

Original paper

PENENTUAN DOSIS SERAP RELATIF RADIASI SINAR-X PADA RADIOGRAFI THORAKS DENGAN VARIASI PERIODE PEMERIKSAAN KESEHATAN MENGGUNAKAN APLIKASI MCNPX

C. B. Sukmawati, F. Arianto^{*}), dan E. Hidayanto

Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, S.H., Tembalang, Semarang 50275

Email: fajararianto@fisika.fsm.undip.ac.id

Received: 15 Oktober 2021; revised: 22 Desember 2021; accepted: 25 Desember 2021

ABSTRACT

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) states that the largest part of radiation applications in the medical field is exposure to X-ray radiation in routine diagnostic radiology examinations, especially in medical examination procedures. This study aims to determine the value of the relative absorbed dose received at several firing variations. This research was conducted by modeling a simulation of shooting an X-ray plane on an ORNL-MIRD phantom with the Postero-Anterior (PA) position at the -y position. The radiation source is located at coordinates $x=0$, $y=110$ and $z=47$ and uses photon particles (p) with an X-ray energy of 25 KeV to 80 KeV. The modeling in this study was carried out using the Monte Carlo N-Particle eXtended (MCNPX) program. The calculation of the absorbed dose from the modeling results obtained the highest relative dose on a routine diagnostic radiology examination of 2.67 mGy at one month intervals with an energy of 25 KeV in three firings. The lowest absorption dose is 0.012 mGy at intervals of twelve months once with an energy of 80 KeV in one shot. From the calculation of the relative dose, the effective value of the relative dose was obtained. The effective dose is compared with the low dose radiation value determined by BAPETEN to determine whether the value exceeds the threshold or not.

Keywords: relative absorbed dose, chest radiography, X-ray, MCNPX, relative effective dose, medical checkup.

ABSTRAK

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) menyatakan bahwa bagian terbesar dari aplikasi radiasi di bidang medik adalah dari paparan radiasi sinar-X pada pemeriksaan rutin radiologi diagnostik, terutama pada prosedur medical checkup. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai dosis serap relatif yang diterima pasien pada beberapa kali variasi penembakan. Penelitian ini dilakukan dengan memodelkan simulasi penembakan pesawat sinar-X pada phantom ORNL-MIRD dengan posisi Postero-Anterior (PA) pada posisi -y. Sumber radiasi terletak pada koordinat $x=0$, $y=110$ dan $z=47$ dan menggunakan partikel foton (p) dengan besar energi pesawat sinar-X 25 KeV sampai 80 KeV. Pemodelan dalam penelitian dilakukan dengan menggunakan program Monte Carlo N-Particle eXtended (MCNPX). Perhitungan nilai dosis serap dari hasil pemodelan mendapatkan hasil dosis relatif paling tinggi pada pemeriksaan rutin radiologi diagnostik sebesar 2,67 mGy pada interval waktu

satu bulan satu kali dengan energi 25 KeV pada tiga kali penembakan. Dosis serap paling rendah sebesar 0,012 mGy pada interval waktu dua belas bulan satu kali sekali dengan energi 80 KeV pada satu kali penembakan. Dari perhitungan dosis serap relatif, didapatkan nilai dosis efektif relatif. Dosis efektif relatif dibandingkan dengan nilai radiasi dosis rendah yang ditentukan oleh BAPETEN untuk mengetahui apakah nilainya melebihi ambang batas rekomendasi atau tidak.

Kata kunci: *dosis serap relatif, radiografi thoraks, pesawat sinar-X, MCNPX, dosis efektif relatif, medical checkup.*

PENDAHULUAN

Ketika radiasi sinar-X menembus bahan/materi, terjadi tumbukan foton dengan atom-atom bahan yang akan menimbulkan ionisasi didalam bahan tersebut. Sinar-X merupakan radiasi pengion, sehingga dapat menimbulkan efek radiasi terhadap tubuh, baik yang bersifat non stokastik, stokastik maupun efek genetik. Semakin besar dosis yang diterima, semakin besar pula dampak negatif yang terjadi, sehingga dampak negatif dari radiasi tersebut sebanding dengan jumlah radiasi yang diterima. Menyangkut pernyataan tersebut, masih banyak masyarakat awam yang belum mengetahui efek samping dari paparan radiasi sinar-X, sehingga menyebabkan masyarakat kurang waspada saat melakukan prosedur medical check-up, terutama bagi masyarakat yang sedang mencari pekerjaan [1].

