



## PENGEMBANGAN MONITOR PERSONAL DOSIMETRI DENGAN MENGGUNAKAN PLATE DETECTOR GUNA MENUNJANG KESELAMATAN RADIODIAGNOSTIK

Siti Masrochah<sup>1)</sup>, Darmini<sup>2)</sup>, Muhammad Nur<sup>3)</sup>, Ari Soewondo<sup>4)</sup>, Farid Agusyahbana<sup>5)</sup>, Dimas Prakoso<sup>6)</sup>, Marichatul Jannah<sup>7)</sup>

<sup>1,2,6,7)</sup> Jurusan Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi, Poltekkes Kemenkes Semarang;  
Jl. Tirta Agung, Pedalangan, Kota Semarang

<sup>3,4,5)</sup> Universitas Diponegoro; Jl. Prof. Sudarto, Tembalang, Tembalang, Kota Semarang

### Abstrak

Setiap personil radiasi yang melakukan pelayanan radiodiagnostik wajib menggunakan *monitor personal dosimetry*. tetapi karena harganya mahal, tidak semua personel pekerja radiasi difasilitasi oleh tempat bekerjanya. Tujuan penelitian ini adalah membuat desain pengembangan alat monitor radiasi menggunakan *Imaging Plate (IP)*. Jenis penelitian ini adalah jenis *Research and development* dengan pendekatan eksperimental dan dianalisa secara deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan nilai sensitivitas respon terbaik pada *Image Plate Computed Radiography* merek *iCRco* diperoleh dengan menggunakan faktor eksposur tegangan 90 kV dengan arus 6,3 mAs dan 8 mAs, energi sinar-X yang diserap oleh lapisan fosfor (per mA per satuan luas) dihitung secara teoritis sebagai indeks sensitivitas radiografi dengan menggunakan spektrum foton sinar-X insiden dengan rumus Birch-Marshall dan spektrum sensitivitas untuk rentang 40-140 kV. Kesimpulan bahwa semua respon radiasi memberikan pengaruh indeks exposure yang berbeda, sehingga masih diperlukan alat bantu pemantau serapan radiasi yang akan dikembangkan pada periode selanjutnya yaitu mendesain monitor yang mudah digunakan petugas.

**Kata kunci:** Pengembangan; monitor personal; plate detector; keselamatan radiodiagnostik

### Abstact

[DEVELOPMENT OF DOSIMETRIC PERSONAL MONITOR USING PLATE DETECTOR TO SUPPORT RADIODIAGNOSTICS SAFETY] Every radiation personnel who performs radiodiagnostic services must use a personal dosimetry monitor. but because the price is expensive, not all radiation workers are facilitated by their place of work. The purpose of this study was to make a design for the development of a radiation monitoring device using an *Imaging Plate (IP)*. This type of research is research and development with an experimental approach and analyzed descriptively. The results showed that the best response sensitivity value on the *iCRco Image Plate Computed Radiography* was obtained by using a voltage exposure factor of 90 kV with a current of 6.3 mAs and 8 mAs, the X-ray energy absorbed by the phosphor layer (per mA per unit area) was calculated sequentially. theoretically as an index of radiographic sensitivity using incident X-ray photon spectra with the Birch-Marshall formula and sensitivity spectra for the range 40-140 kV. The conclusion is that all radiation responses have different exposure indices, so there is still a need for radiation absorption monitoring tools to be developed in the next period, namely designing monitors that are easy for officers to use.

**Keywords:** Development; personal monitors; plate detectors; radiodiagnostic safety

### 1. Pendahuluan

Penggunaan energi radiasi dewasa ini dalam penegakan diagnosa semakin pesat penggunaannya

baik dengan menggunakan modalitas pesawat sinar-X *general purpose* maupun dengan CT scan. Berdasarkan data pelayanan kesehatan di Indonesia, setiap satu pesawat sinar-X harus dioperasikan oleh 2 orang tenaga kesehatan

\*) Correspondence Author (Siti Masrochah)  
E-mail: masrochah2@gmail.com

(Radiografer). pemanfaat sumber radiasi pengion di Provinsi DKI Jakarta sejumlah 1.670 izin, jumlah ini merupakan pemanfaat terbesar di Indonesia. Per April 2015, terdapat 5.665 izin pesawat sinar-X (60%), 99 izin fasilitas radioterapi, dan 32 izin untuk fasilitas kedokteran nuklir, dengan jumlah pekerja radiasi di bidang ini sekitar 4.736 orang (Kemenkes RI, 2019). Hal ini menunjukkan cukup banyak personil yang terlibat dalam pemantauan radiasi (Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2015).

