



DOSE OPTIMIZATION WITH mAs REDUCTION OF 15% USING COMPUTED RADIOGRAPHY ON RADIOGRAPHIC EXAMINATIONS PELVIC AP PROJECTION

OPTIMASI DOSIS DENGAN PENURUNAN mAs 15% MENGGUNAKAN COMPUTED RADIOGRAPHY PADA PEMERIKSAAN RADIOGRAFI PELVIS PROYEKSI AP

Intan Cahya¹, Muhammad Irsal*², Nursama Heru A.³, Shinta Gunawati⁴, Mahfud Edy⁵

Polytechnic of Health Jakarta II, Indonesia Ministry of Health, Indonesia

ABSTRACT

Background: Routine pelvic radiograph examination commonly performed in diagnostic radiology services is a pelvic examination of anteroposterior projection (AP). This results in direct exposure to ionizing radiation to the internal organs in the lower abdomen, especially the reproductive organs. **Purpose:** Optimizing the dosage of AP projection pelvic radiographs. **Method:** Research is conducted quantitatively and used experimental approach with an analysis of 15% mAs reduction from the standard mAs value on AP projection pelvic examination on radiation dose and image quality using anthropomorphic phantoms. The radiation dose analysis uses the exposure index indicator. In contrast, the image quality uses the Visual Grading Analysis method, then it was continued with the Kappa Cohens test to determine the level of agreement between 2 respondents. **Result:** The exposure factor with the mAs value reduced by 15% from the standard exposure factor on the AP projection pelvic radiography affected the decrease in the value exposure index. The EI value generated from the optimization exposure factor shows a decrease to 300 EI, which means the dose produced is only half of the standard exposure factor dose but still produces an acceptable image, as evidenced by the VGA score. As an assessment of image quality. In this study, there was no significant difference with range VGA scores 1,7. Besides that, the test had the Kappa Cohens level of agreement with a value of 0.5-0.8. **Conclusion:** All images resulting from the 15% mAs value reduction variation can be used as a diagnostic assessment.

ABSTRAK

Latar belakang: Pemeriksaan rutin radiografi *pelvis* yang umum dilakukan pada pelayanan radiologi *diagnostic* yaitu pemeriksaan *pelvis* proyeksi anteroposterior (AP). Hal ini menyebabkan paparan langsung radiasi pengion ke organ internal di perut bagian bawah terutama pada organ reproduksi. **Tujuan:** Upaya optimasi dosis pada pemeriksaan radiografi *pelvis* proyeksi AP. **Metode:** Penelitian bersifat kuantitatif dan eksperimen dengan analisa penurunan mAs 15% dari nilai mAs standar pada pemeriksaan *pelvis* proyeksi AP terhadap dosisi radiasi dan kualitas citra menggunakan pantom *anthropomorphic*. Pada analisa dosis radiasi menggunakan indikator *exposure index*, sedangkan kualitas citra menggunakan metode *Visual Grading Analysis* kemudian dilanjutkan dengan uji *Kappa Cohens* untuk mengetahui tingkat kesepakatan 2 responden. **Hasil:** Faktor eksposi dengan nilai mAs diturunkan sebanyak 15% dari faktor eksposi standar pada pemeriksaan radiografi *pelvis* proyeksi AP memiliki pengaruh terhadap turunnya nilai *exposure index*. Nilai EI yang dihasilkan dari faktor eksposi optimasi tersebut menunjukkan penurunan hingga 300 EI yang berarti dosis yang dihasilkan hanya setengah dari dosis faktor eksposi standar, namun tetap menghasilkan citra yang dapat diterima, dibuktikan dengan VGA skor sebagai penilaian kualitas citra. Pada penelitian ini, tidak ada perbedaan signifikan dengan rentang VGA skor 1,7. Selain itu, uji *Kappa Cohens* tingkat kesepakatan yang sama dengan nilai 0,5-0,8. **Kesimpulan:** Semua citra hasil variasi penurunan nilai mAs 15% dapat digunakan sebagai penilaian.

