

PENERAPAN SSDE-DIAMETER EKUIVALEN AIR SEBAGAI TINGKAT PANDUAN DIAGNOSIS *TYPICAL VALUE* PADA PEMERIKSAAN CT SCAN ABDOMEN PEDIATRIK

¹⁾ Ni Larasati Kartika Sari, ¹⁾ Rahayugo, ¹⁾ Budi Santoso, ¹⁾ Puji Hartoyo,

¹⁾Program Studi Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional, Jakarta

Email: nilarasati@civitas.unas.ac.id

Abstract

Diagnostic Reference Level (DRL) is a method of optimizing patient doses in diagnostic and intervention procedures. The DRL value is obtained from the Volumetric Computed Tomography Dose Index (CTDIvol), which is obtained from a phantom with a diameter of 16 cm or 32 cm, so it is not yet possible to accurately estimate the dose for each patient, primarily paediatric patients. The American Association of Physicists in Medicine (AAPM) then issued a water equivalent diameter (Dw) parameter to calibrate the CTDIvol to obtain a Size-Specific Dose Estimate (SSDE) so that it is more specific and effective. This study aims to obtain local DRL values and compare local DRL values in two pediatric age groups. This study used data from 25 pediatric abdominal CT scan patients aged <15 years, divided into two groups, ages 0-4 years and 5-15 years. The results of this study showed that typical $DRL_{CTDIvol}$ values for ages 0-4 years and 5-15 years were 3.09 mGy and 4.39 mGy, respectively, while DRL_{SSDE} for the two age groups were 3.25 mGy and 3.54 mGy, respectively. There is a difference of 5.27% and 19.36%, respectively, from the local DRL value based on CTDIvol and SSDE for the two age groups. It can be seen that in the 0-4 year age group, the DRL_{SSDE} value is greater than the $DRL_{CTDIvol}$, conversely in the 5-15 year age group, the DRL_{SSDE} value is lower than the $DRL_{CTDIvol}$ which indicates that the dimensional factor affects the dose received by the patient.

Keywords: CTDIvol, Dose, Local DRL, SSDE, Water Equivalent Diameter

PENDAHULUAN

Beberapa penelitian melaporkan pemeriksaan CT scan menghasilkan risiko potensial terjadinya kanker di masa depan, terutama pada pasien anak - anak karena sel - sel mereka yang lebih radiosensitif dan harapan hidup yang panjang (Pearce et al., 2012, Miglioretti et al., 2013). Proses optimalisasi dosis harus dilakukan untuk mengurangi dosis yang digunakan menjadi serendah mungkin sehingga tidak memunculkan efek deterministik maupun efek stokastik akibat penerimaan radiasi dosis rendah di seluruh tubuh dengan mempertahankan kualitas citra yang cukup untuk memberikan semua informasi diagnostik yang diperlukan dan tujuan klinis (Hiswara, 2016; Vañó et al., 2017). *Diagnostic Reference Level* (DRL) adalah nilai optimisasi proteksi dan keselamatan

radiasi bagi pasien untuk mencegah paparan radiasi yang tidak diperlukan. Penentuan nilai DRL dapat dilakukan dalam tataran rumah sakit atau fasilitas kesehatan yang dikenal dengan *Local Diagnostic Reference Level* (LDRL) atau DRL Lokal. Di Indonesia, DRL nasional ditetapkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) berdasarkan data LDRL yang dihimpun dan diperbaharui secara berkala setiap tahun. Nilai DRL pada CT scan diperoleh dari *Computed Tomography Dose Index* (CTDIvol) umumnya didapat dari header CT scan. CTDIvol dihitung berdasarkan metil standar methacrylate phantom dengan diameter 16 cm atau 32 cm dan mewakili dosis radiasi rata-rata (mGy) dalam rentang volume pemindaian. Maka dosis tersebut tidak dapat secara akurat perkiraan dosis radiasi yang diterima oleh

pasien karena merupakan output dari gantry (Hendee et al., 2003).

American Association of Physicists in Medicine (AAPM) kemudian mengeluarkan laporan 220 mengenai diameter ekuivalen air (Dw) hasil dari pembaharuan laporan 204 mengenai diameter efektif yang tidak memuat komposisi bagian tubuh namun hanya dimensi fisik untuk mengkalibrasi CTDI_{vol} untuk mendapatkan *Size-Specific Doses Estimate* (SSDE) dari pasien yang menjalani pemeriksaan CT. SSDE digunakan untuk memperkirakan dosis yang diterima pasien dengan memasukkan faktor koreksi tergantung pada dimensi pasien (AAPM, 2014).

