

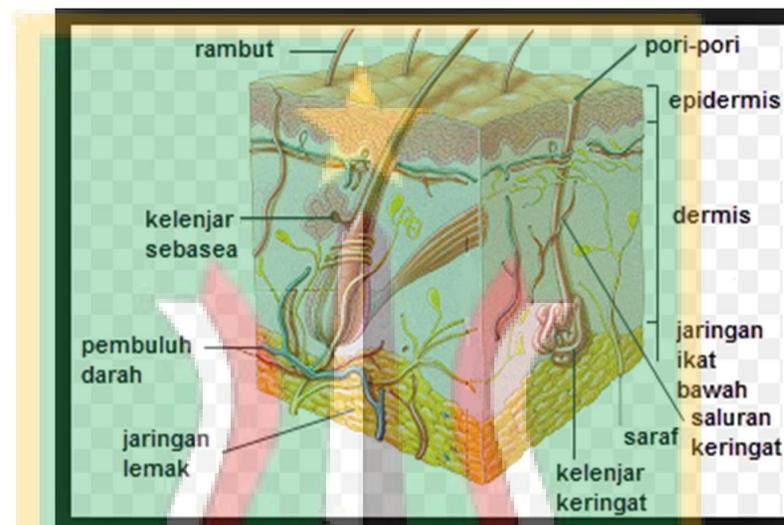
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1.Landasan Teori

2.1.1. Organ beresiko pada pemeriksaan radiografi kepala

2.1.1.1. Organ Kulit



Gambar 2.1 Struktur Anatomi Kulit

Kulit adalah organ tubuh yang terletak paling luar. Luas kulit orang dewasa adalah 1,5 m² dengan berat kira-kira 15 % dari berat badan. Kulit merupakan organ yang esensial dan vital serta merupakan cermin dari kesehatan dan kehidupan. Kulit juga sangat kompleks, elastis dan sensitif, serta bervariasi pada keadaan iklim, umur, seks, ras, dan juga bergantung pada lokasi tubuh. Kulit secara garis besar tersusun atas tiga lapisan yaitu: lapisan epidermis atau kutikel, lapisan dermis dan lapisan hypodermis

2.1.1.1 Organ Mata

Mata berbentuk bulat dengan sedikit tonjolan dibagian depan. Bagian yang bisa terlihat dari luar hanyalah setengah bagiannya saja, yaitu kornea, iris, pupil, sclera, dan konjungtiva. Mata dilindungi oleh kelopak dan bulu mata. Ketika berkedip kelopak mata juga membantu melumasi permukaan mata dengan air mata. ⁽¹²⁾ Mata terdiri dari beberapa bagian, yaitu: kornea, iris, pupil, sklera, konjungtiva, lensa, rongga vitorus, retina, makula dan saraf optik

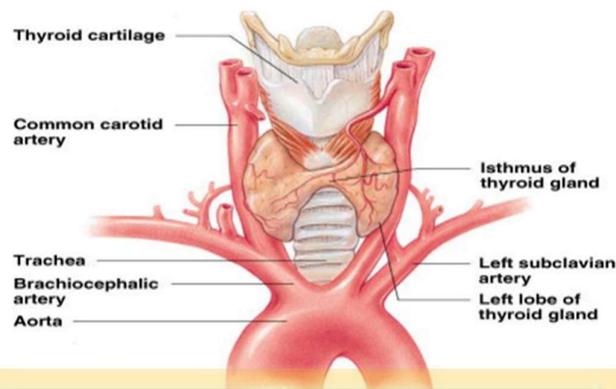


Gambar 2.2 Struktur Anatomi Mata

<https://fiain30j.blogspot.com/2015/11/indera-penglihatan>

2.1.1.1 Organ tiroid

Kelenjar tiroid terdiri dari dua lobus yang berada di kanan dan kiri trakea anterior dan dihubungkan oleh suatu isthmus. Isthmus kelenjar tiroid terletak tepat dibawah kartilago tiroid, dipertengahan antar apeks kartilagoda dan insisura suprasternum.