Research Report
Penelitian

ARTICLE INFO

Received 17 April 2021
Revised 20 December 2021
Accepted 9 July 2022
Online 30 July 2022

Correspondence:
Muhammad Irsal

E-mail:
muhammad.irsal@poltekkesjkt2.ac.id

Keywords:
mAs reduction, Exposure index, Computed radiography

Kata kunci:
Penurunan mAs, Exposure index, Computed radiography

PENDAHULUAN

Pemeriksaan rutin radiografi *pelvis* yang umum dilakukan pada pelayanan radiologi diagnostik yaitu pemeriksaan *pelvis* proyeksi anteroposterior (AP). Hal ini menyebabkan paparan langsung radiasi pengion ke organ internal di perut bagian bawah terutama pada organ reproduksi (C.T.P.Chan and K.K.L.Fung, 2015). Secara umum, tujuan pemeriksaan radiografi *pelvis* proyeksi AP untuk melihat struktur anatomi dari 2 tulang hip, *sacrum*, *coccyx*, dan *pelvis girdle* (Long et al., 2019). Alasan dilakukannya pemeriksaan rutin ini diantaranya untuk menilai farktur, tumor, dan evaluasi pasca operasi (Smith and Farrell, 2014).

Faktor eksposi standar pemeriksaan *pelvis* proyeksi AP dewasa di rumah sakit mempunyai rentang yaitu 75-90 kV dan 15-32 mAs. Teknik faktor eksposi utama yang dipilih radiografer pada kontrol panel meliputi *miliampere* (mA), *time* (s), dan *kilovolt* (kV). Tergantung pada tipe kontrol panelnya, *miliampere* dan *time* mungkin diatur secara terpisah atau kombinasi dari perkalian keduanya sehingga menjadi satu faktor *miliampere/second* (mAs). Faktor eksposi dapat dipilih dengan menyesuaikan tiap-tiap ukuran bagian tubuh dan kondisi patologis tertentu sehingga memperoleh kualitas citra sebaik mungkin (Long et al., 2019). Pada pasien yang memiliki *pelvis* tebal (lebih dari 20 cm) dianjurkan untuk menambah kondisi faktor eksposi dengan tujuan agar menghasilkan citra yang optimal sehingga dapat digunakan radiolog dalam melakukan diagnosa (Zheng, 2017; Metaxas et al., 2019).

Namun, pelayanan dengan memanfaatkan sinar-X memiliki resiko yang tinggi meskipun risikonya tidak dapat kita rasakan ataupun kita lihat karena sinar-X merupakan radiasi pengion (Ambasari et al., 2014). Maka, dengan demikian prinsip *As Low As Reasonable but Achievable* (ALARA) harus diterapkan dengan memberikan faktor eksposi serendah mungkin tetapi dapat menghasilkan gambaran diagnostik yang dibutuhkan. Penggunaan kV tinggi dengan mAs yang rendah pada pemeriksaan radiografi *pelvis* proyeksi AP dapat menghasilkan dosis radiasi yang lebih rendah (Bath et al., 2005; Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), 2019; Bontrager and Lampignano, 2017). Akan tetapi, penggunaan kV yang tinggi dapat mengurangi nilai kontras dan sebaiknya tidak dilakukan pada pasien yang usianya sudah tua yang mungkin telah kehilangan banyak kepadatan tulang akibat osteoporosis. Daya tembus dari penggunaan kV tinggi pada pasien osteoporosis dapat menurunkan penglihatan dari detail tulang meskipun menggunakan sistem analog atau digital (Federle et al., 1985). Menurunkan nilai mAs pada pemeriksaan radiografi *pelvis* proyeksi AP

dapat dilakukan untuk mengoptimalkan dosis pasien, karena mAs memiliki hubungan yang berbanding lurus dengan dosis (Mraity et al., 2017; Irsal et al., 2014). Pada kualitas citra, mAs berpengaruh terhadap nilai densitas. Perubahan densitas baru akan dapat terlihat setelah adanya perubahan mAs minimal 30% atau dengan kisaran rentang antara 25%-35% (Bushong, 2013).

Sebelumnya telah dilakukan penelitian oleh Seeram et al. pada tahun 2016 tentang optimasi nilai *exposure index* sebagai strategi manajemen dosis pada *Computer Radiografi* (CR) (Seeram et al., 2016). Hasil penelitian menunjukkan penurunan nilai EI pemeriksaan *pelvis* proyeksi AP dengan variasi mAs yang diturunkan sebanyak 36% dari pengaturan mAs standar Fuji CR namun tetap menghasilkan gambar sesuai dengan kriteria. Hasil penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa mengoptimalkan mAs dan EI yang terkait dapat menjadi strategi manajemen dosis yang efektif (Busch, 2000; Compagnone et al., 2008).