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai DRL *typical value* berdasarkan CTDI_{vol} dan SSDE berbasis Dw, serta membandingkannya dengan IDRL dan DRL negara lain. Penelitian mengenai penentuan nilai SSDE memperoleh hasil bahwa dosis radiasi berkorelasi dengan berat badan, karena SSDE memperhitungkan ukuran tubuh sehingga menjadi indikator yang berguna untuk memperkirakan dosis paparan karena ukuran tubuh khususnya anak-anak tidak secara akurat tercermin oleh CTDI_{vol} dan DLP (Imai et al., 2015). Penelitian lain menunjukkan nilai SSDE pada ketiga kelompok usia anak, yaitu umur 0-1 tahun, 2-5 tahun dan 6-10 tahun menunjukkan tren yang sama yaitu SSDE_{DE} lebih kecil dari nilai CTDI_{vol} dan penerimaan dosis pasien dipengaruhi oleh tegangan tabung, arus filamen, *rotation time*, *scan length*, jumlah fase dan *pitch* (Latifah, et. al, 2019). Selain itu, Indeks Massa Tubuh (IMT) merupakan parameter dimensi pasien alternatif dari diameter efektif (DE) yang dapat digunakan dalam penentuan SSDE (Sari, et. al, 2022). Pengukuran otomatis terhadap nilai Dw dan DE menunjukkan nilai Dw pada daerah thorax 4,5% lebih besar dari DE, sementara nilai Dw pada daerah kepala 8,6% lebih tinggi dari DE (C Anam, et. al, 2016.). Penelitian lain mampu mengotomatiskan perhitungan Dw menggunakan perhitungan

matrik algoritma ROI otomatis menggunakan Matlab dan membandingkannya dengan matrik algoritma ROI manual dari citra 3D CT axial untuk memperkirakan dosis SSDE menggunakan citra phantom dan citra 63 pasien pada pemeriksaan CT kepala dan CT thorax. Hasil dari perhitungan diperoleh perbedaan kurang dari 0,5%. (Anam et al., 2016.; Mikla & Mikla, 2013)

METODE PENELITIAN

Diagnostic Reference Level (DRL) adalah alat optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi bagi pasien dan mencegah paparan radiasi yang tidak diperlukan. Optimisasi merupakan sebuah proses untuk menuju optimal yaitu menuju dosis pasien serendah mungkin yang dapat dicapai dengan tetap memperhatikan kualitas citra yang memadai untuk kebutuhan diagnostik. Sebagai sebuah proses menuju optimal maka DRL harus direview secara reguler. Implementasinya, jika ada dosis pasien melebihi DRL maka perlu dilakukan peninjauan kembali yang ditujukan untuk mencari kemungkinan penyebabnya dan opsi tindakan perbaikan yang sesuai, kecuali dosis tersebut tidak dapat dihindari dan harus terjustifikasi secara medis.

Komisi Internasional untuk Proteksi Radiologi (ICRP) dalam Publikasi 135 menyebutkan bahwa DRL adalah istilah untuk suatu bentuk tingkat investigasi yang digunakan untuk membantu dalam optimalisasi perlindungan dalam paparan medis pasien untuk prosedur diagnostik dan intervensi (Vaño et al., 2017). Nilai DRL adalah nilai numerik yang dipilih dari jumlah DRL, ditetapkan pada persentil ke-75 dari distribusi median kuantitas DRL yang diamati pada satu modalitas di layanan fasilitas kesehatan atau *typical value* (BAPETEN, 2021).

$$CTDI_w = \frac{1}{3}CTDI_{100,center} + \frac{2}{3}CTDI_{100,periphery} \quad (1)$$