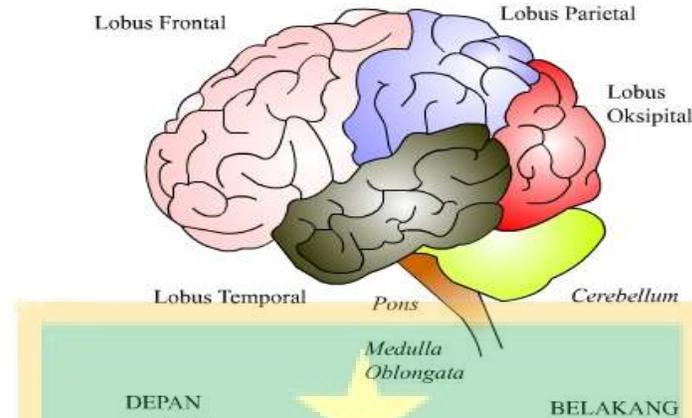


Gambar 2.3 Struktur Anatomi tiroid

2.1.1.1 Organ otak

Otak besar adalah permata mahkota penciptaan dan evolusi. Ini adalah struktur yang sangat halus, rumit, dan indah. Tujuan dari bab ini adalah untuk memberikan informasi yang diperlukan untuk memungkinkan ahli bedah saraf melakukan navigasi secara akurat, lembut, dan aman di sekitar dan melalui otak besar dan ruang intrakranial. Lokasi struktur yang dalam sering dijelaskan dalam kaitannya dengan landmark serebral kranial dan superfisial untuk mengembangkan konsep tembus pandang, jenis pengetahuan x-ray dari otak besar. Dalam banyak ilustrasi, diseksi bertahap digunakan untuk mengklarifikasi hubungan antara struktur di lapisan yang berbeda. Konsep klinis dan bedah penting bercampur dengan deskripsi otak besar dan arteri, vena, dan ventrikalnya.

Anatomi Otak Manusia



Gambar 2.4 Struktur Anatomi otak

2.1.2 Dosimetri Radiasi

2.1.2.1 Kinetik Energy Release in Matter (KERMA)

Kerma adalah jumlah energi kinetik awal dari partikel bermuatan yang dilepaskan oleh partikel tidak bermuatan dalam suatu materi dengan massa tertentu. Satuan khusus dari Kerma adalah Gy (Gray). (IAEA, 2007)

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

K : KERMA (J/kg atau Gray)

dE_{tr} : Energi kinetik (J)

dm : Massa partikel (kg)

2.1.2.2 Incident Air Kerma (INAK)

Incident Air Kerma (INAK) adalah kerma udara yang berasal dari penyinaran sinar X yang diukur pada jarak 100 cm dari titik fokus ke detektor tanpa memperhitungkan hamburan balik (*backscatter*). Satuan khusus INAK yaitu Gray.

(Pradana, 2011). Persamaan untuk menghitung nilai incident air kerma (INAK) adalah:

$$K_i = Y(d)Pit\left(\frac{d}{d_{FTD}-t_p}\right)^2 \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

K_i : Air kerma permukaan masuk (mGy)

$Y(d)$: keluaran tabung pada jarak d /mAs)

Pit : Arus masuk (mAs)

d : Jarak fokus ke detektor (m)

$DFTD$: Jarak fokus ke meja pemeriksaan (m)

T_p : Tebal objek radiasi (m)

2.1.2.3 Entrance Surface Dose (ESD)

Entrance Surface Dose (ESD) adalah kerma udara yang diukur pada pusat sinar pada pertengahan posisi pasien atau *phantom* dengan memperhitungkan radiasi hambur yang terjadi. ESD merupakan perkalian INAK dan faktor hamburan balik atau *backscatter factor*. ESD merupakan salah satu satuan kuantitas pada radiologi diagnostik untuk menyatakan dosis radiasi yang diterima objek (pasien atau phantom).