Sesuai ketentuan Kepala Bapeten No 8/tahun 2011 tentang Ketentuan Pelaksanaan Keselamatan Radiasi pada pelayanan Radiodiagnostik, semua personil yang melakukan penyinaran dengan radiasi diwajibkan menggunakan alat monitor radiasi. Beberapa jenis alat monitor radiasi yang direkomendasikan adalah *Film Badge*, *Termoluminisen Dosimeter* (TLD), dosimeter saku (Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2011). Pada pelaksanaan penggunaan monitor dosimeter tersebut, di Rumah Sakit/Klinik adalah TLD dan *Film Badge*, akan tetapi penggunaan alat tersebut masih memerlukan pihak lain untuk melakukan pembacaan radiasi karena diperlukan alat pembaca (*reader*) terkalibrasi khusus, hal ini menyebabkan perolehan dosis radiasi butuh waktu lama, sehingga tidak bisa dilakukan upaya preventif terhadap resiko radiasi (Ginjaume et al., 2019). Selain itu penggunaan alat tersebut juga biaya operasional pelayanan monitor radiasi ini menjadi tinggi. Disisi lain perkembangan teknologi pencitraan digital, telah ditemukan bahan perekam gambar (*image receptor*) memungkinkan citra radiograf dapat diproses secara cepat dan memiliki memori perekam secara digital. Berdasarkan kedua fakta tersebut, peneliti bermaksud mengembangkan alat monitor dosis perorangan dengan menggunakan *imaging plate* sebagai upaya jaminan keselamatan radiasi (Akhadi, 2019).

Pengembangan alat monitor radiasi dengan *imaging plate* ini diharapkan dapat memberikan alternatif teknologi yang dapat digunakan institusi pelayanan radiodiagnostik dengan media yang telah dimiliki oleh sebagian besar instalasi Radiologi. Dengan demikian dosis radiasi yang diterima bisa langsung termonitor melalui alat *Computer Radiography* (CR) (Rahman et al., 2020). Dalam bidang akademik, penggunaan alat monitor radiasi ini diharapkan dapat memberikan solusi pemenuhan kebutuhan alat monitor radiasi yang lebih efisien bagi mahasiswa praktek (Finnerty & Brennan, 2005). Dalam bidang karya akademik

diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengadaan peralatan monitor radiasi karya anak negeri dan dapat dijadikan sebagai salah satu karya yang dapat dipatenkan. Melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi institusi pendidikan untuk melengkapi monitor radiasi bagi mahasiswa, dengan biaya operasional yang lebih efisien, juga dapat langsung dilakukan monitoring perolehan dosis secara langsung dengan konversi pada peralatan *Computer Radiography* yang telah dimiliki (Lambert & McKeon, 2001). Hal penting yang diperhatikan adalah diperolehnya referensi acuan dosis untuk pasien sebagai jaminan keselamatan radiasi yang menjadi tuntutan peraturan kepala Bapeten (PERKA BAPETEN) No 8 tahun 2011 yang harus dipenuhi oleh *center* pelayanan radiologi dalam melakukan pelayanan diagnostik.

## 2. Metode

Jenis penelitian ini adalah jenis *Research and development* dengan pendekatan eksperimental yang dilakukan secara bertahap dari tahun 2021 - 2023. Tahapan awal dimulai mencari beberapa bahan alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan *Imaging Plate* (IP) dan variasi bahan detektor yang dapat dipilih sebagai alternatif untuk deteksi sumber radiasi. Pengolahan data yang didapatkan dari sampel pengukuran dosis personel menggunakan modifikasi PMD akan diolah dan dianalisa secara deskriptif dibandingkan gold standar pengukuran dosis dengan TLD dan komparasi dengan peraturan perka Bapeten No 8 Tahun 2011. Pada tahap selanjutnya membuat desain holder untuk tempat detektor sehingga mudah untuk digunakan radiografer. Beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : Plate detektor, TLD, Phantom antrophometrik, Kristal NaIT, Pesawat sinar x, Grid, CR, sensor detektor, Dry view, Komputer viewer, dan Emulsi film CR. Pengolahan data yang didapatkan dari semua prosedur uji coba pengukuran dosis personel menggunakan modifikasi PMD akan diolah dan dianalisa secara deskriptif dibandingkan gold standar pengukuran dosis dengan TLD dan komparasi dengan peraturan perka Bapeten No 8 Tahun 2011

## 3. Hasil dan Pembahasan

Dalam pengambilan data diperoleh 40 hasil eksposi yang terdiri dari pemeriksaan protokol