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) menetapkan *Computed Tomography Dose Index* (CTDI) sebagai indikator dosis dalam penetapan DRL modalitas CT Scan. CTDI didefinisikan sebagai integral dari profil dosis radiasi dari scan tunggal sepanjang sumbu z, yang dinormalisasikan pada tebal irisan (Bushberg, 2002). CTDI diukur pada fantom silinder yang homogen dengan diameter 16 cm untuk kepala dan 32 cm untuk tubuh dengan menggunakan bilik ionisasi sepanjang 100 mm sehingga dikenal dengan CTDI₁₀₀. Untuk menampilkan perhitungan pada suatu protokol pemeriksaan tertentu dipergunakan CTDI_{vol} yang merupakan penghitungan CTDI_w. CTDI_w dapat dilihat pada persamaan (1). CTDI_{vol} ditentukan pada spiral CT scan, dimana rasio meja dibagi putaran tabung (I) dengan jumlah nominal lebar berkas (NT) direferensi sebagai *pitch*, seperti pada persamaan 2 berikut (Bushberg, 2002).

$$CTDI_{vol} = \frac{CTDI_w}{pitch} \quad (2)$$

CTDI_{vol} belum mewakili dosis pada tiap pasien, karena hanya berasal dari pengukuran pada fantom diameter 16 cm dan 32 cm. Oleh karena itu, parameter dosis yang memasukkan dimensi pasien dikenalkan oleh AAPM, yaitu *Size-Specific Doses Estimate* (SSDE). SSDE digunakan untuk memperkirakan dosis yang diserap pasien dari CTDI_{vol} dengan memasukkan faktor koreksi yang tergantung pada dimensi pasien, seperti pada persamaan 3, dimana *f* adalah faktor koreksi yang didapat dari tabel pada AAPM 204 (American Association of Physicists in Medicine, 2014).

$$SSDE = f_{size}^{16X} \times CTDI_{vol}^{16} \quad (3)$$

Salah satu parameter dimensi yang digunakan untuk pengukuran SSDE adalah diameter ekuivalen air (Dw). AAPM No. 220 menyarankan perhitungan Dw dilakukan dengan membuat ROI melingkar di sekitar

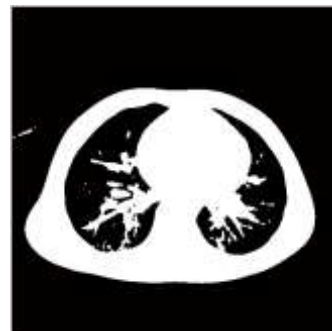
pasien dengan menggunakan persamaan 4, dimana *A* adalah area ROI dalam irisan yang dihitung, dan \overline{HU} adalah nilai rata-rata HU dalam ROI (*Region of Interest*).

$$Dw = 2 \sqrt{\left[\frac{1}{1000} \overline{HU} + 1 \right] \frac{A_{ROI}}{\pi}} \quad (4)$$

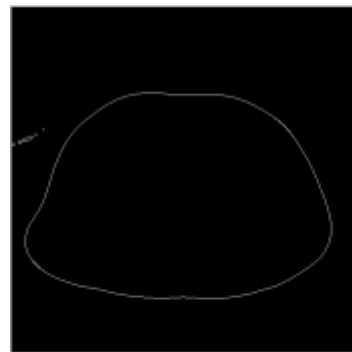
Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai DRL *typical value* berdasarkan CTDI_{vol} dan SSDE berbasis Dw, serta membandingkannya dengan IDRL dan DRL negara lain. Objek merupakan pasien pada pemeriksaan CT Scan abdomen pediatrik sebanyak 22 anak dengan dua kelompok usia, yaitu 0-4 tahun dan 5-15 tahun. Pesawat CT scan yang digunakan adalah Siemens Somatom Definition Flash, 64 *slice*. Nilai dosis CTDI_{vol} didapat dari header DICOM, sedangkan SSDE dihitung dengan menggunakan persamaan (3) Nilai Dw diperoleh dengan melakukan *contouring* citra menggunakan *Software Matlab R2014a*, dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



