

Profil Dosis Sekunder Ct Scan Sinus Paranasal Dengan Aplikasi Software *Organ Dose Modulation (ODM)*

Halinda Fatmayanti¹ Dwi Rochmayanti¹ Ade Irma Handayani² Andrey Nino Kurniawan¹ Yeti Kartikasari¹
¹Department of Radiodiagnostic and Radiotherapy Techniques, Poltekkes Kemenkes Semarang, Indonesia

Corresponding author: Halinda Fatmayanti
Email: halindafatmayanti@poltekkes-smg.ac.id

Received: written by editor; Revised: written by editor; Accepted: written by editor
(date of submission, 10pt)

ABSTRACT

Background: A radiological examination that can be used to evaluate SPN and facial bones is CT SPN. CT SPN increases the potential risk of radiation effects, especially on sensitive organs (thyroid and mammae). CT SPN exposure does not only affect the main organs but also the surrounding organs (secondary doses). The secondary dose also increases the risk of stochastic effects. Unfortunately, secondary doses are rarely measured. So, there is a need for safety and radiation protection like using Organ Dose Modulation (ODM) software. The purpose of this study was To determine the secondary dose in CT SPN using ODM software.

Methods: This research is quantitative research with an experimental study approach carried out in March–May 2023 at the Radiology Installation of Indriati Solo Baru Hospital. This research was carried out by *scanning* the phantom with standard CT SPN protocol and adding ODM software, then measuring the dose using TLD BARC which was placed on the thyroid and mammae area. The results of the absorbed dose in thyroid and mammae were analyzed descriptively and analytically.

Result: The mean absorbed dose value in the thyroid gland area without ODM software was 9.44 mSv and with ODM software was 5.12 mSv. In the breast area without ODM software, the mean absorbed dose value was 0.85 mSv, while using ODM software was 0.59 mSv. The decreased absorbed dose using ODM software in the thyroid is 44,57% and in the breast is 29,85%.

Conclusion: Using ODM software in CT SPN can reduce the secondary dose (thyroid and breast areas)

Keyword : CT SPN, *Organ Dose Modulation (ODM)*, *Secondary dose*

Introduction (*Pendahuluan*)

CT *scan* adalah modalitas diagnostik modern yang banyak digunakan untuk membantu dalam mendiagnosis berbagai penyakit (Hosseinzadeh, Ghaffari, Rezaeyan, & Deilami, 2021; Lahham, ALMasri, & Kameel, 2018; Larasati, Sari, Tiko Bahagia, Hartoyo, & Mulyati, 2021). CT *Scan* merupakan modalitas diagnostik yang menggunakan radiasi pengion (Lahham et al., 2018; Larasati et al., 2021). Prinsip dasar CT *scan* adalah teknik tomografi yaitu memindai keseluruhan tubuh dari berbagai arah (Fajria et al., 2014). Beberapa tahun terakhir, penggunaan pemeriksaan CT *scan* mengalami peningkatan. Hal ini menimbulkan kekhawatiran berkaitan dengan potensi risiko paparan radiasi. CT *scan* memberikan paparan radiasi lebih tinggi dibandingkan dengan pemeriksaan radiologi lainnya seperti pemeriksaan radiografi konvensional. CT *scan* memberikan dosis 52 – 122 kali lebih besar dibandingkan dengan

radiografi konvensional. Selama tiga dekade terakhir, rata-rata pemberian dosis radiasi mengalami kenaikan hingga tujuh kali lipat dari dosis sebelumnya (Berg, 2018; Hosseinzadeh et al., 2021; Layman et al., 2021).

Dosis radiasi yang diberikan ke masyarakat tidak hanya berdampak pada organ yang diperiksa tetapi berdampak juga pada seluruh jaringan. Hal ini disebabkan prinsip tomografi yaitu adanya akuisisi data (*scanning*) pada seluruh tubuh. Sehingga dosis radiasi didistribusikan secara merata ke seluruh tubuh, sehingga secara keseluruhan tubuh akan menerima dampak dari penerimaan radiasi. Dosis radiasi yang diberikan kepada pasien ini tidak hanya radiasi primer yaitu menuju organ tertentu, namun dari radiasi hamburan (radiasi sekunder) juga berkontribusi memberikan dosis pada organ lain selama pemeriksaan CT *scan* (Berg, 2018; Fajria et al., 2014). Radiasi hambur merupakan radiasi yang terbentuk akibat adanya interaksi antara radiasi