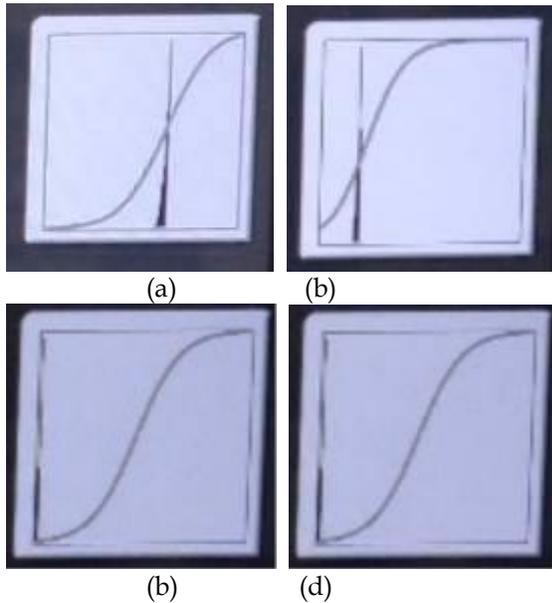
thorax, cranium, abdomen, ekstremitas, dan vertebra yang masing masing dilakukan pengukuran nilai indeks exposure dari berkas utama, jarak 1 meter, jarak 2 meter, dan pada meja konsul. Dari data tersebut dilakukan evaluasi melihat nilai *index exposure* yang terlihat di *Computed Radiography* (CR). Masing-masing hasil pengukuran dianalisis berdasarkan tanpa obyek dan adanya obyek berupa phantom sesuai pemeriksaan yang dilakukan.

a. Pengukuran tanpa obyek phantom

Pengambilan obyek dilakukan berdasarkan dalam beberapa eksposi yaitu menempatkan Imaging Plate (IP) pada berkas sinar utama, jarak 1 meter dari berkas utama, jarak 2 meter dari berkas utama, dan pada meja konsul pemeriksaan radiologi.

1) Thorax

Berdasarkan hasil tersebut didapat grafik kurva karakteristik seperti gambar 1.



**Gambar 1.** Hasil kurva karakteristik faktor eksposi thorax (a) berkas utama; (b) jarak 1 meter; (c) jarak 2 meter; (d) meja konsul.

Faktor eksposi yang digunakan dalam pemeriksaan radiografi thorax adalah kV 58, mA 200, dan s 0,028 dengan pengaturan FFD 125 cm. Berdasarkan hasil eksposi didapat nilai dosis 0,2392 mGy. Hasil nilai indeks exposure dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1.** Nilai indeks exposure pemeriksaan thorax

Perlakukan ke -	Jarak IP	Nilai Indeks Exposure
1	Berkas utama	2453
2	1 meter	690
3	2 meter	7
4	Meja konsul	7

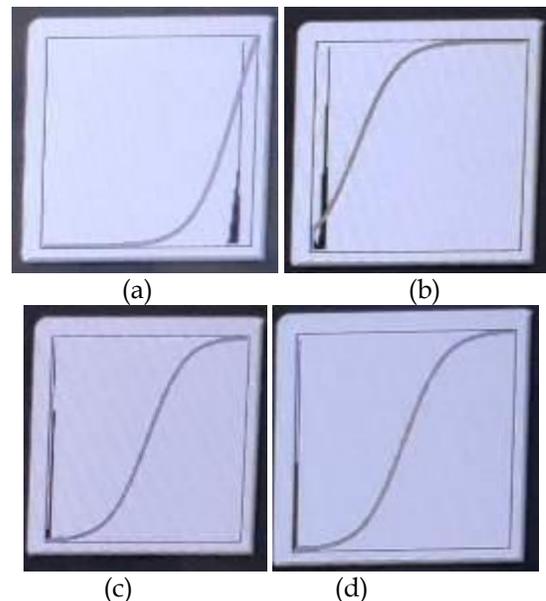
2) Cranium

Faktor eksposi yang digunakan dalam pemeriksaan radiografi cranium adalah kV 80, mA 320, dan s 0,080 dengan pengaturan FFD 100 cm. Berdasarkan hasil eksposi didapat nilai dosis 2,529 mGy. Hasil nilai indeks exposure dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2.** Nilai indeks exposure pemeriksaan cranium

Perlakukan ke -	Jarak IP	Nilai Indeks Exposure
1	Berkas utama	3661
2	1 meter	438
3	2 meter	7
4	Meja konsul	7

Berdasarkan hasil tersebut didapat grafik kurva karakteristik seperti gambar 2.