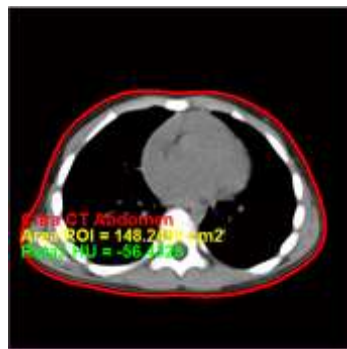
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 1. Contouring citra untuk mendapatkan Dw. (a) Citra asli (b) Thresholding (c) Deteksi Tepi (d) Hasil Akhir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai rata-rata hasil pengukuran Dw, CTDIvol dan perhitungan SSDE dapat dilihat pada tabel 1. Berdasarkan nilai dari Tabel 1 diperoleh hasil bahwa nilai Dw rata-rata untuk usia 0-4 tahun sebesar $15,58 \pm 1,30$ cm dan $20,61 \pm 3,30$ cm untuk usia 5-15 tahun, CTDIvol untuk usia 0-4 tahun sebesar $3,12 \pm 0,85$ mGy dan $5,87 \pm 3,02$ mGy untuk usia 5-15 tahun, sedangkan SSDE kelompok usia 0-4 tahun $3,18 \pm 0,73$ mGy dan usia 5-15 tahun adalah $4,78 \pm 2,10$ mGy. Nilai Dw, nilai dosis CTDIvol dan SSDE mengalami kenaikan seiring bertambahnya usia pada rentang usia 0-4 tahun dan 5-15 tahun. Nilai Dw pada rentang usia 0-4 tahun dan 5-15 tahun tidak sama dengan 16 cm, sehingga nilai SSDE rata-rata berbeda daripada nilai CTDIvol rata-rata. Hal ini menunjukkan pengaruh

variabel dimensi pasien, dalam hal ini Dw, terhadap dosis yang diterima oleh pasien. Pada kelompok usia 0-4 tahun, nilai SSDE lebih besar 1,9% dibanding CTDIvol, namun pada kelompok usia 5-15 tahun, nilai SSDE lebih kecil 28,6% dibanding CTDIvol. Penelitian sebelumnya juga menyatakan bahwa nilai SSDE berbasis DE untuk pemeriksaan kepala anak usia 1, 5 dan 10 tahun tidak jauh berbeda dengan nilai CTDIvolnya (Imai et al., 2015) dan lebih kecil dari nilai CTDIvol (Latifah, 2019). Hal ini ditunjukkan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Nilai rata-rata Dw, CTDIvol dan SSDE

Usia	Nilai Rata - Rata		
	Dw (cm)	CTDIvol (mGy)	SSDE (mGy)
0 - 4	$15,58 \pm$	$3,12 \pm$	$3,18 \pm$
	1,30	0,85	0,73
5 - 15	$20,61 \pm$	$5,87 \pm$	$4,78 \pm$
	3,30	3,02	2,10

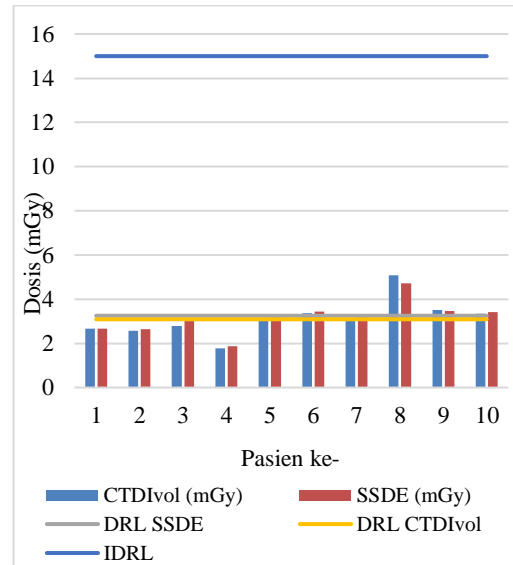
Pada Tabel 2 terlihat distribusi minimum, maksimum dan nilai kuadran satu hingga tiga dari CTDIvol dan SSDE pada kedua kelompok umur. Nilai DRL *typical value* merupakan nilai kuadran 2 atau median (Q2). Berdasarkan nilai DRL hasil penelitian pada tabel 2 nilai DRL pada usia 0-4 tahun untuk CTDIvol dan SSDE masing-masing 3,09 mGy dan 3,25 mGy. Sedangkan nilai DRL pada usia 5-15 tahun untuk CTDIvol dan SSDE masing-masing 4,39 mGy dan 3,54 mGy. Pada kedua kelompok usia diketahui nilai DRL SSDE sedikit lebih besar pada usia 0-4 tahun dan lebih kecil pada usia 5-15 tahun terhadap DRL CTDIvol. Penelitian sebelumnya (Latifah, 2019) (Satharasinghe et al., 2021) juga menemukan bahwa nilai DRL berdasarkan SSDE lebih besar dibanding DRL berdasarkan CTDIvol untuk pediatrik. Nilai DRL berdasarkan SSDE pada usia 5-15 tahun lebih kecil dibanding nilai DRL berdasarkan CTDIvol dikarenakan faktor konversi yang dipakai untuk menentukan SSDE adalah faktor konversi untuk CTDIvol 16 cm. Hal tersebut tidak sesuai