pengion dengan objek tertentu. Radiasi hambur seringkali tidak diperhatikan selama pemeriksaan CT scan. Efek adanya radiasi hambur menyebabkan penurunan kontras, mengurangi akurasi anatomi, dan meningkatkan dosis radiasi baik kepada pasien maupun radiografer (Fajria et al., 2014; Mohammadi, Hesamnezhad, & Mahdavi, 2021; Rosyida & Noor W, 2018). Paparan radiasi ini meningkatkan risiko terjadinya efek radiasi seperti katarak, kanker, dan penyakit kulit. Untuk mengurangi potensi terjadinya efek paparan radiasi dari CT scan perlu dilakukan optimasi paparan radiasi (Berg, 2018; Hosseinzadeh et al., 2021; Layman et al., 2021).

CT scan termasuk dalam *body imaging* yang membantu dalam mendiagnosis kelainan pada seluruh tubuh dan menampilkan citra anatomi jaringan lunak seperti jantung, paru-paru, otot, tulang, pembuluh darah, otak, dan lain-lain. Pemeriksaan CT scan terdiri dari berbagai macam seperti CT scan kepala, CT scan abdomen, CT scan dada, dan lain-lain ((Akşamoğlu & Menzilcioğlu, 2023; Larasati et al., 2021; Rukmana, Kamantuh, Dwinanto, & Saputri, 2021). Pemeriksaan CT scan meliputi beberapa pemeriksaan organ yang ada dikepala seperti sinus paranasal (SPN). SPN merupakan rongga berisi udara yang terbantu dari mukosa hingga fossa hidung dan terletak di tulang frontal, ethmoid, sphenoid, dan maksilaris ((John P.L dan Leslie E.K, 2018). Pemeriksaan CT SPN adalah *gold standar* untuk mengevaluasi area SPN dan tulang wajah (Akşamoğlu & Menzilcioğlu, 2023; Bang et al., 2016). CT SPN mampu menampilkan informasi yang penting seperti ukuran, posisi, dan bentuk dari tulang hidung, sinus, rongga hidung, dan struktur terkecilnya. Selain memberikan informasi anatomi, juga mampu membantu dalam mendiagnosis tumor, peradangan, trauma, dan penyakit lainnya (Yang, Sui, Liu, & Niu, 2022). Kelemahan dari CT SPN adalah adanya paparan radiasi ke lensa mata dan kelenjar tiroid (Chi et al., 2020; Dixon, Loader, Stevens, & Rowles, 2016). Paparan radiasi pada pemeriksaan CT SPN tidak hanya mengenai organ primer seperti lensa mata dan SPN, namun paparan radiasi juga mengenai beberapa organ sensitif di area kepala seperti kelenjar tiroid, paru-paru, mammae, dan lain-lain (Kalra, 2015; Mcdermott, Otrakji, & Kalra, 2017).

Penurunan paparan radiasi pada area kepala dapat dilakukan dengan optimasi proteksi radiasi. Optimasi proteksi radiasi adalah upaya untuk meningkatkan proteksi radiasi dan keselamatan sehingga radiasi yang dihasilkan serendah mungkin

dengan mempertimbangkan faktor ekonomi dan sosial. Selama ini paparan radiasi sekunder berkontribusi terhadap peningkatan paparan pada organ tidak terkena paparan primer, sehingga meningkatkan risiko paparan radiasi (Berg, 2018; Hosseinzadeh et al., 2021; Layman et al., 2021). Salah satu bentuk optimalisasi proteksi radiasi adalah dengan memperbaiki desain peralatan atau instalasi seperti penambahan software yang mampu menurunkan dosis paparan radiasi. Salah satu software yang dapat digunakan adalah *Organ Dose Modulation (ODM)* (Dixon et al., 2016). ODM atau *Tube Current Modulation (TCM)* atau *Automatic Exposure Control (AEC)* adalah software dari salah satu vendor CT scan yang menerapkan teknik modulasi reduksi arus tabung (mA). Fitur ODM dirancang berdasarkan smartmA, dimana ketika ODM diaktifkan mA akan berkurang sesuai dengan berat benda sehingga secara otomatis dapat mengurangi dosis ke organ tubuh. Dosis efektif ini dapat mengurangi sekunder paparan organ sekitar untuk mengurangi efek akhir akibat paparan radiasi (Dixon et al., 2016; Gandhi, n.d.; Irma Handayani, Rochmayanti, Dwi Handoko, Kemenkes Semarang, & Corresponding Author, 2023) Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas penggunaan ODM dalam menurunkan dosis sekunder pada pemeriksaan CT SPN khususnya pada organ yang sensitif terhadap paparan radiasi.