**Gambar 2.** Hasil kurva karakteristik faktor eksposi cranium (a) berkas utama; (b) jarak 1 meter; (c) jarak 2 meter; (d) meja konsul.

3) Abdomen

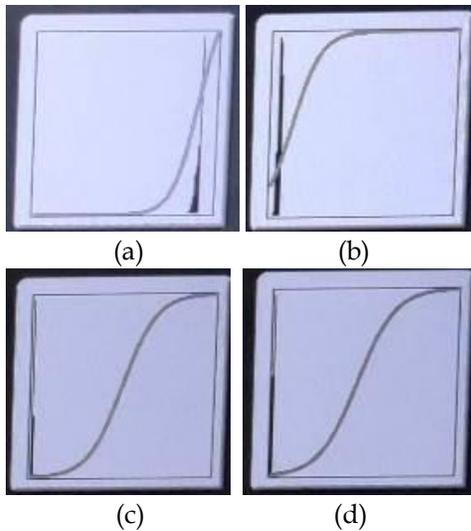
Faktor eksposi yang digunakan dalam pemeriksaan radiografi abdomen adalah kV 80, mA 250, dan s 0,080 dengan pengaturan FFD 100

cm. Berdasarkan hasil ekposi didapat nilai dosis 1,977 mGy. Hasil nilai indeks exposure dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3.** Nilai indeks exposure pemeriksaan abdomen

Perlakuan ke -	Jarak IP	Nilai Indeks Exposure
1	Berkas utama	3615
2	1 meter	230
3	2 meter	7
4	Meja konsul	7

Berdasarkan hasil tersebut didapat grafik kurva karakteristik seperti gambar 3.



**Gambar 3.** Hasil kurva karakteristik faktor ekposi abdomen (a) berkas utama; (b) jarak 1 meter; (c) jarak 2 meter; (d) meja konsul.

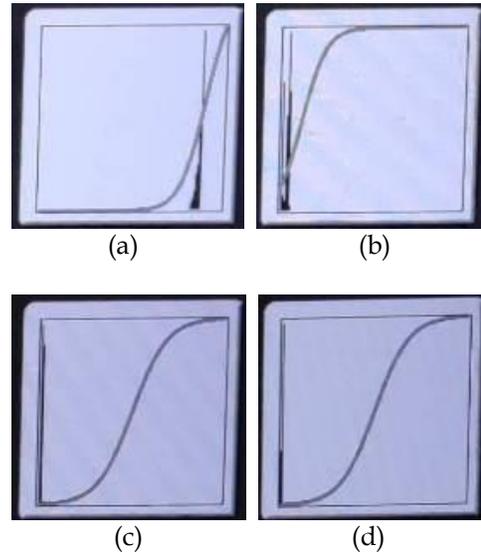
4) Ektremitas

Faktor ekposi yang digunakan dalam pemeriksaan radiografi ekstremitas adalah kV 70, mA 320, dan s 0,063 dengan pengaturan FFD 100 cm. Berdasarkan hasil ekposi didapat nilai dosis 1,514 mGy. Hasil nilai indeks exposure dapat dilihat pada tabel 4.

**Tabel 4.** Nilai indeks exposure pemeriksaan ekstremitas

Perlakuan ke -	Jarak IP	Nilai Indeks Exposure
1	Berkas utama	3461
2	1 meter	403
3	2 meter	7
4	Meja konsul	7

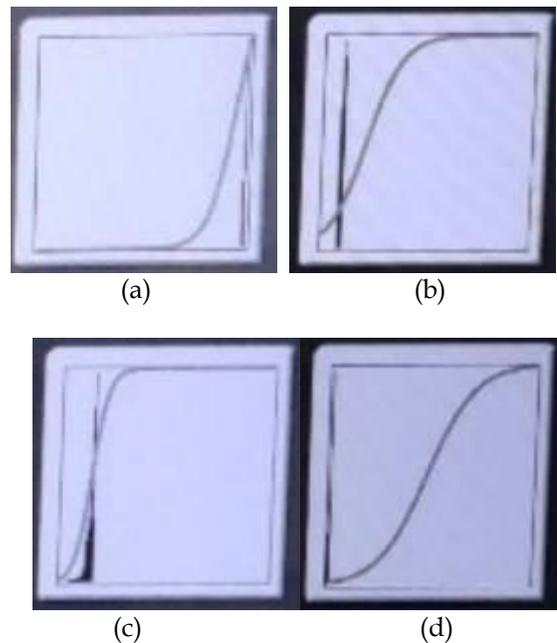
Berdasarkan hasil tersebut didapat grafik kurva karakteristik seperti gambar 4.



