebar kolimasi atau *slice width*, secara matematis dinyatakan dalam persamaan 1, diketahui $NT = \text{kolimasi}$. Biasanya CTDI ditampilkan pada layar monitor pada konsol CT-Scan.

$$CTDI = \frac{1}{NT} \int_{-\infty}^{\infty} D(z) dz \tag{1}$$

Beberapa modifikasi dan adaptasi CTDI. $CTDI_{100}$ mempresentasikan akumulasi dosis dari beberapa *scan* pada pertengahan dari panjang *scan* 100 mm dan tidak memperhitungkan akumulasi dosis dari panjang *scan* yang melebihi panjang 100 mm. $CTDI_{100}$ memiliki batasan pengukuran dari -50 sampai +50 mm.

$CTDI_{vol}$ untuk mendapatkan asumsi nilai $CTDI_{vol}$ dengan nilai *pitch* kurang dari 1 pada pengukuran CTDI di permukaan fantom. $CTDI_{vol}$ mewakili dosis rerata untuk *scan* volume (3D pada mode helikal). Harus dicatat bahwa $CTDI_{vol}$ menampilkan hasil keluaran CT-Scan bukan sebagai estimasi dosis yang diterima pasien. Secara matematis dinyatakan dalam persamaan 2.

$$CTDI_{vol} = \frac{1}{pitch} \times CTDI_w \tag{2}$$

Dari nilai $CTDI_{vol}$ diperoleh nilai DLP, yang menggambarkan total energi yang diserap dan efek biologi yang diakibatkan oleh pengambilan *scan*. DLP ini dalam satuan mGy.cm, secara matematis dinyatakan dalam persamaan 3.

$$DLP = CTDI_{vol} \times ScanLength(cm) \tag{3}$$

3. METODE

Upaya optimisasi ini dilakukan oleh tim radiologi (fisikawan medik, dokter spesialis radiologi, dan radiografer) di Rumah Sakit Adam Malik Medan, dengan menggunakan CT-Scan GE 16 *slice* yang terkalibrasi. Fantom yang digunakan adalah *water* fantom dengan ukuran diameter 16 dan 32 cm. Formulir kuesioner kualitas citra dengan skor 1, 2 dan 3.

Pengambilan data dilakukan dengan cara mengamati pemeriksaan CT *head*, *chest* dan abdomen pada pasien dewasa (≥ 15 tahun) selama setahun. Data yang diambil dalam nilai dosis radiasi dinyatakan dalam $CTDI_{vol}$ (dengan satuan mGy) dan DLP (dengan satuan mGy.cm). Kemudian dilakukan *scan* pada *water* fantom dengan protokol *head* menggunakan parameter *pitch* 0,562 dan 0,938. *Chest* dan abdomen menggunakan *pitch* 1,375 dan 1,75. Hasil nilai dosis dievaluasi dengan membandingkan nilai $CTDI_{vol}$ dan DLP sebelum dengan sesudah perubahan *pitch*. Kemudian hasil yang didapat diaplikasikan terhadap pasien. Untuk pemeriksaan CT *head* menggunakan parameter *pitch* 0,938 dan *chest* serta abdomen dengan *pitch* 1,75. kemudian hasilnya dievaluasi dan dilakukan pengisian skor kuesioner kualitas citra, yang dilaksanakan dalam waktu tertentu.

Adapun tanggung jawab masing-masing profesi dalam tim radiologi adalah fisikawan medik mencatat dan mengolah data, evaluasi data, menentukan skenario optimisasi, memeriksa kelayakan peralatan CT-Scan, fantom, menyiapkan formulir kuesioner kualitas citra dengan skor 1, 2 dan 3, menentukan parameter *pitch* yang digunakan dan mendiskusikan dengan radiografer yang akan dilakukan, percobaan dengan fantom, kemudian memaparkan hasil dosis, dan mengevaluasi perubahan dosis terhadap hasil data awal.