Methods (Metode)

Penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan pendekatan studi eksperimental. Waktu pengambilan data dilakukan pada bulan Maret – Mei 2023 di Instalasi Radiologi RS Indriati Solo Baru. Instrumen yang digunakan adalah CT Scan GE Revolution EVO 128 slice, phantom, dan 12 TLD BARC. Metode pengumpulan data dilakukan dengan prosedur pengukuran paparan dosis serapa pada area kiri leher yang mewakili sisi kiri tiroid dan area dada kanan yang mewakili area mammae kanan (lihat Fig.1).



Fig.1. TLD position in areas of organs left thyroid and right mammary gland.

Pengumpulan data dilakukan dengan cara *scanning* phntom dengan protokol rutin CT SPN dengan penambahan software ODM (lihat Table 1). Hasil dosis serap TLD kemudian dikirim ke Laboratorium Nuklindo, kemudian data yang dihasilkan diolah secara deskriptif analitik untuk mengetahui seberapa efektif penggunaan ODM dalam menurunkan dosis sekunder pada CT SPN.

Table 1. Protocol of CT SPN

Parameter	Value
Tube voltage	120 kV
Slice thickness	0,625 mm
Field of View (FOV)	18,9 cm
Pitch	0,531
Smart mA range	100 – 300 mA

Results and Discussion (Hasil dan Pembahasan)

Pengukuran dosis sekunder pada pemeriksaan CT SPN dilakukan sebanyak tiga kali dengan protokol yang sama. Dikarenakan 1 TLD digunakan untuk 1 kali pengukuran, maka pengukuran dosis sekunder CT SPN dilakukan dengan menggunakan TLD yang berbeda-beda namun dengan tipe dan jenis TLD yang sama. Masing-masing TLD sudah diberi kode dari Nuklindo Laboratorium sehingga memudahkan dalam pengelompokan pengukuran. Kode nomor terakhir 001 – 006 merupakan pemeriksaan CT SPN tanpa menggunakan software ODM, sedangkan kode nomor terakhir 007 – 012 merupakan pemeriksaan CT SPN dengan menggunakan software ODM.

Table 2. Results of secondary dose measurements in the thyroid gland area

TLD Code	Location	Dose (mSv)	Information
P0523-01-001	Thyroid Gland	10,491 ± 5%	ODM inactive exposure 1
P0523-01-003	Thyroid Gland	9,090 ± 5%	ODM inactive exposure 2
P0523-01-005	Thyroid Gland	8,729 ± 5%	ODM inactive exposure 3
P0523-01-007	Thyroid Gland	6,298 ± 5%	ODM active exposure 1
P0523-01-009	Thyroid Gland	5,035 ± 5%	ODM active exposure 2
P0523-01-011	Thyroid Gland	4,035 ± 5%	ODM active exposure 3

Hasil pengukuran dosis sekunder pada kelenjar thyroid dapat dilihat pada tabel 1. Hasil pengukuran menunjukkan adanya perbedaan paparan dosis di area kelenjar thyroid sebelum dan sesudah pengaktifan ODM. Pada eksposi 1 setelah pengaktifan ODM terjadi penurunan paparan dosis sebesar 4,193 mSv (40%), pada eksposi 2 terjadi penurunan sebesar 4,055 mSv (45%), dan pada eksposi 3 terjadi penurunan sebesar 4,694 (54%). Hasil rata-rata pengukuran dosis sekunder pada kelenjar thyroid pada pemeriksaan CT SPN tanpa mengaktifkan ODM adalah 9,44 mSv dan dengan mengaktifkan ODM adalah 5,12 mSv. Sehingga penurunan paparan dosis rata-rata di kelenjar thyroid sebesar 4,31 mSv (44,57%).