**Gambar 4.** Hasil kurva karakteristik faktor ekposi ekstremitas (a) berkas utama; (b) jarak 1 meter; (c) jarak 2 meter; (d) meja konsul.

5) Vertebrae

Berdasarkan hasil tersebut didapat grafik kurva karakteristik seperti gambar 5.



**Gambar 5.** Hasil kurva karakteristik faktor ekposi vertebra (a) berkas utama; (b) jarak 1 meter; (c) jarak 2 meter; (d) meja konsul.

Faktor eksposi yang digunakan dalam pemeriksaan radiografi vertebra lateral adalah kV 100, mA 320, dan s 0,14 dengan pengaturan FFD 100 cm. Berdasarkan hasil eksposi didapat nilai dosis 6,779 mGy. Hasil nilai indeks eksposure dapat dilihat pada tabel 5.

**Tabel 5.** Nilai indeks eksposure pemeriksaan vertebrae

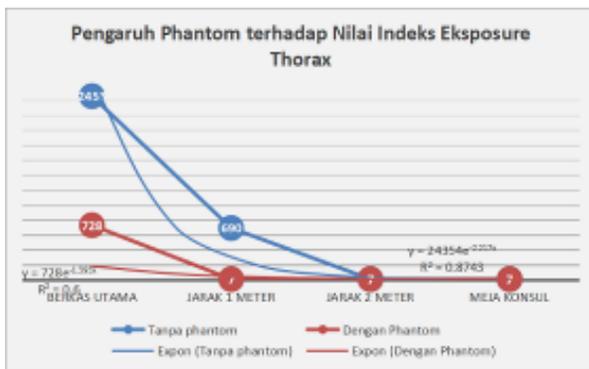
Perlakuan ke -	Jarak IP	Nilai Indeks Eksposure
1	Berkas utama	3982
2	1 meter	624
3	2 meter	473
4	Meja konsul	7

b. Pengaruh Penggunaan dan tanpa phantom terhadap nilai indeks eksposure

Berdasarkan data yang telah diperoleh dilakukan analisis nilai indeks eksposure yang dihasilkan antara tanpa phantom dan dengan adanya phantom sebagai obyek.

1) Analisis nilai indeks eksposure obyek thorax

Grafik pengaruh nilai indeks eksposure obyek thorax dapat dilihat pada gambar 6 dengan nilai indeks eksposure tanpa phantom pada berkas utama adalah 2453; pada jarak 1 meter 690; pada jarak 2 meter dan pada meja konsul adalah 7. Sedangkan nilai indeks eksposure dengan menggunakan phantom pada berkas utama adalah 728; pada jarak 1 meter, 2 meter, dan pada meja konsul adalah 7.

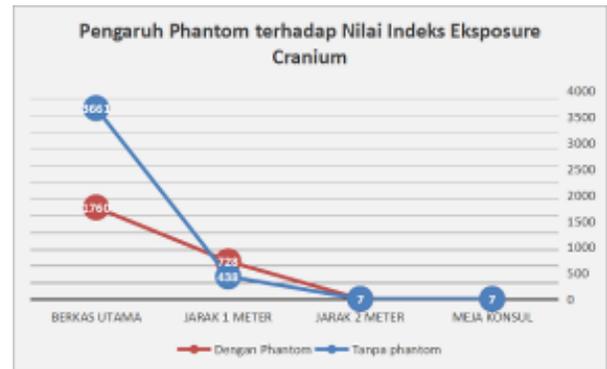


**Gambar 6.** Pengaruh phantom terhadap nilai indeks eksposure organ thorax

2) Analisis nilai indeks eksposure obyek cranium

Grafik pengaruh nilai indeks eksposure obyek cranium dapat dilihat pada gambar 7 dengan nilai indeks eksposure tanpa phantom

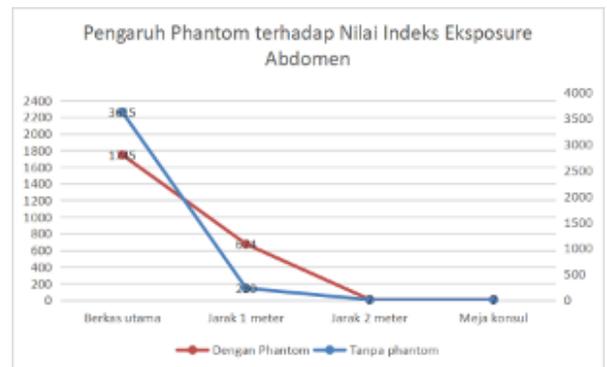
pada berkas utama adalah 3661; pada jarak 1 meter 438; pada jarak 2 meter dan pada meja konsul adalah 7. Sedangkan nilai indeks eksposure dengan menggunakan phantom pada berkas utama adalah 1760; pada jarak 1 meter 728, dan pada jarak 2 meter serta pada meja konsul adalah 7.