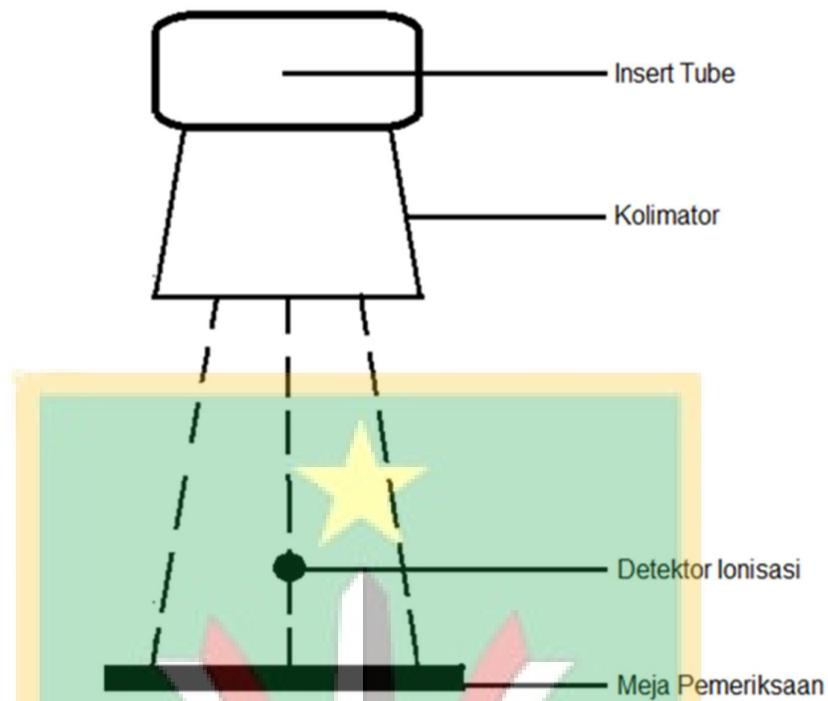
$$K_e = K_i \cdot B \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

K_e : Dosis permukaan masuk (Gray)

K_i : Insiden Air kerma (Gray)

B : faktor hamburan balik



Gambar 2.5: Pengukuran *Incident Air Kerma*

2.1.2.4 Dosis serap

Dosis Serap didefinisikan sebagai energi rata-rata radiasi yang diserap pada suatu titik dari bahan persatuan massa bahan tersebut. Pada system internasional (SI), kerma dan dosis serap masing-masing memiliki satuan joule per kilogram (J/kg), dengan nama khusus gray (Gy), satuan lama yakni *Radiation Absorbed Dose* (rad). Dosis serap dapat dirumuskan:

$$D = \frac{dE}{dm} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

dE : energy yang diserap

dm : massa bahan

1 gray (Gy) = 100 rad

2.1.2.5 Dosis ekivalen

Dosis ekivalen efektif digunakan untuk menyatakan seberapa besar efek radiasi terhadap tubuh manusia, tetapi bukan merupakan besaran fisis sebenarnya. Melainkan petunjuk untuk tujuan proteksi radiasi yang didasarkan pada dosis serap dalam artian tidak dapat menyatakan secara langsung seberapa besar efeknya terhadap manusia. Nilai dosis ekivalen efektif berbeda untuk organ tubuh yang berbeda karena masing-masing organ tubuh mempunyai daya tahan atau kerentanan yang berbeda terhadap radiasi. Untuk menyatakan seberapa besar efek radiasi pada tubuh manusia digunakan satuan Sv (Sievert) dalam Sistem SI dan rem yang merupakan satuan lama dosis ekivalen. Dosis Ekivalen dapat dirumuskan:

$$H = \sum(D \times W_r) \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

H : dosis ekivalen (Sv)

D : dosis serap (Gy)

W_r : faktor bobot radiasi

Tabel 2.1 Fakto Bobot Radiasi, W_R

Jenis radiasi	Faktor bobot radiasi W_R
Foton	1
Elektron	1
Proton	2
Alfa, fragmen fisi, ion berat	20
Neutron	Fungsi energi neutron *

2.1.2.6 Dosis efektif

Dosis Efektif adalah besaran dosis yang khusus digunakan dalam Proteksi Radiasi untuk mencerminkan risiko terkait dosis, yang nilainya adalah jumlah perkalian Dosis Ekuivalen yang diterima jaringan dengan faktor bobot jaringan (Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2015). Karena hubungan antara peluang terjadinya efek stokastik dan dosis ekuivalen diketahui bergantung pula pada organ atau jaringan yang terpapar, besaran selanjutnya ditentukan untuk menunjukkan kombinasi berbagai dosis dengan berbagai jaringan yang berbeda sedemikian rupa sehingga berkorelasi langsung dengan efek stokastik total. Seperti dosis ekuivalen, satuan dosis efektif dalam SI adalah Joule per kilogram (J/kg), dengan nama khusus Sievert (Sv). Satuan lama untuk dosis ekuivalen adalah rem, dengan $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ ⁽¹³⁾