Table 3. Results of secondary dose measurements in the mammary area

TLD Code	Location	Dose (mSv)	Information
P0523-01-002	Mammae	0,822 ± 6%	ODM inactive exposure 1
P0523-01-004	Mammae	0,918 ± 6%	ODM inactive exposure 2
P0523-01-006	Mammae	0,799 ± 6%	ODM inactive exposure 3
P0523-01-008	Mammae	0,564 ± 6%	ODM active exposure 1
P0523-01-010	Mammae	0,607 ± 6%	ODM active exposure 2
P0523-01-012	Mammae	0,605 ± 6%	ODM active exposure 3

Hasil pengukuran dosis sekunder pada mammae dapat dilihat pada tabel 1. Hasil pengukuran menunjukkan adanya perbedaan paparan dosis di area mammae sebelum dan sesudah pengaktifan ODM. Pada eksposi 1 terjadi penurunan paparan dosis sebesar 0,258 mSv (31%), pada eksposi 2 terjadi penurunan sebesar 0,311 mSv (34%), dan pada eksposi 3 terjadi penurunan sebesar 0,194 (24%). Hasil rata-rata pengukuran dosis sekunder pada mamme pada pemeriksaan CT SPN tanpa mengaktifkan ODM adalah 0,85 mSv dan dengan mengaktifkan ODM adalah 0,59 mSv. Sehingga penurunan paparan dosis rata-rata di kelenjar thyroid sebesar 0,25 mSv (29,85%). Grafik penurunan dosis sekunder pemeriksaan CT SPN pada kelenjar thyroid dan mammae dapat dilihat pada Fig.2.

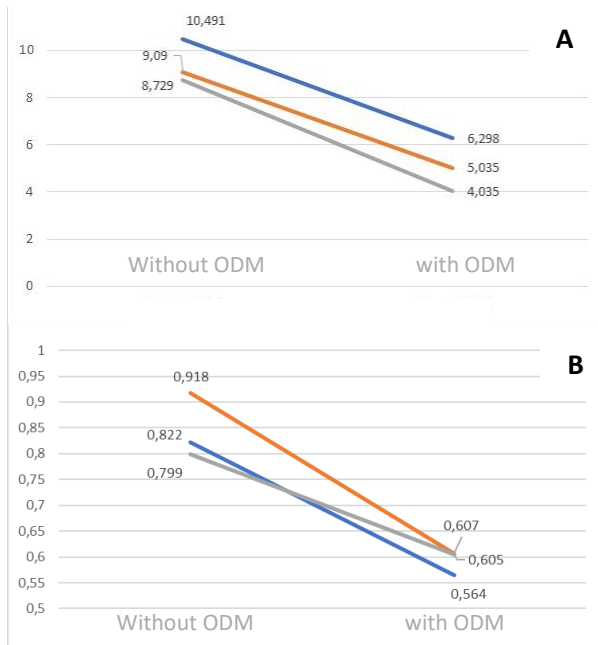


Fig.2. The Graph of Secondary Dose Reduction for CT SPN at Thyroid Gland (A) and Mammæ (B)

Pemeriksaan CT scan memiliki keunggulan dalam pemrosesan citra dengan tepat, memberikan kontras yang tinggi, dan membantu dalam penegakan diagnosa (Yang et al., 2022). Hal utama dalam CT scan adalah dosis yang diterima pasien dan kualitas citra yang saling berkaitan. Pengurangan dosis CT scan biasanya menyebabkan peningkatan noise pada citra (Rekdal, 2019). Selama ini pengukuran paparan radiasi hanya terfokus pada area pemindaian. Pada pemeriksaan CT SPN, organ sensitif yang mendapat paparan primer adalah lensa mata dan sinus paranasal. Kenyataannya, tidak hanya lensa mata dan sinus paranasal yang terkena radiasi, namun area di luar kepala seperti kelenjar tiroid, paru-paru, kelenjar susu, dan organ lainnya juga terkena paparan radiasi (Kalra, 2015).

Optimalisasi proteksi radiasi dan optimalisasi kualitas gambar CT scan telah banyak dilakukan, salah satunya dengan menambahkan software pada modalitas CT scan. Perangkat lunak *Organ Dose Modulation* (ODM) adalah perangkat lunak yang dikembangkan untuk mengurangi dosis dengan memodulasi arus tabung sinar-X untuk jaringan superfisial. Teknologi ini berbasis *SmartmA* untuk mengurangi mA pada sisi anterior tubuh tempat organ sensitif berada (Kalra, 2015; Rukmana et al., 2021). ODM adalah *Tube Modulation* (TCM) atau *Automatic Exposure Control* (AEC) yang memodifikasi arus tabung sehingga dosis yang diterima pasien lebih rendah (Gandhi et al., 2015). Teknik modulasi mA atau pengaturan arus tabung secara otomatis dapat melindungi organ yang