Menurut ahli dari *Center for Disease Control and Prevention (CDC)*, Amerika Serikat (AS), *medical check-up* dapat dilakukan dalam rentang waktu satu tahun sekali. *Medical check-up* baik dilakukan ketika sudah memasuki usia 18 tahun ke atas. Bagi seseorang yang telah menginjak usia 40 tahun ke atas atau mengidap penyakit tertentu, *medical check-up* diperbolehkan untuk dilakukan lebih dari satu kali dalam

setahun fluktuatif tergantung pada penyakit yang diderita. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dosis serap relatif yang diterima tubuh bila melakukan *medical check-up* pada rentang waktu satu bulan sekali, dua bulan sekali, tiga bulan sekali, empat bulan sekali, enam bulan sekali, dan dua belas bulan sekali dalam periode penyinaran radiasi sinar-X oleh pesawat sinar-X dengan variasi penembakan berulang pada pasien *medical check-up* yang sedang mencari pekerjaan untuk dibandingkan dengan standar.

Penelitian ini dilakukan melalui simulasi penyinaran sinar-X menggunakan program *Monte Carlo N-Particle eXtended (MCNPX)*. MCNPX adalah aplikasi dari kode transport radiasi Monte Carlo yang dapat melacak hampir semua partikel pada hampir semua energi. Penggunaan MCNPX untuk penelitian tentang radiografi pernah dilakukan oleh Lazarine tahun 2006 yang membahas tentang pembuatan gambar radiografi berdasarkan penghitungan fluks. Hasilnya juga sudah dikalibrasi dengan penelitian yang dilakukan di rumah sakit [2]. Penelitian Lazarine yang lain membahas tentang perhitungan fluks energi tumor dari sinar-X eksternal. Penelitian tersebut menggunakan sumber radiasi silinder yang mengalami degenerasi yang dimodelkan menggunakan kode MCNPX. Bentuk

sumber tersebut akan digunakan juga dalam penelitian penelitian ini. Pengerjaan penelitian ini dapat dipermudah dengan penggunaan Phantom ORNL-MIRD (*Oak Ridge National Laboratory – Medical International Radiation Dose Committee*) [2].

DASAR TEORI

Sinar-X Bremsstrahlung

Terjadi ketika sinar katoda atau berkas elektron bergerak dalam tabung dengan kecepatan yang sangat tinggi. Ketika elektron bermuatan negatif (-) mendekati inti atom bermuatan positif (+), maka gaya elektrostatis yang kuat dari inti atom akan menyebabkan pembelokan tajam pada lintasan gerak elektron. Pembelokan lintasan gerak elektron akan menyebabkan kecepatan elektron berkurang atau terjadi pengereman, sehingga setelahnya terjadi perubahan momentum. Sinar-X Bremsstrahlung memiliki spektrum kontinyu [3].

Sinar-X Karakteristik

Terjadi saat berkas elektron bebas berenergi kinetik tinggi berinteraksi dengan elektron orbital pada kulit atom. Sinar-X karakteristik memiliki spektrum diskrit berupa puncak-puncak pancaran yang sangat tajam. Sinar-X karakteristik menyebar secara merata pada semua arah. [3].

Proses Terjadinya Sinar-X pada Tabung Pesawat sinar-X

Katoda atau filamen dipanaskan sampai menyala dengan mengalirkan listrik yang berasal dari transformator sehingga elektron-elektron dari katoda atau filamen terlepas. Sewaktu dihubungkan dengan transformator

tegangan tinggi, elektron-elektron akan dipercepat gerakannya menuju anoda dan dipusatkan ke alat pemusat (focusing cup). Filamen dibuat relatif negatif terhadap sasaran atau target dengan memilih potensial tinggi dan awan-awan elektron mendadak dihentikan pada sasaran sehingga terbentuk panas (>99%) dan sinar-X (<1%). Perisai timah akan mencegah keluarnya sinar-X dari tabung, sehingga sinar-X yang terbentuk hanya dapat keluar melalui jendela. Panas yang tinggi pada sasaran akibat benturan elektron ditiadakan oleh radiator pendingin. Jumlah sinar-X yang dilepaskan setiap satuan waktu dapat dilihat pada alat pengukur miliampere (mA), sedangkan jangka waktu pemotretan dikendalikan oleh alat pengukur waktu [4].

Dosis Serap Radiasi

Merupakan kuantisasi proses yang ditinjau sebagai akibat dari radiasi yang mengenai materi. Dosis serap tidak bergantung pada jenis radiasi, energi radiasi maupun sifat bahan penyerap, tetapi bergantung pada jumlah energi radiasi yang diserap persatuan massa bahan yang menerima penyinaran tersebut. Dosis radiasi dapat dirumuskan :

$$D = dE/dm \quad (1)$$

Jika dE dalam Joule (J) dan dm dalam kilogram (kg), maka D=J/kg atau Gray (Gy) atau 100 radiation absolut dose (rad) [3].