mengingat nilai Dw rata-rata untuk usia 5-15 tahun di atas 16 cm. Nilai DRL *typical value* baik berdasarkan CTDIvol maupun SSDE pada kedua kelompok umur masih berada di bawah nilai DRL Indonesia tahun 2018 sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Distribusi nilai Dw, CTDIvol dan SSDE

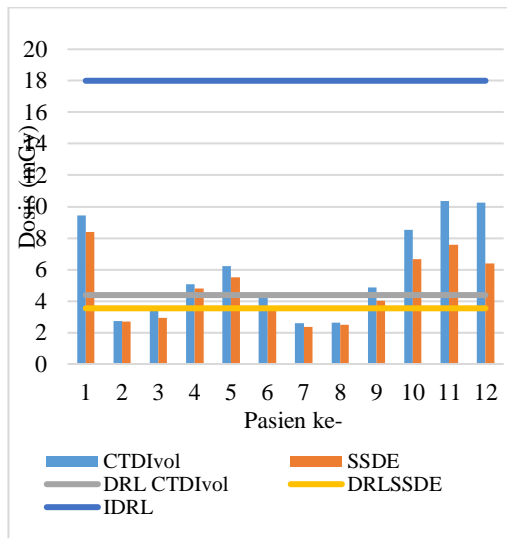
Nilai	0 – 4 Tahun		5 – 15 Tahun	
	CTDIvol (mGy)	SSDE (mGy)	CTDIvol (mGy)	SSDE (mGy)
Minimum	1,76	1,87	2,60	2,37
Q1	2,65	2,67	3,05	2,82
Q2/DRL	3,09	3,25	4,39	3,54
Q3	3,35	3,44	8,97	6,53
Maksimum	5,07	4,71	10,35	8,39
*IDRL	15	-	18	-

Pada Gambar 2 dapat dilihat distribusi nilai DRL *typical value* dari CTDIvol, SSDE, dan IDRL terhadap dosis pasien usia 0-4 tahun. Pada pasien ke-8 terdapat nilai CTDIvol dan SSDE yang melewati DRL *typical value* dari CTDIvol dan SSDE, namun masih berada dibawah nilai IDRL. Terdapat tiga prinsip dalam proteksi radiasi, salah satunya adalah justifikasi (Soegeng Rahadhy, 2014). Dalam hal ini, penggunaan faktor eksposi yang lebih tinggi dari pasien lain seusianya, tentunya juga meningkatkan CTDIvol dan SSDE (Elojeimy et al., 2010), diperbolehkan asal mendapat justifikasi dari dokter ahli radiologi. DRL sendiri bukan merupakan batas dosis yang tidak boleh dilanggar, namun dapat dilakukan optimasi oleh fasilitas untuk kembali meninjau ulang pemberian faktor eksposi dan justifikasi bagi pasien pediatrik (BAPETEN, 2021).



Gambar 2. Distribusi dosis pasien 0-4 tahun

Pada Gambar 3 dapat dilihat distribusi nilai DRL dari CTDIvol, SSDE, dan IDRL terhadap pasien usia 5-15 tahun, pada pasien ke-1, 5, 10, 11, dan 12 terdapat nilai dosis CTDIvol yang melewati DRL *typical value* dari CTDIvol dan SSDE, namun masih berada dibawah nilai IDRL. Kelima pasien tersebut memiliki ukuran Dw yang lebih besar dibanding pasien lain, yaitu pada range 19-28 cm, sehingga pemeriksaan CT Scan pun dilakukan dengan faktor eksposi yang lebih tinggi, yang menyebabkan tingginya CTDIvol dan SSDE. Perlu dilakukan evaluasi kembali alasan dan justifikasi pada pemberian dosis pada kelima pasien tersebut. Optimasi selalu terbuka untuk dapat mencapai pemberian dosis yang *As Low As Reasonably Achievable* (ALARA).