sensitif terhadap radiasi. Secara umum, area perlindungan organ yang dipilih adalah area 0 – 90 derajat pada pemeriksaan CT Kepala dan area 0 – 180 derajat pada pemeriksaan CT Tubuh. Teknologi ODM memberikan area perlindungan 0 - 90 derajat pada pemeriksaan CT kepala dan 0 - 150 derajat pada pemeriksaan CT Thorax. Skema penurunan mA dengan mengaktifkan ODM dapat dilihat pada Gambar 2. ODM tidak mempengaruhi arus tabung pada sisi bawah sehingga tidak terjadi pengurangan dosis radiasi dan tidak terjadi penurunan kualitas gambar (Rekdal, 2019).

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran paparan dosis sekunder pada pemeriksaan CT SPN dengan menggunakan phantom dan TLD. Hasil pengukuran didapatkan area luar scanning atau diluar area kepala mendapatkan paparan dosis. Hasil pengukuran dosis sekunder didapatkan dosis serap pada area kelenjar thyroid lebih besar dibandingkan dengan mammae. Hal ini dikarenakan area leher dekat dengan area scanning sedangkan mammae cukup jauh dari area scanning. Selain itu, perbedaan ketebalan jaringan juga mempengaruhi dosis serap pada kelenjar thyroid dan mammae. Perbedaan ketebalan jaringan ini menyebabkan penyerapan sinar-x yang dilalui berbeda. Jaringan yang lebih tebal akan menyerap sinar-x lebih banyak dan memerlukan lebih banyak energi untuk mencapai detektor, sedangkan jaringan lebih tipis akan menyerap sinar-x lebih sedikit. Area mammae lebih tebal dibandingkan dengan area kelenjar thyroid serta area mammae tidak masuk kedalam area scanning sehingga nilai dosis serap lebih kecil. Hal ini menunjukkan adanya paparan dosis sekunder pada organ sensitif diluar area scanning.

Hasil pengukuran Hasil pengukuran TLD menunjukkan adanya perbedaan antara penggunaan ODM dan tanpa ODM. Rata-rata dosis pada area thyroid mengalami penurunan sebanyak 44,57% dan rata-rata dosis pada area mammae mengalami penurunan sebanyak 29,85%. Hal ini sesuai dengan penelitian dari Gandhi, 2014 dimana penambahan software ODM mampu menurunkan dosis radiasi pada mata sebesar 18,9%, otak sebesar 10,1%, mammae sebesar 31,3%, paru-paru sebesar 20,7%, dan hati sebesar 24%. Selain itu penambahan software ODM mampu mengurangi dosis serap radiasi pada organ sensitif 5-38% (Gandhi, n.d.). Penggunaan ODM juga mampu menurunkan dosis di area payudara sebesar 30% dan pada organ lainnya sebesar 10%-30% (Fu et al., 2017).

ODM merupakan mode scan yang dikembangkan untuk mengurangi dosis radiasi

dengan metode modulasi arus tabung sinar-x untuk jaringan superfisial. Teknologi ODM ini didasarkan pada *SmartmA* yang berfungsi untuk mengurangi mA di sisi anterior manusia dimana organ sensitif berada (Rukmana et al., 2021b). mA yang merupakan satuan pengukuran arus listrik pada CT *scan* digunakan untuk mengukur intensitas arus yang mengalir melalui tabung sinar-x yang menghasilkan sinar-x untuk pemindaian. Pengaturan nilai mA akan mempengaruhi jumlah radiasi yang dihasilkan. Nilai mA yang tinggi akan menghasilkan arus listrik yang besar dan menghasilkan fluks sinar-x yang tinggi juga. Peningkatan nilai mA pada pasien akan meningkatkan ketajaman citra sehingga citra yang ditampilkan tampak lebih jelas. Namun, peningkatan mA ini akan memberikan dosis yang lebih tinggi, sehingga perlu adanya keseimbangan yang tepat antara dosis radiasi dan kualitas citra (Stewart C. Bushong, 2017; Seeram, 2019).