Pemeriksaan radiografi *pelvis* menggunakan *Computed Radiografi* (CR) cenderung menggunakan faktor eksposi yang tinggi. Penelitian survei dosis mengungkapkan bahwa rata-rata satu pemeriksaan *pelvis* proyeksi AP dewasa memberikan dosis efektif 0,6 mSv (C.T.P.Chan and K.K.L.Fung, 2015). Angka tersebut hampir enam kali lipat dari pemeriksaan radiografi *thorax*, dengan demikian perlu dilakukannya optimasi. Oleh karena itu membutuhkan optimasi dosis dengan penurunan mAs 15% menggunakan CR pada pemeriksaan radiografi *pelvis* proyeksi AP

MATERIAL DAN METODE

Penelitian dilakukan pada bulan Februari-April 2020, penelitian bersifat kuantitatif dan eksperiment untuk mengetahui faktor eksposi optimal dengan penurunan mAs 15% dari nilai mAs standar pada pemeriksaan *pelvis* proyeksi AP terhadap dosis radiasi dan kualitas citra menggunakan pantom *anthropomorphic*. Variasi nilai mAs ditentukan dengan menggunakan persamaan (1)

$$\begin{aligned} mAs_1 \times 15\% &= a \\ mAs_1 - a &= mAs_2 \quad \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

Nilai mAs_1 = nilai mAs awal, mAs_2 = nilai mAs baru, dan a = nilai variasi. Hasil perhitungan didapatkan nilai mAs yang digunakan dalam penelitian ini adalah 32 mAs, 28 mAs, 22 mAs, 20 mAs, 16 mAs, 14 mAs, 12,5 mAs, 10 mAs. Citra yang didapatkan sebanyak 8, kemudian akan dilakukan oleh 2 orang responden radiografer dengan pengalaman bekerja >5 tahun dibidang radiologi. Kriteria struktur anatomi menggunakan Standar Eropa (Davies and Pettersson, 2012) dengan skor penilaian 1-3 yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Struktur anatomi dan skor penilaian

Struktur anatomi	Skor penilaian
1.Acetabulum	1= Citra kurang informasi anatomi
2.Coccyx	2= Citra cukup informasi anatomi
3.Hip joint	3= Citra baik informasi anatomi
4.Ileum	
5.Ischium	
6.Femur	
7.Pubis	
8.Sacroilica joint	
9.Sacrum	

Kemudian dilakukan uji perhitungan menggunakan metode *Visual Grading Analysis (VGA)*, Metode VGA mencakup serangkaian citra yang dinilai oleh sejumlah pengamat. Metode VGA melibatkan kriteria kualitas citra dalam bentuk skala yang dievaluasi oleh pengamat dalam bentuk analisis visual. Hasil penilaian VGA dapat dihitung dengan persamaan (2) (Decoster et al., 2013). *S* adalah jumlah kriteria anatomi yang ditunjukkan pada Tabel 1, *O* adalah jumlah pengamat yaitu 2 orang responden, dan nilai *I* adalah jumlah citra yang digunakan pada penelitian ini.