Gambar 3. Distribusi dosis pasien 5-15 tahun

Pada Gambar 2 dan 3 terlihat bahwa nilai DRL dari penelitian, baik yang berdasarkan CTDIvol maupun SSDE masih berada dibawah dari nilai IDRL yang berarti dosis yang diterima pasien pada pemeriksaan CT abdomen pediatrik telah optimal dengan dosis serendah mungkin namun kualitas citra yang memadai untuk kebutuhan diagnostik. Jika dibandingkan dengan nilai DRL dari negara lain pun, seperti yang terlihat pada Tabel 3, DRL *typical value* masih lebih rendah. Namun pada hasil penelitian masih terdapat beberapa hasil yang melebihi nilai DRL yang ditetapkan dari hasil penelitian, terutama untuk nilai dosis CTDIvol, hal ini dapat terjadi karena pemilihan faktor eksposi seperti penelitian yang telah dilakukan Risalatul bahwa penerimaan dosis pasien dipengaruhi oleh tegangan tabung, arus filamen, *rotation time*, *scan length*, jumlah fase dan *pitch* (Latifah, 2019). Nilai CTDIvol berpengaruh juga terhadap nilai dosis SSDE karena untuk mendapatkan nilai dosis CTDIvol dikalikan dengan nilai konversi dari Dw, maka nilai SSDE menggunakan Dw jauh lebih efektif dalam memberikan informasi dosis yang diterima pasien. Penggunaan SSDE sendiri saat ini merupakan trend yang berkembang dalam penentuan DRL CT Scan (Satharasinghe et al., 2021). DRL yang diperoleh pada penelitian ini relatif lebih

rendah dari nilai IDRL, diharapkan nilai DRL kedepannya dapat lebih meningkatkan optimalisasi dengan pemilihan faktor eksposi yang tepat sesuai komposisi tubuh dan dimensi fisik pasien. Hal ini ditunjukkan pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Perbandingan DRL *typical value* penelitian dengan DRL negara lain

Nilai	0 – 4 Tahun		5 – 15 Tahun	
	CTD Ivol (mGy)	SSDE (mGy)	CTD Ivol (mGy)	SSDE (mGy)
DRL Penelitian	3,09	3,25	4,39	3,54
*IDRL	15	-	18	-
DRL Korea Selatan (Hwang et al., 2021)	2,2	4,8	3,35	6,05
DRL Jepang (Imai et al., 2015)	5,5	-	8,25	-
DRL Amerika Serikat (Goske et al., 2013; Strauss et al., 2017)	5	12	8,45	14,9

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa parameter dimensi pasien, seperti diameter ekuivalen air (Dw), berpengaruh terhadap dosis yang diterima pasien, khususnya pasien pediatrik. Dw pasien usia 0-4 tahun adalah $15,58 \pm 1,30$ cm, mendekati diameter fantom 16 cm, sementara Dw untuk usia 5-15 tahun adalah $20,61 \pm 3,30$, berbeda dari diameter fantom 16 cm maupun 32 cm. Hal tersebut menunjukkan keunggulan SSDE sebagai parameter dosis CT Scan. Nilai DRL berdasarkan SSDE juga berbeda dari CTDIvol. Nilai DRL pada usia 0–4 tahun untuk CTDIvol dan SSDE masing–masing