Efektivitas ODM dipengaruhi oleh ketepatan posisi objek pada isosenter, sehingga posisi yang kurang tepat akan berpengaruh terhadap efektivitas penurunan dosis (Rukmana et al., 2021b). Hal ini dapat dilihat pada hasil penelitian, dimana nilai dosis serap pada area kelenjar thyroid dan pada area mammae memiliki nilai yang jauh beda. Hal ini dikarenakan area mammae lebih jauh dari isosenter dan tidak masuk di area *scanning*. Sedangkan pada area kelenjar thyroid lebih dekat dengan isosenter dan masuk kedalam area *scanning*.

Software ODM ini sangat baik dalam menurunkan dosis pada organ-organ yang sensitif terhadap radiasi dengan cara pengaturan arus tabung otomatis (*SmartmA*). Area organ yang sensitif yang mengalami penurunan dosis biasanya pada sisi anterior hingga sisi samping ($0^\circ - 90^\circ$) dari isosenter di pemeriksaan CT kepala dan pada sisi anterior hingga belakang ($150^\circ - 180^\circ$) dari isosenter di pemeriksaan CT abdomen dan CT Thorax. Sehingga mampu menurunkan dosis sekitar 35% (Duan et al., 2011; Rekdal, 2019b). Rata-rata organ sensitif berada disisi anterior sehingga penggunaan software ODM ini sangat berpengaruh dalam penurunan dosis pada area sensitif, dimana cara kerja software ODM ini lebih menurunkan dosis pada sisi anterior. Menurut (Rekdal, 2019b) pada *scanning* phantom kepala didapatkan penurunan sekitar 37% pada sisi anterior (sisi Utara, Timur Laut, dan Barat Laut), sedangkan pada sisi posterior dosis yang diterima sama seperti pengaturan CT *scan* standar tanpa ODM. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang didapatkan dimana pada area

kelenjar thyroid mengalami penurunan yang lebih besar dibandingkan dengan area mammae.

Conclusion (Simpulan)

Software ODM sangat bermanfaat dalam penurunan dosis radiasi terutama pada organ-organ sensitif seperti kelenjar thyroid dan mammae pada pemeriksaan CT *Scan* SPN. Penurunan dosis pada area kelenjar thyroid sekitar 44,57% dan pada area mammae sekitar 29,85%.

Acknowledgements: The authors state there is no conflict of interest with the parties involved in this study

References (Daftar Pustaka)

- Akşamoğlu, M., & Menzilioğlu, M. S. (2023). *Evaluation of the Image Quality of Ultra-Low-Dose Paranasal Sinus Computed Tomography Scans*.
<https://doi.org/10.58600/eurjther.20232902-1131.y>
- Bang, M., Choi, S. H., Park, J., Kang, B. S., Kwon, W. J., Lee, T. H., & Nam, J. G. (2016). Radiation Dose Reduction in Paranasal Sinus CT. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*, *155*(6), 982–987.
<https://doi.org/10.1177/0194599816664335>
- Berg, H. (2018). *Radiation exposure to personnel during CT procedures Strålningsexponering för personal vid CT-undersökningar*.
- Chi, J., Xu, D., Yin, S., Li, M., Shen, L., Ding, N., ... Ji, Y. (2020). Reducing the radiation dose of pediatric paranasal sinus CT using an ultralow tube voltage (70 kVp) combined with iterative reconstruction: Feasibility and image quality. *Medicine (United States)*, *99*(34), E21886.
<https://doi.org/10.1097/MD.00000000000021886>
- Dixon, M. T., Loader, R. J., Stevens, G. C., & Rowles, N. P. (2016). An evaluation of organ dose modulation on a GE optima CT660-computed tomography scanner. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, *17*(3), 380–391.
<https://doi.org/10.1120/jacmp.v17i3.5724>
- Fajria, N., Setia Budi, W., Arifin, Z., & Fisika, J. (2014). Analisis Perbandingan Parameter dan Profil Dosis Menggunakan Phantom Standar dan Tidak Standar. *Youngster Physics Journal*, *3*(4), 303–310. Retrieved from <https://www.neliti.com/publications/213761/>
- Gandhi, D. (n.d.). *The Effects of Organ-based Tube Current Modulation on Radiation The Effects of Organ-based Tube Current Modulation on*