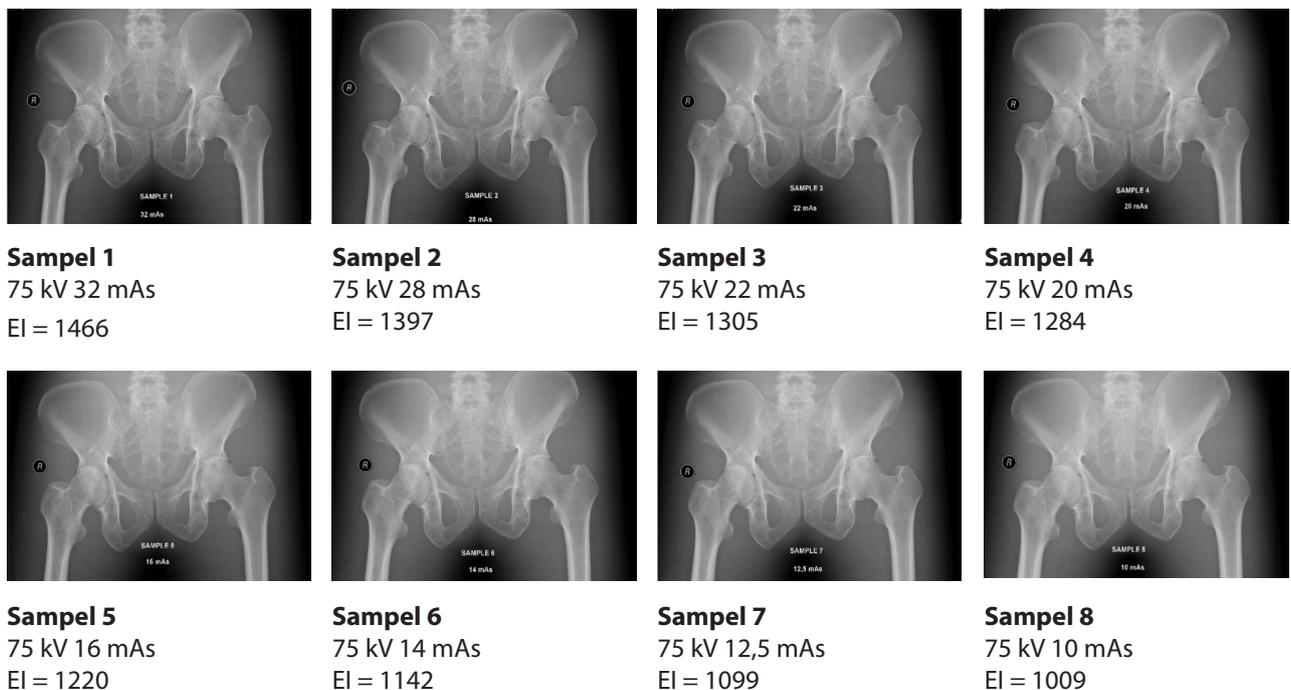
$$VGA \text{ skor} = \frac{\sum_i \sum_s \sum_o}{I.S.O} \dots\dots\dots (2)$$

Kemudian dilakukan analisa uji *Kappa Cohens* dengan tujuan untuk mengetahui tingkat kesepakatan antara 2 orang responden terhadap citra radiografi. Nilai *Kappa Cohen* menentukan tingkat kesepakatan: <0,2 rendah (*poor*), 0,2-0,4 lumayan (*fair*), 0,4-0,6 cukup (*moderate*), 0,6-0,8 kuat (*good*), dan 0,8-1 sangat kuat (*very good*). Pada laporan AAPM TG 116 memberikan rekomendasi rentang *Deviation index (DI)* yang digunakan sebagai kriteria penilaian citra optimal (Irsal, 2020). Nilai *EI Target CR* yang digunakan 1200, maka nilai *DI* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (3).

$$Deviation \text{ Index} = 10 \log \frac{Exposure \text{ Index}}{Exposure \text{ Index}_{Target}} \dots (3)$$

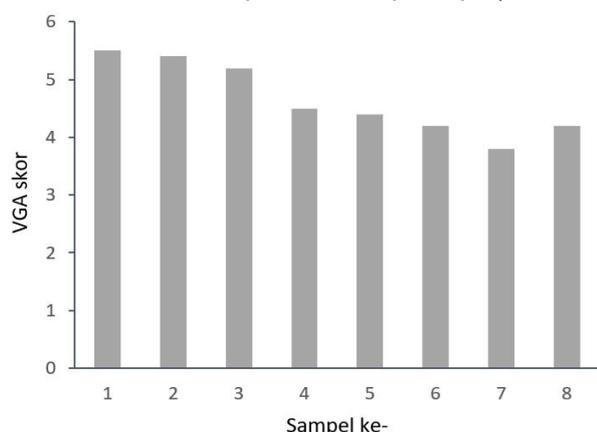
HASIL

Hasil penelitian meliputi hasil citra radiografi berserta nilai *exposure index* dari setiap percobaan ekspoasi menggunakan variasi penurunan nilai mAs sebanyak 15% yang tertera pada Gambar 1. Pada penelitian ini, pasien diganti dengan menggunakan pantom *anthrophomorphic*, parameter pemeriksaan disesuaikan dengan penggunaan pada klinis di rumah sakit yaitu 75 kV, jarak sumber ke *image receptore* 100 cm, untuk luas lapangan dan ukuran *image receptore* 35 cm x 35 cm.