Dosis efektif dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \sum(H \times W_t)$$

Atau

$$E = \sum(D \times W_r \times W_t)$$

Dimana:

- E : dosis efektif (Sv)
- H : dosis ekuivalen (Sv)
- D : dosis serap (Gy)
- W_t : faktor bobot jaringan
- W_r : faktor bobot radiasi

Tabel 2.2: Nilai Faktor Bobot Jaringan

No	Organ atau Jaringan Tubuh	(W _T)
1.	Gona	0.20
2.	Sum-sum tulang	0.12
3.	Usus Besar	0.12
4.	Paru-paru	0.12
5.	Lambung	0.12
6.	Ginjal	0.5
7.	Payudara	0.5
8.	Hati	0.5
9.	Oesephagus	0.5
10.	Thiroyd	0.5
11.	Kulit	0.1
12.	Tulang	0.1
13.	Dada	-
14.	Organ lainnya	0.5



2.1.3 Efek Radiasi

2.1.3.1 Berdasarkan jenis sel

Berdasarkan jenis sel, maka efek radiasi dapat dibedakan atas:

1. Efek genetik non somatik atau efek pewarisan efek genetik adalah efek yang dirasakan oleh keturunan dari individu yang terkena paparan radiasi.
2. Efek somatik, efek somatik adalah kerusakan oleh individu yang terpapar radiasi. Waktu yang dibutuhkan sampai terlihatnya gejala efek somatik sangat bervariasi sehingga dapat dibedakan atas:

Efek segera, yaitu kerusakan yang secara klinik sudah dapat teramati pada individu dalam waktu singkat setelah individu tersebut terpapar radiasi, seperti epilasi (rontoknya rambut), eritema (memerahnya kulit), luka bakar dan penurunan jumlah sel darah. Kerusakan tersebut terlihat dalam waktu hari sampai minggu pasca iradiasi

Efek tertunda, yaitu merupakan efek radiasi yang baru timbul setelah waktu yang lama (bulanan atau tahunan) setelah terpapar radiasi, seperti katarak dan kanker.

1.1.3.2. Berdasarkan dosis radiasi

Bila ditinjau dari dosis radiasi (untuk kepentingan proteksi radiasi), efek radiasi dibedakan atas efek stokastik dan efek deterministik (non stokastik)

1. Efek stokastik

Efek yang penyebab timbulnya merupakan fungsi dosis radiasi dan diperkirakan tidak mengenal dosis ambang. Efek ini terjadi sebagai akibat paparan radiasi dengan dosis yang menyebabkan terjadinya perubahan pada sel. Radiasi serendah apapun selalu terdapat kemungkinan untuk menimbulkan perubahan pada sistem biologik, baik pada tingkat molekul maupun sel. Dengan demikian radiasi dapat pula tidak membunuh sel tetapi mengubah sel. Sel yang mengalami perubahan ini mempunyai peluang untuk lolos dari sistem pertahanan tubuh yang berusaha untuk menghilangkan sel seperti ini. Semua akibat proses modifikasi atau transformasi sel ini disebut efek stokastik yang terjadi secara acak. Efek stokastik terjadi tanpa ada dosis ambang dan baru akan muncul setelah masa laten yang lama. Semakin besar dosis paparan, semakin besar peluang terjadinya efek stokastik. Sedangkan tingkat keparahannya tidak ditentukan oleh jumlah dosis yang diterima. Bila sel yang mengalami perubahan adalah sel genetik, maka sifat-sifat sel yang

baru tersebut akan diwariskan kepada turunannya sehingga timbul efek genetik atau pewarisan. Apabila sel ini adalah sel somatik maka sel-sel tersebut dalam jangka waktu yang relatif lama, ditambah dengan pengaruh dari bahan-bahan yang bersifat toksik lainnya, akan tumbuh dan berkembang menjadi jaringan ganas atau kanker. Maka dari itu dapat disimpulkan ciri-ciri efek stokastik

- Tidak mengenal dosis ambang
- Timbul setelah melalui masa tenang yang lama
- Kearahannya tidak bergantung pada dosis radiasi
- Tidak ada penyembuhan spontan
- Efek ini meliputi kanker, leukemia (efek somatik), dan penyakit keturunan (efek genetik).