**Gambar 7.** Pengaruh phantom terhadap nilai indeks eksposure organ cranium

3) Analisis nilai indeks eksposure obyek abdomen

Grafik pengaruh nilai indeks eksposure obyek abdomen dapat dilihat pada gambar 8 dengan nilai indeks eksposure tanpa phantom pada berkas utama adalah 3615; pada jarak 1 meter 230; pada jarak 2 meter dan pada meja konsul adalah 7. Sedangkan nilai indeks eksposure dengan menggunakan phantom pada berkas utama adalah 1745; pada jarak 1 meter 674, dan pada jarak 2 meter serta pada meja konsul adalah 7.



**Gambar 8.** Pengaruh phantom terhadap nilai indeks eksposure organ abdomen

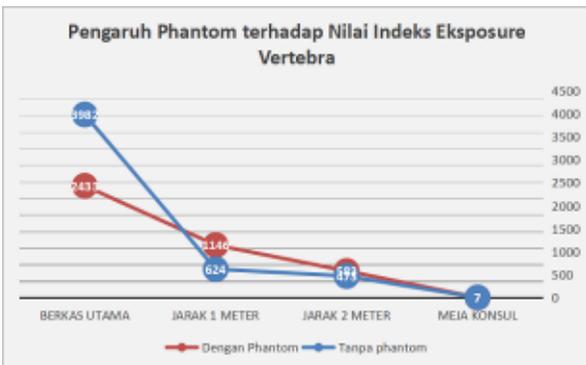
4) Analisis nilai indeks exposure obyek ekstremitas

Grafik pengaruh nilai indeks exposure obyek ekstremitas dapat dilihat pada gambar 9 dengan nilai indeks exposure tanpa phantom pada berkas utama adalah 3461; pada jarak 1 meter 403; pada jarak 2 meter dan pada meja konsul adalah 7. Sedangkan nilai indeks exposure dengan menggunakan phantom pada berkas utama adalah 1745; pada jarak 1 meter 674, dan pada jarak 2 meter serta pada meja konsul adalah 7.



Gambar 9. Pengaruh phantom terhadap nilai indeks exposure organ ekstremitas

5) Analisis nilai indeks exposure obyek vertebra



Gambar 10. Pengaruh phantom terhadap nilai indeks exposure organ vertebra

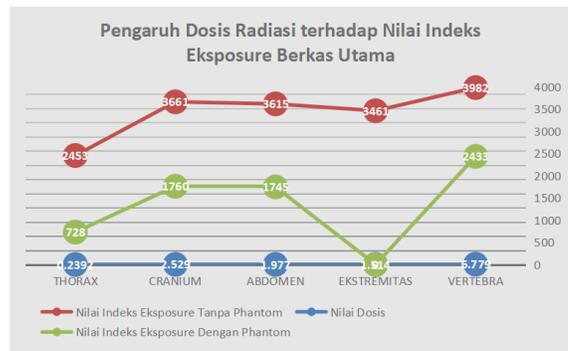
Grafik pengaruh nilai indeks exposure obyek vertebra dapat dilihat pada gambar 10 dengan nilai indeks exposure tanpa phantom pada berkas utama adalah 3982; pada jarak 1 meter 624; pada jarak 2 meter dan pada meja konsul adalah 7. Sedangkan nilai indeks exposure dengan menggunakan phantom pada berkas utama adalah 2433; pada jarak 1 meter 1146, dan pada jarak 2 meter serta pada meja konsul adalah 7.

meter 624; pada jarak 2 meter 473; dan pada meja konsul adalah 7. Sedangkan nilai indeks exposure dengan menggunakan phantom pada berkas utama adalah 2433; pada jarak 1 meter 1146, dan pada jarak 2 meter serta pada meja konsul adalah 7.