Gambar 1. Citra pemeriksaan radiografi *pelvis* dengan penurunan mAs 15%

Gambar 2, menunjukkan hasil analisa menggunakan perhitungan rumus dari metode VGA. Analisa dilakukan menggunakan data-data yang didapatkan dari penilaian struktur anatomi citra pemeriksaan *pelvis* proyeksi AP.



Gambar 2. Hasil perhitungan VGA Skor

Pada Gambar 2, nilai mAs 32 memiliki VGA skor tertinggi yaitu 5,5 sedangkan nilai mAs 12,5 memiliki VGA skor terendah yaitu 3,8. Nilai rata-rata 4,65, standar deviasi 0,63, dengan rentang antar VGA skor 1,7. Hal ini juga didukung oleh data hasil uji *Kappa Cohens* pada Tabel 2.

Tabel 2. Uji *Kappa Cohens*

Sampel ke -	<i>Kappa value</i>
1.	0,625
2.	0,727
3.	0,769
4.	0,813
5.	0,550
6.	0,625
7.	0,750
8.	0,571

Berdasarkan Tabel 2, menunjukkan adanya kesepakatan yang sama dengan tingkat cukup sampai dengan sangat baik dimulai dari nilai 0,5-0,8. Selanjutnya, mengenai hasil *exposure index* dan *deviation index* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil *exposure index* dan *deviation index*

Sampel ke -	<i>Exposure index</i>	<i>Deviation index</i>
1.	1466	0,8
2.	1397	0,6
3.	1305	0,3
4.	1284	0,2
5.	1220	0
6.	1142	-0,2
7.	1099	-0,4
8.	1009	-0,7

Berdasarkan Tabel 3, menunjukkan adanya perubahan nilai *exposure index* yang sebanding dengan perubahan nilai mAs. Pada 32 mAs yang merupakan mAs standar pemeriksaan radiografi *pelvis* menghasilkan nilai *exposure index* sebesar 1466. Nilai *exposure index* tersebut menunjukkan terjadinya *under-exposure*. Namun, El minimum 1400 menunjukkan *under-exposure* yang masih dapat diterima. Nilai *exposure index* tertinggi yaitu 1466 yang dihasilkan dari eksposi 32 mAs. Sedangkan nilai *exposure index* 1009 menjadi nilai terendah yang dihasilkan dari eksposi 10 mAs.

Nilai *deviation index* merupakan nilai yang menghitung penyimpangan yang sebenarnya pada nilai *exposure index* dari nilai *exposure index* target. *Deviation index* memberikan umpan balik langsung kepada pengguna dalam hal ini radiografer, apakah paparan yang benar telah digunakan untuk pemeriksaan. Sedangkan *exposure index* target memiliki definisi sebagai nilai ekspektasi *exposure index* saat melakukan eksposi dengan tepat. Hasil nilai *deviation index* berada pada rentang 0,8 sampai -0,7. Rentang tersebut menunjukkan bahwa eksposi yang diberikan masih tercakup dalam kategori "*correct exposure*" (Seeram, 2016).

PEMBAHASAN

Perbandingan dosis dengan indikator *exposure index* pada penurunan mAs 15%

Pada film radiografi keadaan *over-exposure* dan *under-exposure* dapat dibedakan dengan mudah. *Over-exposure* adalah film yang terlalu banyak terpapar sehingga film tampak "terlalu gelap", dan *under-exposure* adalah film yang kurang terang atau tampak "terlalu putih" (Butler et al., 2009). Kedua hal ini dapat menyebabkan pengulangan pemeriksaan karena gambar yang dihasilkan tidak dapat digunakan oleh radiolog untuk membuat diagnosa. Namun, kedua hal tersebut tidak berlaku pada sistem CR dikarenakan CR memiliki kemampuan *post-processing* sehingga memungkinkan radiografer untuk melakukan eksposi terlalu rendah atau berlebihan yang tetap menghasilkan gambar radiografi yang dapat diterima. Kemampuan CR tersebut menyebabkan pasien cenderung menerima paparan yang lebih tinggi dari yang diperlukan (Lanca and Silva, 2009; Karoussou-Schreiner, 2005). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa radiografer memiliki kecenderungan untuk memberikan eksposi yang tinggi kepada pasien, sebab fakta bahwa radiografer menyadari *over-exposure* dapat direkonstruksi dengan teknik *post-processing* sedangkan pada keadaan *under-exposure* tidak selalu memungkinkan untuk dilakukan.