2. Efek Deterministik

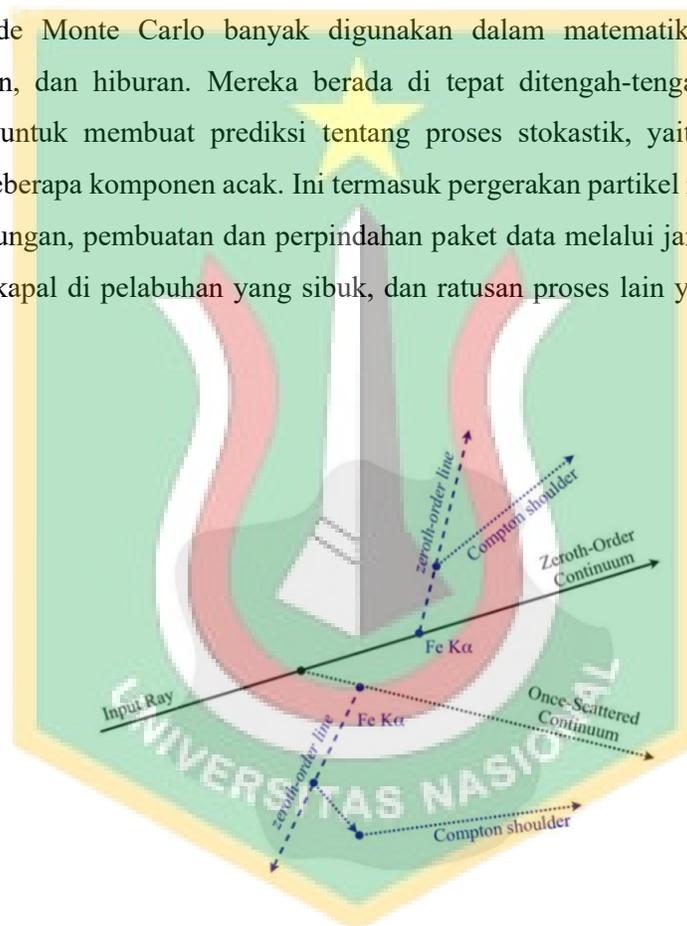
Efek yang kualitas keparahannya bervariasi menurut dosis dan hanya timbul bila dosis ambang dilampaui. Efek ini terjadi karena adanya proses kematian sel akibat paparan radiasi yang mengubah fungsi jaringan yang terkena radiasi. Efek ini dapat terjadi sebagai akibat dari paparan radiasi pada seluruh tubuh maupun lokal. Efek deterministik timbul bila dosis yang diterima di atas dosis ambang dan umumnya timbul beberapa saat setelah terpapar radiasi. Tingkat keparahan efek deterministik akan meningkat bila dosis yang diterima lebih besar dari dosis ambang yang bervariasi bergantung pada jenis efek. Pada dosis lebih rendah dan mendekati dosis ambang, kemungkinan terjadinya efek deterministik dengan demikian adalah nol. Sedangkan di atas dosis ambang, peluang terjadinya efek ini menjadi 100%. Maka dari itu dapat disimpulkan ciri-ciri efek deterministik adalah:

- o Mempunyai dosis ambang
- o Umumnya timbul beberapa saat setelah radiasi
- o Adanya penyembuhan spontan (tergantung keparahan)
- o Tingkat keparahan tergantung terhadap dosis radiasi
- o Efek ini meliputi: luka bakar, sterilitas atau kemandulan, katarak (efek somatik)

2.1.4 Simulasi Monte Carlo

Metode Monte Carlo adalah teknik untuk menganalisis fenomena dengan menggunakan algoritma komputer yang menggunakan bilangan acak. Metode Monte Carlo diberi nama oleh Stanislaw Ulam dan John von Neumann, yang menemukan metode untuk memecahkan masalah difusi neutron di Los Alamos pada pertengahan 1940-an. McClarren, R. G. (2018).