Radiografer memberikan informasi ruang optimisasi pada pemeriksaan CT *head*, *chest* dan *abdomen*, menyepakati dan melaksanakan parameter *pitch* yang digunakan, mendiskusikan tata laksana perubahan dengan fisikawan medik. Dokter spesialis radiologi, mengisi dan menandatangani formulir kuesioner kualitas citra dengan

nilai skor yang ditentukan dan mendeteksi penurunan kualitas citra akibat perubahan parameter *pitch*.

Kualitas citra yang diinterpretasikan oleh dokter radiologi berdasarkan kuesioner dengan skor angka 1, 2, 3 sebagai berikut; skor (1) citra seperti ini tidak bagus dan tidak dapat saya baca, mohon diulangi. Skor (2) citra ini sebetulnya tidak seperti yang saya harapkan, namun dapat saya baca. Skor (3) citra seperti ini yang saya harapkan, tetap mempertahankan kualitas seperti ini.

Adapun siklus optimisasi yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 1.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan evaluasi terhadap nilai $CTDI_{vol}$ dan DLP pasien selama setahun, diperoleh data bahwa nilainya lebih tinggi dari nilai DRL nasional.

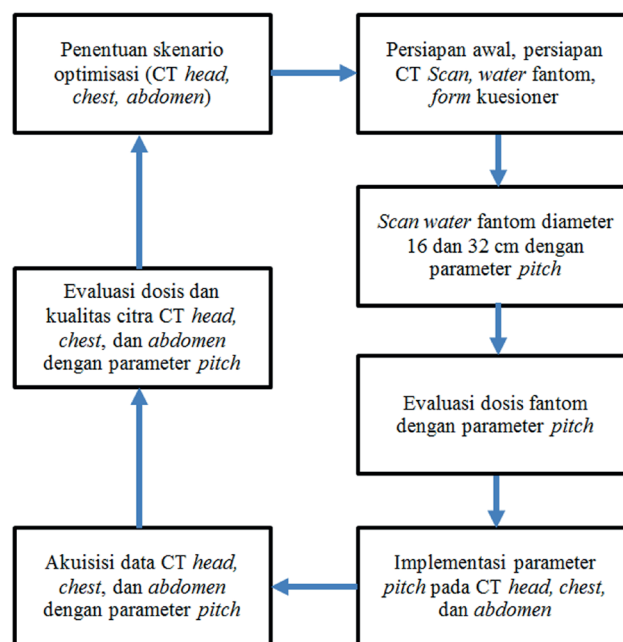
Adapun data yang diperoleh untuk upaya optimisasi dosis pada pemeriksaan CT *head*, *chest* dan abdomen melalui *scan* fantom dengan perubahan *pitch* ditunjukkan seperti pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa terjadi penurunan dosis dengan perubahan *pitch*. Protokol dengan *scan water* fantom diameter 16 cm nilai *pitch* 0,938 diperoleh $CTDI_{vol}$ dan DLP 1,6% lebih rendah dibandingkan dengan *pitch* 0,562. Untuk *water* fantom diameter 32 cm dengan *pitch* 1,75, $CTDI_{vol}$ dan DLP 1,2% lebih rendah dibandingkan *pitch* 1,375. Setelah dilakukan evaluasi terhadap nilai $CTDI_{vol}$ dan DLP lalu hasilnya diaplikasikan terhadap pasien seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai $CTDI_{vol}$ dan DLP masing-masing pemeriksaan dengan perubahan *pitch* masih terjadi peningkatan dosis, dan dibandingkan dengan nilai DRL nasional atau *National Dose Reference Level* (NDRL) tahun 2020 lebih tinggi.

Terjadi peningkatan dosis dengan menggunakan parameter *pitch* yang seharusnya menurun disebabkan oleh perbedaan protokol uji fantom dengan implementasi klinis dan kurangnya ketelitian menggunakan parameter lainnya serta perubahan parameter *scan* yang tidak secara menyeluruh.

Evaluasi subjektif kualitas citra oleh dokter spesialis radiologi terhadap citra CT *head* dengan menggunakan *pitch* 0,963 dan citra *chest* dan abdomen dengan *pitch* 1,75 menggunakan formulir kuesioner masing-masing menunjukkan skor 3. Artinya, kualitas citra tetap dapat dinilai meskipun terjadi peningkatan dosis.