Apabila pasien mendapat paparan berlebih maka nilai El akan lebih tinggi dari nilai standar yang direkomendasikan alat. Berlaku juga untuk kebalikannya, apabila pasien mendapat paparan yang kurang dari seharusnya maka nilai El akan lebih rendah dari nilai

standar yang direkomendasikan alat. Pada penelitian ini, nilai EI menurun sebanding dengan penurunan nilai mAs. Hal ini mendukung asumsi bahwa meskipun EI menjadi indikator dosis pada detektor, ada hubungan antara perubahan nilai EI dan nilai mAs sehingga optimasi mungkin untuk dilakukan.

Berdasarkan Tabel 3, penurunan nilai mAs cenderung diikuti dengan penurunan nilai EI. Pada Tabel 3, terlihat bahwa nilai EI tertinggi diperoleh saat menggunakan nilai mAs 32 yaitu sebanyak 1466. Nilai EI pada rentang 1100 sampai 1700 akan menghasilkan dosis 1,25 μGy sampai 5 μGy (Uffmann and Schaefer-Prokop, 2009). Adanya penurunan sebanyak 300 EI menandakan bahwa eksposi atau dosis yang diberikan kepada pasien berkurang setengahnya (Seeram, 2019). Penurunan 300 EI terjadi pada nilai mAs 14. Sedangkan citra dengan nilai EI terendah diperoleh saat menggunakan nilai mAs 10 yaitu 1009.

Perbandingan kualitas citra pada penurunan mAs 15% dengan metode VGA

Penelitian ini menggunakan metode VGA sebagai cara penilaian hasil citra yang memberikan keuntungan. Keuntungan tersebut disebabkan beberapa alasan diantaranya penilaian yang diberikan responden berdasarkan pertimbangan dari kontribusi semua komponen pencitraan dalam memproduksi struktur gambar sekaligus dari pengalaman yang dimiliki responden (Ludewig et al., 2010). Hal ini merupakan salah satu alasan metode VGA memiliki validasi tinggi.

Selain itu, penilaian citra menggunakan metode VGA berdasarkan visualisasi struktur yang relevan secara klinis, dapat ditentukan dan dipilih menggunakan standar yang tersedia. Kualitas gambar pada penelitian ini, dianggap dapat diterima pada VGA dengan skor 3 atau lebih tinggi. Skor ini menunjukkan bahwa gambar tersebut setidaknya sama dengan, atau lebih baik dari referensi gambar untuk radiolog membuat diagnosa. Evaluasi citra *pelvis* terbaik didapatkan berdasarkan penilaian 21 kriteria anatomi yang terpenuhi. Berdasarkan Gambar 2, VGA skor tertinggi diperoleh dari nilai mAs 32 yaitu 3,42. Kedelapan responden memberikan penilaian tiap anatomi rata-rata 4 atau terlihat dengan baik. Sedangkan VGA skor terendah diperoleh dari nilai mAs 10 yaitu 2,75. Pada nilai mAs 10 lebih banyak anatomi yang rata-rata bernilai 3 atau cukup jelas dan 2 yang berarti terlihat kurang jelas. Penilaian kontras dan densitas optimal diperoleh saat menggunakan nilai mAs 32, 28 dan 22. Berdasarkan hasil penilaian responden pada nilai mAs 20, 16, 14, 12,5 dan 10 memiliki kontras dan densitas yang menurun.

Pada Gambar 2, menunjukkan perubahan VGA skor yang tidak beraturan. Menurunnya nilai mAs tidak selalu menghasilkan VGA skor yang lebih rendah pula. Nilai mAs 32 memiliki VGA skor tertinggi yaitu 5,5 sedangkan nilai mAs 12,5 memiliki VGA skor terendah yaitu 3,8. Nilai rata-rata 4,65, standar deviasi 0,63, dengan rentang antar VGA skor 1,7. Maka memberikan nilai

mAs yang lebih kecil tidak selalu menghasilkan kualitas citra yang lebih buruk secara tampilan visual. Ini juga didukung oleh hasil uji *Kappa Cohens*, dimana terdapat kesepakatan yang baik dengan tingkat cukup (*moderate*) sampai dengan sangat baik (*very good*) dimulai dari nilai 0,5-0,8 (J.Mount, 2016).