Fluks (ϕ)

Merupakan hasil bagi dari dN oleh da. Satuan dari besaran fluks adalah partikel/cm² atau partikel/m². Fluks dapat dituliskan sebagai:

$$\phi = dN/da \quad (2)$$

dimana dN adalah jumlah partikel yang

datang pada bidang luas penampang dan da adalah luas penampang [5].

Monte Carlo N-Particel (MCNP)

Kode komputer *Monte Carlo N- Particel* (MCNP) merupakan sebuah kode transport partikel berkemampuan tiga dimensi dan pemodelan sumber. Pengaplikasian kode Monte Carlo dapat diterapkan pada reaktor fisika, pelindung (*shielding*), sifat kritis reaktor, lingkungan pembersihan limbah nuklir, pencitraan medis, dan berbagai bidang terkait. Metode Monte Carlo menyelesaikan masalah-masalah yang tidak dapat diselesaikan secara analitik menggunakan metode numerik statistik [2].

METODE PENELITIAN

Data primer pada penelitian ini terdiri dari data geometri, material penyusun dan densitas bahan penyusun phantom ORNL-MIRD yang dituliskan pada kartu sel, kartu permukaan dan kartu material dalam listing program MCNPX. Semua data primer yang digunakan dalam listing program phantom ORNL-MIRD merupakan data yang sudah valid dan sudah teruji keakuratannya dengan bentuk tubuh asli manusia. listing phantom yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe ORNL/TM-8381 - ORNL MIRD phantom (1996 version). Acuan untuk membentuk phantom tersebut tertulis dalam buku panduan MCNPX versi 2.6.0.

Sumber radiasi terletak pada koordinat $x=0$, $y=110$ dan $z=47$, menunjukkan bahwa jarak sumber radiasi dengan phantom adalah 1,1 m sama dengan keadaan sebenarnya. Koordinat y menunjukkan jarak sumber radiasi dengan phantom dan arah paparan menuju sumbu $-y$.

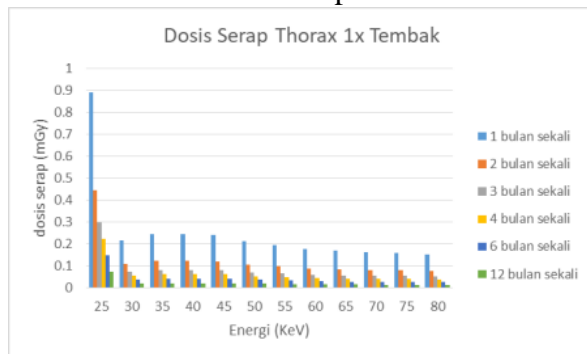
Partikel yang digunakan dalam penelitian ini berupa partikel foton (p). Energi yang digunakan dalam input radiasi sebesar 30 KeV. Jari-jari sumber sebesar 0 cm sampai 10 cm. Distribusi partikel yang diinginkan dalam sumber berupa permukaan melingkar. Energi sinar-X berupa energi kontinyu dan memiliki spektrum bremsstrahlung.

Diperlukan pendekatan dasar yang berguna untuk mengubah jumlah fluks menjadi satuan dosis, yaitu dengan melipat satu atau lebih fungsi fluks menggunakan faktor konversi dosis. Pendekatan lain juga dapat digunakan, yaitu dengan menggunakan metode nomor pemanas. Kedua pendekatan tersebut valid untuk dosis foton, tetapi penggunaan fungsi konversi direkomendasikan untuk dosis ekuivalen neutron, ambien dosis yang setara dengan dosis efektif.

Data disajikan dalam dua grafik dengan analisis yang berbeda, yaitu grafik batang dan grafik *stacked line*. Energi paparan sinar-X sebagai absis sedangkan nilai dosis serap (D) sebagai ordinatnya digunakan pada grafik satu. Grafik satu yaitu grafik batang hubungan antara energi paparan sinar-X dan nilai dosis serap yang telah dikalikan dengan faktor waktu. Bertujuan untuk menganalisis besarnya dosis serap yang telah diterima pasien *medical checkup* dengan variasi jumlah penembakan dan periode penembakan oleh pesawat sinar-X. Grafik dua yaitu grafik hubungan waktu penembakan sebagai absis dan dosis efektif dengan jenis grafik *stacked line* untuk melihat apakah nilai dosis efektif yang didapatkan dari perhitungan menggunakan data dosis serap mendekati 1 mSv.