Gambar 1: Siklus pelaksanaan optimisasi di Rumah Sakit Adam Malik Medan.

Tabel 1: Scan water fantom dengan perubahan nilai pitch

Fantom	Speed (mm/rot)	kV	mA	Total Ekspos (s)	Tebal (mm)	Rotasi (s)	FoV (cm)	CTDIvol (mGy)	DLP (mGy.cm)
Diameter 16 cm									
Pitch 0,562	5,62	120	300	31,77	5	1	25	121,63	2174
Pitch 0,938	9,37	120	300	19,4	5	1	25	72,98	1310
Diameter 32 cm									
Pitch 1,375	13,75	120	300	9,05	5	0,8	50	20,05	312
Pitch 1,75	17,5	120	300	7,37	5	0,8	50	15,76	254

Tabel 2: Nilai CTDI_{vol} dan DLP terhadap pasien

Works	CTDI _{vol}	DLP
	(mGy)	(mGy.cm)
<i>Head</i>		
NDRL (2020)	55	1240
Pitch 0,562	74,34	2035
Pitch 0,938	85,14	2477
<i>Thorax</i>		
NDRL (2020)	11	480
Pitch 1,375	14,87	1015
Pitch 1,75	13,13	1047
<i>Abdomen</i>		
NDRL (2020)	10	854
Pitch 1,375	17,78	1100
Pitch 1,75	18,38	1218

5. KESIMPULAN

Optimisasi dosis pasien pada CT-Scan dapat dilakukan dengan menggunakan parameter *pitch* melalui *scan* pada *water* fantom sedangkan dalam penelitian ini didapat peningkatan dosis dengan parameter *pitch* karena perbedaan protokol uji fantom dengan implementasi klinis, kurangnya ketelitian menggunakan parameter lainnya dan perubahan parameter *scan* harus secara menyeluruh.

Disarankan agar dilakukan evaluasi lebih lanjut untuk optimisasi dengan memperhatikan parameter-parameter yang paling mempengaruhi dosis pasien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada tim radiologi diagnostik Rumah sakit Adam Malik Medan atas kontribusi dan kerja samanya sehingga makalah ini dapat selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Parakh, Mika K, Sebastian T.S, *CT Radiation dose management: A Comprehensive Optimization Process for Improving Patient Safety*, Radiology, Vol.280, No.3 radiology.rsna.org, September 2016;
- [2] *International Atomic Energy Agency, IAEA Safety Standards General Safety Requirements Part 3 No. GSR Part 3 Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*, 2014;
- [3] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Peraturan BAPETEN No. 4 Tahun 2020, tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional, 2020;
- [4] ICRP *Publication 135, Diagnostic Reference Level (DRL) in Medical Imaging*, 2017;
- [5] J. Vassileva, M. Rehani, D. Kostova - Lefterova, "A study to establish international diagnostic reference levels for paediatric computed tomography," *Radiat. Prot. Dosimetry* 165(1-4), 70-80, 2015;
- [6] L.E. Lubis, et al, "Local dose survey on paediatric multi-detector CT: A preliminary result," *IUPESM*, 236, v3, 2018;
- [7] J. ND. Simanjuntak dan L.E. Lubis, "Audit dosis pasien *Computed Tomography (CT) multi slice* untuk pemeriksaan kepala dan abdomen: studi pendahuluan", *Proceeding pertemuan Ilmiah Tahunan Fisika Medis dan Biofisika*, 2018;
- [8] P. C., Shrimpton, M.C., Hillier, S., Meeson and S.J, Golding, *Doses from computed tomography (CT) examinations in the UK 2011 review*, (Public Health England, Chilton), PHE-CRCE-013, 2014;
- [9] M. Damanik, J. ND. Simanjuntak, Zaenal, "Survey dosis pasien *thorax dewasa Computed Tomography (CT) multislice*: studi pendahuluan *Proceeding pertemuan Ilmiah Tahunan Fisika Medis dan Biofisika*, 2018;
- [10] RTI. *CT dose profiler*. Sweden: RTI Electronics AB, 2009;