Metode Monte Carlo banyak digunakan dalam matematika, sains, industri, perdagangan, dan hiburan. Mereka berada di tepat ditengah-tengah algoritma yang digunakan untuk membuat prediksi tentang proses stokastik, yaitu fenomena yang memiliki beberapa komponen acak. Ini termasuk pergerakan partikel mikroskopis dalam suatu lingkungan, pembuatan dan perpindahan paket data melalui jaringan, kedatangan dan servis kapal di pelabuhan yang sibuk, dan ratusan proses lain yang membutuhkan jawaban.



Gambar 2.6 Skema Simulasi Monte Carlo

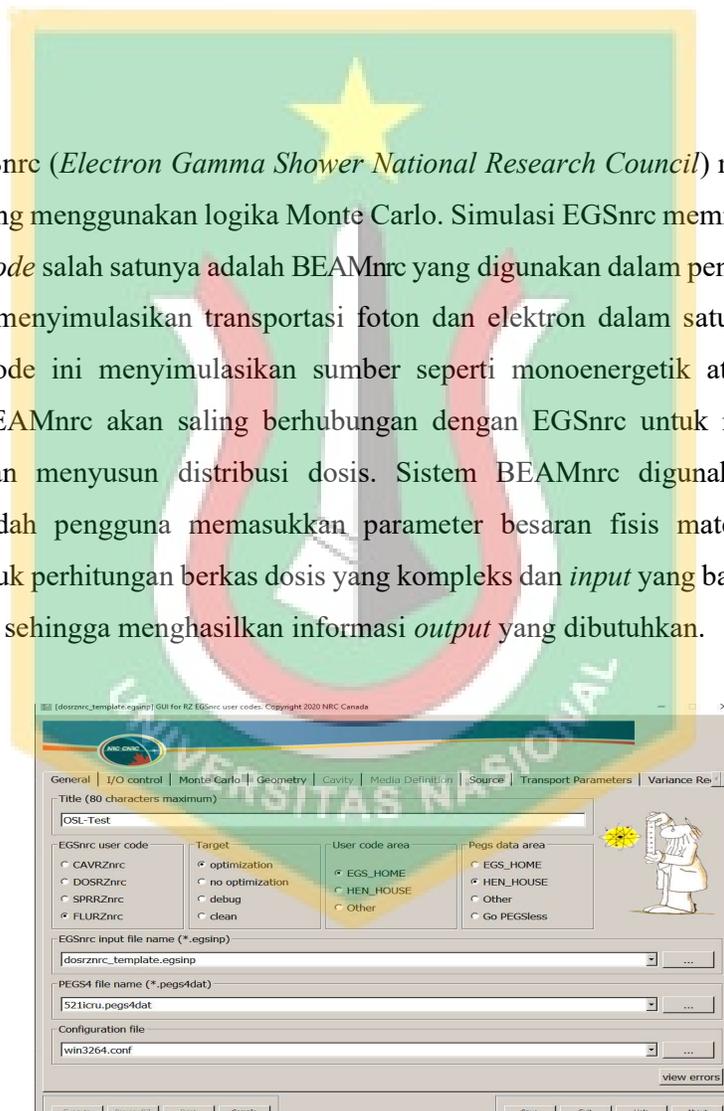
Beberapa proses fisik pada alam bersifat diskrit dan acak, seperti pada fisika partikel dan astrofisika berenergi tinggi. sehingga simulasi monte carlo dapat digunakan pada proses fisik tersebut. simulasi monte carlo pada proses transfer radiasi merupakan simulasi pada kejadian astrofisika yang cukup banyak dilakukan simulasi dan analisa.

Langkah-langkah utama dalam simulasi Monte Carlo, adalah:

1. Menetapkan suatu distribusi probabilitas bagi variabel yang penting
2. Membuat distribusi probabilitas kumulatif bagi setiap variabel.
3. Menetapkan sebuah interval angka acak bagi setiap variabel.
4. Membangkitkan angka acak
5. Mensimulasikan serangkaian percobaan.