Nilai mAs optimal yang dapat dilakukan pada pemeriksaan radiografi pelvis proyeksi AP

Setelah melihat secara keseluruhan hasil penelitian ini, kondisi optimum pemeriksaan radiografi *pelvis* proyeksi AP (dinyatakan dengan nilai EI) terjadi saat menggunakan mAs dengan rentang 12,5-28 karena nilai EI yang didapat yaitu 1009-1397 yang akan menghasilkan dosis 1,5 μGy -2,5 μGy . Sedangkan kriteria anatomi citra pada kondisi yang cukup jelas sampai terlihat dengan jelas sehingga menampilkan gambar yang dapat diterima. Selain itu, nilai mAs pada rentang 12,5-28 memiliki nilai deviasi index yang berada pada kisaran 0 atau tidak lebih dari sama dengan 0,8 dan -0,7. Nilai deviasi sama dengan 0 atau EI = EIT menunjukkan bahwa paparan ke detektor sudah benar. Nilai deviasi index +1 menunjukkan terjadinya *over-exposure* sebanyak 26% dari paparan yang seharusnya. Sedangkan nilai deviasi index -1 menunjukkan terjadinya *under-exposure* 20% kurang dari paparan yang seharusnya (Seeram et al., 2016)

Berdasarkan pembahasan diatas, penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh optimasi dosis dengan variasi nilai mAs yang diturunkan 15% dari nilai mAs standar pemeriksaan. Namun, hasil citra tetap dapat menampilkan gambaran kriteria anatomi dengan jelas sehingga dapat membantu dalam membuat diagnosa dengan tepat, tetapi tetap memperhatikan dosis yang diterima oleh pasien dengan tetap mengikuti perkembangan teknologi radiografi yang semakin canggih yaitu menggunakan CR. Pada prinsipnya pemeriksaan bertujuan agar pasien mendapatkan manfaat langsung dengan pemberian dosis yang tidak dibatasi akan tetapi tetap memperhatikan keselamatan pasien.