6) Pengaruh variasi dosis radiasi terhadap nilai indeks exposure

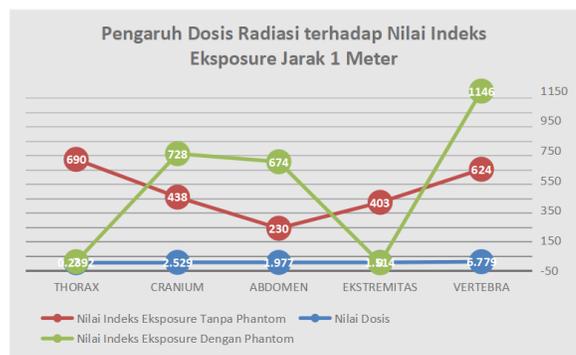
Dari data yang diperoleh dibuat grafik pengaruh antara nilai dosis radiasi yang terlihat dari meja konsul terhadap nilai indeks exposure.

a) Analisis dosis radiasi terhadap nilai indeks exposure berkas utama



Gambar 11. Pengaruh dosis radiasi terhadap nilai indeks exposure berkas utama

b) Analisis dosis radiasi terhadap nilai indeks exposure jarak 1 meter



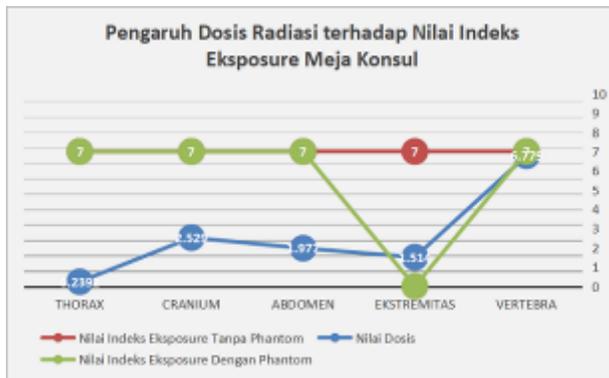
Gambar 12. Pengaruh dosis radiasi terhadap nilai indeks exposure jarak 1 meter

- c) Analisis dosis radiasi terhadap nilai indeks exposure jarak 2 meter



**Gambar 13.** Pengaruh dosis radiasi terhadap nilai indeks exposure jarak 2 meter

- 7) Analisis dosis radiasi terhadap nilai indeks exposure pada meja konsul



**Gambar 14.** Pengaruh dosis radiasi terhadap nilai indeks exposure meja konsul

Berdasarkan kajian diatas, maka dapat dijelaskan respon radiasi dengan imejing plate sebagai berikut :

- Image plate sebagai detektor memiliki nilai sensitivitas yang berbeda dalam menangkap energi radiasi yang menembus material. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan faktor sensitivitas mengekspos pelat citra terhadap sinar-X. Analisis dilakukan berdasarkan kurva karakteristik yang dibentuk oleh densitas versus paparan log. Penelitian dilakukan dengan mengukur nilai densitas yang terekam pada image plate untuk setiap level step dengan menggunakan variasi flow tube (Jannah, 2014).
- Sensitivitas tegangan tabung paling mempengaruhi pelat gambar. Nilai

sensitivitas respon terbaik pada Image Plate Computed Radiography merek iCRco diperoleh dengan menggunakan faktor eksposur tegangan 90 kV dengan arus 6,3 mAs dan 8 mAs. Ini didasarkan pada kurva yang dibentuk oleh nilai korelasi linier (Jannah, 2014).

- Energi sinar-X yang diserap oleh lapisan fosfor (per mA per satuan luas) dihitung secara teoritis sebagai indeks sensitivitas radiografi dengan menggunakan spektrum foton sinar-X insiden dengan rumus Birch-Marshall dan spektrum sensitivitas untuk rentang 40-140 kV. Media radiosensitif diperlakukan sebagai lapisan yang melibatkan pemuatan massal. Sensitivitas radiografik relatif pelat ST-II CR paling baik mendekati layar film HGM/UR2 pada 60 kV; itu jauh lebih rendah untuk pelat CR ST-II di kedua sisi 60 kV. Sensitivitas relatif pada 40 dan 140 kV pelat CR ST-II terhadap layar film HGM/UR2 masing-masing menurun sebesar 16 dan 30%. Hasil ini menyiratkan bahwa, dalam sistem CR, nilai mAs harus dinaikkan masing-masing sebesar 16 dan 30% pada 40 dan 140 kV. Hasil ini dijelaskan oleh posisi relatif tepi penyerapan K dari fosfor. Hasil yang dihitung secara teoritis sesuai dengan hasil eksperimen yang diperoleh dengan phantom resin akrilik. Hasil ini akan berguna dalam mencegah under atau overexposure dalam sistem CR dan dengan demikian mengontrol dosis yang diberikan kepada pasien (Engel-Hills, 2006).