3,09 mGy dan 3,25 mGy. Sedangkan nilai DRL pada usia 5–15 tahun untuk CTDI_{vol} dan SSDE masing-masing 4,39 mGy dan 3,54 mGy. Nilai DRL tersebut masih dibawah DRL yang ditetapkan Indonesia, maupun negara lain seperti Korea Selatan, Jepang, dan Amerika Serikat. Parameter SSDE sangat baik digunakan sebagai DRL mengingat sudah memasukkan dimensi pasien yang mempengaruhi penerimaan dosis pasien.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of Physicists in Medicine. (2557). Size-specific dose estimates (SSDE) in: Pediatric and adult body CT examinations (task group 204). *College Park, MD: American Association of Physicists in Medicine*. 4(1): 88–100.
- Anam, C., Haryanto, F., Widita, R., Arif, I., & Dougherty, G. (n.d.). *Automated Calculation of Water-equivalent Diameter (D_w) Based on AAPM Task Group 220*.
- BAPETEN. (2021). *Pedoman Teknis Penerapan Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia (Indonesian Diagnostic Reference Level)*. 8:1–54.
- Bushberg, J. T. (2002). *The essential physics of medical imaging* (pp. xvi, 933 p.). <https://mirlyn.lib.umich.edu/Record/04213015-CN-RC-78.7.D53-E871-2002>.
- C Anam, F Haryanto, R Widita, I. A. and G. D. (n.d.). *A fully automated calculation of size-specific dose estimates (SSDE) in thoracic and head CT examinations A fully automated calculation of size-specific dose estimates (SSDE) in thoracic and head CT examinations*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/694/1/012030>
- Ct, P. A., Goske, M. J., Strauss, K. J., Coombs, L. P., Mandel, K. E., Towbin, A. J., Larson, D. B., Callahan, M. J., Frush, D. P., & Prince, J. S. (2013). *Diagnostic Reference Ranges for*. 268(1). <https://doi.org/10.1148/radiol.13120730-DC1>
- Elojeimy, S., Tipnis, S., & Huda, W. (2010). Relationship between radiographic techniques (kilovolt and milliamper-second) and CTDI(VOL). *Radiation Protection Dosimetry*. 141(1):43–49. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncq138>
- Hendee, W. R., Ritenour, E. R., & Hoffmann, K. R. (2003). *Medical Imaging Physics, Fourth Edition. In Medical Physics*. 30(4). <https://doi.org/10.1118/1.1563664>
- Hiswara, E. (2016). *Tingkat acuan diagnostik pada radiografi umum*. 1–6.
- Hwang, J., Choi, Y. H., Yoon, H. M., Ryu, Y. J., Shin, H. J., Kim, H. G., Lee, S. M., You, S. K., & Park, J. E. (2021). *Establishment of Local Diagnostic Reference Levels of Pediatric Abdominopelvic and Chest CT Examinations Based on the Body Weight and Size in Korea*. 22(7), 1172–1184.
- Imai, R., Miyazaki, O., & Horiuchi, T. (2015). *Local diagnostic reference level based on size-specific dose estimates: Assessment of pediatric abdominal / pelvic computed tomography at a Japanese national children's hospital*. 345–353. <https://doi.org/10.1007/s00247-014-3189-4>
- Latifah, R. (2019). Determination of local diagnostic reference level (ldl)

- pediatric patients on ct head examination based on size-specific dose estimates (ssde) values. *Journal of Vocational Health Studies*. 02:127–133. <https://doi.org/10.20473/jvhs.V2I3.2019.127-133>
- Mikla, V. I., & Mikla, V. V. (2013). *Medical Imaging Technology*. Elsevier Science. https://books.google.co.id/books?id=Y81JrnVA%5C_5sC
- Pearce, M. S., Salotti, J. A., Little, M. P., McHugh, K., Lee, C., Kim, K. P., Howe, N. L., Ronckers, C. M., Rajaraman, P., Sir Craft, A. W., Parker, L., & Berrington de González, A. (2012). Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *Lancet (London, England)*, 380(9840), 499–505. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60815-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60815-0)
- Report, T., & Group, A. T. (2014). *Use of Water Equivalent Diameter for Calculating Patient Size and Size-Specific Dose Estimates (SSDE) in CT*. 220.
- Sari, N. L. K. (2022). Evaluasi Indeks Massa Tubuh untuk Penentuan Size-Specific Dose Estimate CT Scan Abdomen. *Jurnal Fisika*. 12(2):76–82.
- Satharasinghe, D. M., Jeyasugiththan, J., Wanninayake, W. M. N. M. B., & Pallewatte, A. S. (2021). Paediatric diagnostic reference levels in computed tomography: a systematic review. *Journal of Radiological Protection*. 41(1): R1. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/abd840>
- Soengeng Rahadhy, I. S. (2014). Proteksi radiasi pasien pada pemeriksaan CT-SCAN. *Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir 2014*.
- Strauss, K. J., Goske, M. J., Towbin, A. J., Callahan, M. J., Frush, D. P., & Prince, J. S. (2017). *Pediatric Chest CT Diagnostic Reference Ranges: Development*. 284(1):219–227.
- Vañó, E., Miller, D. L., Martin, C. J., Rehani, M. M., Kang, K., Rosenstein, M., Ortiz-López, P., Mattsson, S., Padovani, R., & Rogers, A. (2017). ICRP Publication 135: Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging. *Annals of the ICRP*. 46(1):1–144. <https://doi.org/10.1177/0146645317717209>