KESIMPULAN

Faktor eksposi dengan nilai mAs diturunkan sebanyak 15% dari faktor eksposi standar pada pemeriksaan radiografi *pelvis* proyeksi AP memiliki pengaruh terhadap turunnya nilai *exposure index*. Nilai EI yang dihasilkan dari faktor eksposi optimasi tersebut menunjukkan penurunan hingga 300 EI, yang berarti dosis yang dihasilkan hanya setengah dari dosis faktor eksposi standar. Namun, tetap menghasilkan citra yang dapat diterima, dibuktikan dengan VGA skor sebagai penilaian kualitas citra. Pada penelitian ini tidak ada perbedaan yang signifikan dengan rentang VGA skor 1,7. Selain itu, uji *Kappa Cohens* tingkat kesepakatan yang sama dengan nilai 0,5-0,8 maka semua citra hasil variasi penurunan nilai mAs 15% dapat digunakan sebagai penilaian diagnosa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Poltekkes Kemenkes Jakarta 2, Jurusan Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian. Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dengan pihak-pihak yang terkait dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambasari, T., Santoso, B., Apriantoro, N.H., Anita, F., 2014. Analisis Optimasi Citra Radiografi pada Pemeriksaan Thorax Sistem Computed Radiography (CR) terhadap Entrance Surface Dose (ESD). *J. Ilm. Giga Univ. Nas.* Vol.17 (1), Pp. 1-8.
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), 2019. Pedoman Tingkat Panduan Diagnostik atau Diagnostic Reference Level (DRL).
- Bath, M., Hakansson, M., Hansson, J., Mansson, L.G., 2005. A Conceptual Optimisation Strategy for Radiography in A Digital Environment. *Radiation Protection Dosimetry. Radiat. Prot. Dosimetry* Vol.114(1-3), Pp. 230-235.
- Bontrager, K.L., Lampignano, J.P., 2017. *Textbook of Positioning and Related Anatomy*, 8th ed. ed. Elsevier Canada, China.
- Busch, H.P., 2000. Need for New Optimisation Strategies in CR and Direct Digital Radiography. *Radiat. Prot. Dosimetry* Vol.90(1-2), Pp. 31-33.
- Bushong, S.C., 2013. *Radiologic Science for Technologists: Physics, Biology, and Protection*, 10th ed. ed. Elsevier.
- Butler, M.L., Rainford, L.A., Last, J., Brennan, P.C., 2009. Optimization of Exposure Index Values for The Anteroposterior Pelvis and Antero-posterior Knee Examination. *Proc. SPIE - Int. Soc. Opt. Eng.* 7263 Pp. 726302-1-726302-8.
- C.T.P.Chan, K.K.L.Fung, 2015. Dose Optimization in Pelvic Radiography by Air Gap Method on CR and DR Systems - A Phantom Study. *Radiography* Vol.21(3), Pp. 214-223.
- Compagnone, G., Pagan, L., Baleni, M.C., Calzolaio, F.L., Barozzi, L., Bergamini, C., 2008. Patient Dose in Digital Projection Radiography. *Radiat. Prot. Dosimetry* Vol.129(1-3), Pp. 135-137.
- Davies, A.M., Pettersson, H., 2012. *The WHO Manual of Diagnostic Imaging: Radiographic Anatomy and Interpretation of The Musculoskeletal System*. World Health Organization.
- Decoster, R., Mol, H., Broeck, R. van den, Smits, D., 2013. Assessment of Image Quality in Orthopaedic Radiography with Digital Detectors: A Visual Grading Analysis. In: Decoster, R. (Ed.), *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* 8673. Florida, US.
- Federle, M.P., Cohen, H.A., Rosenwein, M.F., Brant-Zawadzki, M.N., Cann, C.E., 1985. Pelvimetry by digital radiography. *Clin. Radiol.* 36, 327-330.
- Irsal, M., 2020. Evaluasi Faktor Eksposi dalam Upaya Optimisasi pada Pemeriksaan Radiografi Chest PA Suspected COVID - 19. In: Adnin, R. (Ed.), *KOCENIN Serial Konferensi*. Kocenin, Jakarta, Vol.1(1), Pp. 1.11.1-1.11.10
- Irsal, M., Hidayanto, E., Arifin, Z., 2014. Analisa Pengaruh Faktor Eksposi Terhadap Entrance Surface Air Kerma (ESAK). *Youngster Phys. J.* Vol.3(4), Pp. 271-278.
- J.Mount, 2016. Reject Analysis: A Comparison of Radiographer and Radiologist Perceptions of Image Quality. *Radiography* Vol.22(2), Pp. e112-e117.
- Karoussou-Schreiner, A., 2005. Dose Optimisation In Computed Radiography. *Radiat. Prot. Dosimetry* Vol.117(1-3), Pp. 139-142.
- Lanca, L., Silva, A., 2009. Digital Radiography Detectors - A Technical Overview: Part 2. *Radiography* Vol.15(2), Pp. 134-138.
- Long, B.W., Rollins, J.H., Smith, B.J., 2019. *Merrill's Pocket Guide To Radiography*, 17 th. ed. Elseiver.
- Ludewig, E., Richter, A., Frame, M., 2010. Diagnostic Imaging – Evaluating Image Quality using Visual Grading Characteristic (VGC) Analysis. *Vet. Res. Commun.* Vol.34(5), Pp. 473-479.
- Metaxas, V.I., Messaris, G.A., Lekatou, A.N., Petsas, Theodore G. Panayiotakis, G.S., 2019. Patient Dose in Digital Radiography Utilising BMI Classification. *Radiat. Prot. Dosimetry* 184(2), Pp. 155-167.
- Mraity, H.A.A.B., England, A., Hogg, P., 2017. Gonad Dose in AP Pelvis Radiography: Impact of Anode Heel Orientation. *Radiography* Vol.23(1), Pp. 14-18.
- Seeram, E., 2019. *Digital Radiography Physical Principle and Quality Control*, 2 nd. ed. Springer, Singapore.
- Seeram, E., Davidson, R., Bushong, S., Swan, H., 2016. Optimizing the Exposure Indicator as A Dose Management Strategy in Computed Radiography. *Radiologic Technol.* Vol.87(4), Pp. 380-391.
- Smith, W.L., Farrell, T.A., 2014. *Radiology 101: The Basics and Fundamentals of Imaging*, 4 th. ed. Wolters Kluwer, Philadelphia.
- Uffmann, M., Schaefer-Prokop, C., 2009. Digital Radiography: The Balance between Image Quality and Required Radiation Dose. *Eur. J. Radiol.* Vol.72(2), Pp. 202-208.
- Zheng, X., 2017. Patient Size Based Guiding Equations for Automatic mAs and kVp Selections in General Medical X-Ray Projection Radiography. *Radiat. Prot. Dosimetry.* Vol.174(4), Pp. 545-550.