HASIL DAN PEMBAHASAN

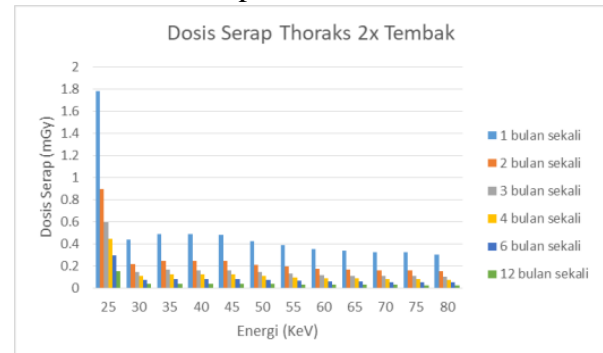
Hasil survei mengenai perlakuan *medical checkup* menyatakan sebanyak 81,8% masyarakat melakukan prosedur pemeriksaan kesehatan dengan alasan mencari pekerjaan. Sebanyak 16,7% masyarakat pencari kerja pernah melakukan *medical checkup* lebih dari sekali dalam setahun dengan alasan mencari pekerjaan. Sebanyak 25% pencari kerja pernah terpapar penembakan sinar-X melalui pesawat sinar-X lebih dari satu kali saat melakukan pemeriksaan. Sebanyak 25% masyarakat pencari kerja tidak menerima hasil pemeriksaan kesehatan mereka Sehingga mereka harus melakukan *medical checkup* kembali saat melamar ke perusahaan lain.



Gambar 1. Grafik batang dosis serap thoraks satu kali tembak.

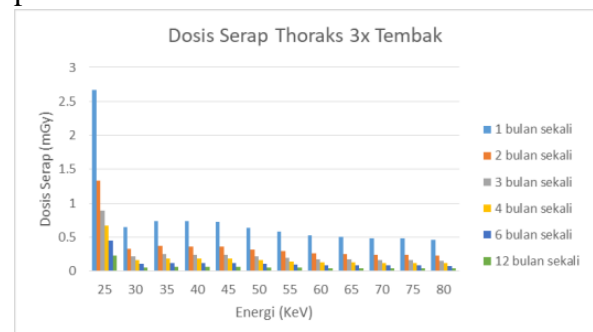
Dalam standar yang telah ditetapkan oleh Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional besarnya dosis serap maksimum yang diizinkan untuk pemeriksaan thorax pada posisi Postero-Anterior (PA) adalah sebesar 0,4 mGy (Gambar 1). Dari hasil analisa dapat disimpulkan bahwa penembakan radiasi pada energi 25 KeV setiap satu bulan sekali

dan dua bulan sekali telah melewati ambang batas rekomendasi yang disarankan yaitu 0,4 mGy yang ditentukan untuk pemeriksaan foto thoraks oleh peraturan BAPETEN.



Gambar 2. Grafik batang dosis serap thoraks dua kali tembak.

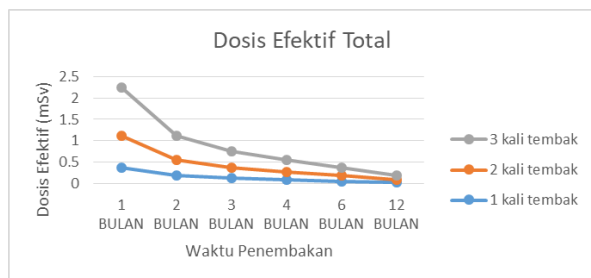
Dari hasil analisa grafik (Gambar 2) secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa penembakan radiasi pada energi 25 KeV setiap satu bulan sekali, dua bulan sekali, tiga bulan sekali dan empat bulan sekali telah melewati ambang batas rekomendasi yaitu 0,4 mGy yang ditentukan untuk pemeriksaan foto thoraks oleh peraturan BAPETEN.



Gambar 3. Grafik batang dosis serap thoraks tiga kali tembak.

Dari data yang ditampilkan pada grafik (Gambar 3) dapat dilihat penerimaan dosis tertinggi terjadi pada penyinaran sinar-X dengan energi 25 KeV pada penembakan setiap satu bulan sekali yaitu sebesar 2,67262

mGy dan nilai penerimaan dosis terendah terjadi pada penyinaran sinar-X dengan energi 80 KeV pada penembakan setiap dua belas bulan sekali yaitu sebesar 0,03814 mGy. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa dosis paling tinggi yang diterima pasien dari tiga kali penembakan Sinar-X sudah sangat melewati ambang batas rekomendasi 0,4 mGy.