- Radiation Dose and Image Quality in Computed Tomography Imaging Dose and Image Quality in Computed Tomography Imaging.* Retrieved from https://epublications.marquette.edu/theses_open/277
- Gandhi, D., Crotty GE Healthcare Grant M Stevens GE Healthcare Taly Gilat Schmidt, D. J., Gilat, T., Crotty, D. J., Stevens, G. M., & Gilat Schmidt, T. (2015). quality effects of a computed tomography Organ-based Tube quality effects of a computed tomography Organ-based Tube Current Modulation Technique Current Modulation Technique Recommended Citation Recommended Citation Technical Note: Phantom Study to Evaluate the Dose and Image Quality Effects of a Computed Tomography Organ-Based Tube Current Modulation Technique. In *Medical Physics* (Vol. 42). Retrieved from https://epublications.marquette.edu/bioengin_fac/415
- Hosseinzadeh, V., Ghaffari, H., Rezaeyan, A., & Deilami, S. (2021). Estimating organ dose in computed tomography using tube current modulation: A Monte Carlo simulation. *International Journal of Radiation Research*, 19(3), 575–581. <https://doi.org/10.52547/IJRR.19.3.575>
- Irma Handayani, A., Rochmayanti, D., Dwi Handoko, B., Kemenkes Semarang, P., & Corresponding Author, I. (2023). Reduksi Dosis Serap Mata dengan Implementasi Software Organ Dose Modulation (ODM) pada Protokol CT Scan Sinus Paranasal. *Jurnal Imejng Diagnostik (JImeD)*, 9(2), 96–102. <https://doi.org/10.31983/JIMED.V9I2.10408>
- John P.L dan Leslie E.K. (2018). *Bontrager's Textbook Of Radiographic Positioning And Related Anatomy*.
- Kalra, M. K. (2015). *CT Radiation Dose and Iterative Reconstruction Techniques*. (April), 384–392. <https://doi.org/10.2214/AJR.14.13241>
- Lahham, A., ALMasri, H., & Kameel, S. (2018). Estimation Of Female Radiation Doses And Breast Cancer Risk From Chest Ct Examinations. *Radiation Protection Dosimetry*, 179(4), 303–309. <https://doi.org/10.1093/RPD/NCX283>
- Larasati, N., Sari, K., Tiko Bahagia, D., Hartoyo, P., & Mulyati, D. (2021). The Effects Of High Dose And Low Dose Protocols In Thorax's Ct Scan Image Quality. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 11(2).
- Layman, R. R., Hardy, A. J., Kim, H. J., Chou, E. N., Bostani, M., Cagnon, C., ... McNitt-Gray, M. (2021). A comparison of breast and lung doses from chest CT scans using organ-based tube current modulation (OBTCM) vs. Automatic tube current modulation (ATCM). *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 22(5), 97–109. <https://doi.org/10.1002/acm2.13198>
- Mcdermott, S., Otrakji, A., & Kalra, M. K. (2017). *Radiation Dose Optimization in CT*. <https://doi.org/10.1007/174>
- Mohammadi, G. R. F., Hesamnezhad, L., & Mahdavi, M. (2021). Scatter radiation dose profile evaluation in computed tomography using Monte Carlo simulation. *International Journal of Radiation Research*, 19(4), 813–818. <https://doi.org/10.52547/IJRR.19.4.6>
- Rekdal, A. L. (2019). *Radiation dose and image quality in CT - Comparison and evaluation of two different organ-based tube current modulation techniques and their impact on organ dose and image noise*. Retrieved from <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2625249>
- Rosyida, N., & Noor W, E. (2018). Measurement of Scattered Radiation Dose Around Radiology Unit at Dr. Saiful Anwar Hospital, Malang. *KnE Social Sciences*, 3(11), 669. <https://doi.org/10.18502/KSS.V3I11.2796>
- Rukmana, D. A., Kamantuh, V. S., Dwinanto, B., & Saputri, L. D. (2021). Analisis Reduksi Dosis Efektif Mata Pada Fantom Menggunakan TLD Mata dengan Implementasi Software Organ Dose Modulation (ODM) dan Eyeshield pada Protokol CT Kepala dengan Alat GE Revolution Evo 128 Slice. *Jurnal Pengawasan Tenaga Nuklir*, 1(1), 26–30. <https://doi.org/10.53862/jupeten.v1i1.006>
- Yang, D., Sui, Y., Liu, K., & Niu, Y. (2022). Effects of organ dose modulation technique on image quality and radiation dose in sinus CT scanning. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 42(3), 230–234. <https://doi.org/10.3760/CMA.J.CN112271-20211010-00407>