Berdasarkan hasil kajian diatas, penulis akan mengembangkan respon radiasi yang terekam dalam imejing Plate menjadi salah satu bahan monitor radiasi personal. Dengan diperolehnya respon yang berbeda pada setiap eksposi , jarak, serta obyek materi yang ditembus dengan kurva karakteristik yang berbeda, maka dapat dilakukan Analisa hubungan dosis yang terkena dengan skala keabu2an yang terekam dalam computer radiografi. Dari data diatas, semua respon radiasi memberikan pengaruh indeks exposure yang berbeda, dengan adanya simulasi kurva diatas, dapat diprediksi dosis radiasi yang diperoleh oleh petugas yang dimonitor dengan Imejing Plate saat melakukan Tindakan radiografi.

Dengan adanya respon ini , masih diperlukan alat bantu pemantau serapan radiasi yang akan dikembangkan pada periode selanjutnya yaitu mendesain monitor yang mudah digunakan petugas.

#### 4. Simpulan

Penulis akan mengembangkan respon radiasi yang terekam dalam imejing Plate menjadi salah satu bahan monitor radiasi personal. Dengan diperolehnya respon yang berbeda pada setiap eksposi, jarak, serta obyek materi yang ditembus dengan kurva karakteristik yang berbeda, maka dapat dilakukan Analisa hubungan dosis yang terkena dengan skala keabuan yang terekam dalam *Computed Radiography*. Dari data diatas, semua respon radiasi memberikan pengaruh indeks exposure yang berbeda, dengan adanya simulasi kurva diatas, dapat diprediksi dosis radiasi yang diperoleh oleh petugas yang dimonitor dengan Imejing Plate saat melakukan Tindakan radiografi.

Dengan adanya respon ini, masih diperlukan alat bantu pemantau serapan radiasi yang akan dikembangkan pada periode selanjutnya yaitu mendesain monitor yang mudah digunakan petugas.

#### 5. Ucapan Terimakasih

Terima kasih disampaikan kepada Direktur Poltekkes Kemenkes Semarang yang telah membantu dalam dukungan dana dan kepada semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini.

#### 6. Daftar Pustaka

- Akhadi, M. (2019). *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi*. Rhineka Cipta.
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2011). *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Pesawat Sinar X Radiologi Diagnostik dan Intervensial*.
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2015). *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 15 Tahun 2015 tentang Persyaratan untuk Memperoleh Surat Izin Bekerja Bagi Petugas Tertentu di Instalasi yang Memanfaatkan Sumber Radiasi Pengion*.
- Engel-Hills, P. (2006). Radiation Protection in Medical Imaging. *Radiography*, 12(2), 153-160. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2005.04.008>
- Finnerty, M., & Brennan, P. C. (2005). Protective aprons in imaging departments: manufacturer stated lead equivalence values require validation. *European Radiology*, 15(7), 1477-1484. <https://doi.org/10.1007/s00330-004-2571-2>
- Ginjaume, M., Carinou, E., Brodecki, M., Clairand, I., Domienik-Andrzejewska, J., Exner, L., Ferrari, P., Jovanović, Z., Krstic, D., Principi, S., Van Hoey, O., & Vanhavere, F. (2019). Effect of the Radiation Protective Apron on the Response of Active and Passive Personal Dosimeters used in Interventional Radiology and Cardiology. *Journal of Radiological Protection*, 39(1), 97-112. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/aaf2c0>
- Jannah, N. (2014). *Jannah, N. (2014). Analisis Kurva Karakteristik Image Plate Computed Radiography ( CR) Sebagai Indikator Sensitifitas Terhadap Sinar-X*.
- Kemkes RI. (2019). *Profil Kesehatan Indonesia 2018 [Indonesia Health Profile 2018]*. [http://www.depkes.go.id/resources/download/pusdatin/profil-kesehatan-indonesia/Data-dan-Informasi\\_Profil-Kesehatan-Indonesia-2018.pdf](http://www.depkes.go.id/resources/download/pusdatin/profil-kesehatan-indonesia/Data-dan-Informasi_Profil-Kesehatan-Indonesia-2018.pdf)
- Lambert, K., & McKeon, T. (2001). Inspection of Lead Aprons. *Health Physics*, 80, S67-S69. <https://doi.org/10.1097/00004032-200105001-00008>
- Rahman, F. U. A., Nurrachman, A. S., Astuti, E. R., Epsilawati, L., & Azhari, A. (2020). Paradigma Baru Konsep Proteksi Radiasi dalam Pemeriksaan Radiologi Kedokteran Gigi: dari ALARA menjadi ALADAIP. *Jurnal Radiologi Dentomaksilofasial Indonesia*, 4(2), 27-34. <https://doi.org/10.32793/jrdi.v4i2.555>