Gambar 4. Grafik dosis efektif total.

Grafik (Gambar 4) dapat dijabarkan bahwa pada pemeriksaan radiografi setiap satu bulan sekali, pada satu kali penembakan energi sinar-X, dosis efektif yang diterima pasien adalah sebesar 0,37466 mSv, pada dua kali penembakan adalah sebesar 0,74932 mSv, dan pada tiga kali penembakan dosis efektif yang diterima pasien adalah sebesar 1,12398 mSv. Pada pemeriksaan dua bulan sekali, penembakan satu kali energi sinar-X memberikan nilai dosis efektif sebesar 0,18733 mSv, ada dua kali penembakan menghasilkan dosis efektif sebesar 0,37466 mSv, dan pada tiga kali penembakan nilai dosis efektif yang diterima pasien adalah sebesar 0,56199 mSv. Data untuk penembakan setiap tiga bulan sekali, empat bulan sekali, enam bulan sekali, dan dua belas bulan sekali dapat dilihat pada Tabel 1.

Nilai dosis efektif akan digunakan sebagai acuan untuk mengetahui efek radiasi atau efek stokastik seperti apa yang dapat diterima pasien. Menurut pengelompokan efek radiasi oleh BATAN, efek stokastik

terjadi ketika jaringan atau sel terpapar radiasi dosis rendah yang dapat muncul pada manusia dalam bentuk kanker (kerusakan somatik) atau cacat pada keturunan (kerusakan genetik).

Tabel 1. Dosis Efektif Total (mSv).

Bulan	E 1 kali tembak	E 2 kali tembak	E 3 kali tembak
1 bln sekali	0,37466 0422	0,749320 845	1,123981 267
2 bln sekali	0,18733 0211	0,374660 422	0,561990 634
3 bln sekali	0,12488 6807	0,249773 615	0,374660 422
4 bln sekali	0,09366 5106	0,187330 211	0,280995 317
6 bln sekali	0,06244 3404	0,124886 807	0,187330 211
12 bln sekali	0,03122 1702	0,062443 404	0,093665 106

Radiasi dosis rendah merupakan radiasi dengan dosis 0,25 mSv ampai 1.000 mSv. Berdasarkan pernyataan tersebut, analisis grafik (Gambar 4) dapat disimpulkan bahwa nilai dosis efektif yang termasuk dalam radiasi dosis rendah terjadi pada pemeriksaan radiografi sinar-X setiap satu bulan sekali pada satu sampai tiga kali penembakan, radiasi dosis rendah terjadi juga pada pemeriksaan setiap dua bulan sekali pada dua kali dan tiga kali penembakan, dan radiasi dosis rendah juga terjadi pada pemeriksaan setiap tiga bulan sekali pada dua kali sampai tiga kali penembakan.

KESIMPULAN

Nilai dosis serap relatif yang diterima oleh pasien pemeriksaan pencitraan radiografi thoraks. Pada satu kali penembakan, dosis serap tertinggi yang didapatkan sebesar 1,271 dan yang terendah sebesar 0,0223 mGy. Pada dua kali penembakan, dosis

serap tertinggi yang didapatkan sebesar 2,542 mGy dan yang terendah sebesar 0,0447 mGy. Padatiga kali penembakan, dosis serap tertinggi yang didapatkan sebesar 3,813 mGy dan yang terendah sebesar 0,067mGy.

Analisa grafik *stacked line* hubungan antara waktu penembakan dan dosis efektif (E) yang diberikan kepada pasien menunjukkan rekomendasi interval waktu yang relatif aman untuk melakukan pengambilan citra radiografi thoraks dalam satu tahun atau satu periode, yaitu adalah setiap dua belas bulan sekali. Dosis efektif relatif yang diterima pasien adalah 0,03122 mSv pada satu kali penembakan, 0,06244 mSv padadua kali penembakan, dan 0,09367 mSv pada tiga kali penembakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alatas Z. Efek Radiasi Pengion Dan Non Pengion Pada Manusia. *Buletin Alara*, 2005;5(203): 99-112.
- [2] Oktajianto H. *Dasar - Dasar Software MCNP (Monte Carlo N-Particle) Edisi 0.1*. 2015. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [3] Darmini. *Penerimaan Dosis Radiasi Pada Pemeriksaan Radiografi Konvensional Non Kontras*. 2014. Semarang: Poltekkes Kemenkes Semarang.
- [4] Jauhari A. Proteksi Radiasi dan Radiobiologi dalam Pelayanan Radiologi Diagnostik. *Stadium Generale Radiografi 1 (Pertama)*. 2010: 1-7.