2.1.4.1 EGSnrc

EGSnrc (*Electron Gamma Shower National Research Council*) merupakan program yang menggunakan logika Monte Carlo. Simulasi EGSnrc memiliki empat jenis *user code* salah satunya adalah BEAMnrc yang digunakan dalam penelitian ini. BEAMnrc mensimulasikan transportasi foton dan elektron dalam satu geometri silinder. Kode ini mensimulasikan sumber seperti monoenergetik atau berkas paralel. BEAMnrc akan saling berhubungan dengan EGSnrc untuk menginput material dan menyusun distribusi dosis. Sistem BEAMnrc digunakan untuk mempermudah pengguna memasukkan parameter besaran fisis material yang tersedia untuk perhitungan berkas dosis yang kompleks dan *input* yang banyak pada setiap *slabs* sehingga menghasilkan informasi *output* yang dibutuhkan.



Gambar 2.7 Tampilan *Software* EGSnrc

2.1.4.2 DOSXYZ

DOSXYZnrc adalah kode pengguna Monte Carlo EGSnrc tujuan umum untuk 3 (tiga) dimensi perhitungan dosis serap. EGSnrc/DOSXYZnrc mensimulasikan pengangkutan foton dan elektron dalam volume *Cartesian* dan menilai deposisi energi dalam voxel yang ditunjuk. DOSXYZnrc adalah "*stand alone*", dalam pengertian EGSnrc biasa karena dikendalikan oleh .pegs4dat dan .egsinp dan mampu menulis distribusi dosis berformat ASCII *array*. Kode DOSXYZnrc menggunakan sistem EGSnrcMP yang dijelaskan secara rinci di petunjuk manual.

Terdapat antarmuka pengguna grafis (GUI) yang memungkinkan file input menjadi dibuat dan dieksekusi secara grafis. Sebagian besar informasi dalam manual ini nyaman dapat diakses melalui file bantuan GUI.

2.2 Penelitian Terkini

Cukup banyak tulisan yang berkaitan dengan topik estimasi dosis efektif, diantaranya:

2.2.1 Pengukuran dosis radiasi

Jurnal Fisika Unand yang ditulis oleh Nurhayati, Helfi Yanti, dkk (Jurusan Fisika Universitas Andalas, PTKMR BATAN Jakarta) dengan judul Pengukuran Dosis Radiasi dan Estimasi Efek Biologis yang Diterima Pasien Radiografi Gigi Anak Menggunakan TLD-100 pada Titik Pengukuran Mata dan Timus. Penelitian ini bertujuan mengukur dosis radiasi yang diterima pasien anak dan estimasi efek biologis yang timbul akibat paparan radiasi.

Pengambilan data dilakukan dengan pengukuran dosis radiasi pada 15 orang pasien anak usia 1-15 tahun. Pengukuran dosis radiasi dilakukan saat penyinaran intraoral, dengan teknik yang sama dalam waktu yang berbeda. Hasil pengukuran menunjukkan dosis radiasi rata-rata yang diterima pasien usia 1-5 tahun sebesar 0,031 mGy, pasien usia 5-10 tahun sebesar 0,063 mGy dan pasien usia 10-15 tahun sebesar 0,078 mGy. Mata menerima dosis radiasi rata-rata sebesar 0,074 mGy dan timus menerima dosis radiasi rata-rata sebesar 0,034 mGy. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan dapat diperkirakan semua pasien akan menerima efek stokastik.

2.2.2 Estimasi dosis efektif menggunakan metode monte carlo

Jurnal yang ditulis oleh Zaid Q Ababneh, dkk (Departemen Fisika Universitas Yarmouk, Yordania, 2021) dengan judul Estimasi Dosis Organ dan Dosis Efektif Pada Pasien Yang Menjalani Pemeriksaan Sinar-X di Arab Saudi. Penelitian ini menggunakan simulasi monte carlo PCXMX versi kedua untuk memperkirakan dosis serap dan dosis efektif untuk 547 pasien yang menjalani pemeriksaan sinar-x di Rumah Sakit King Abdul Aziz, Arab Saudi. Hasil menunjukkan bahwa variasi yang luas pada dosis serap. Dosis organ terbesar pada setiap pemeriksaan rontgen adalah 2,72 mGy untuk limpa di tulang belakang lumbar (LAT), 1,98 mGy untuk kandung kemih di tulang belakang lumbar (AP), 0,40 mGy untuk limpa di dada (PA), 0,11 mGy untuk pemeriksaan ginjal di dada (LAT) dan 1,78 mGy untuk pemeriksaan testis di perut (AP).

