

SOSIALISASI MANFAAT METODE MONTE CARLO DALAM DUNIA FISIKA MEDIS DI SMA EFATA TANGERANG SELATAN, BANTEN

Tumpal Pandiangan ¹, Eunike Winda Ayusari ², Gabriella Novinda ³

¹Dosen Prodi Fisika Universitas Matana

^{2,3}Mahasiswa Prodi Fisika Universitas Matana

Abstrak

Perhitungan besaran interaksi radiasi dengan jaringan tubuh manusia adalah bersifat kompleks, karena perhitungannya tidak dapat dilakukan secara analitik atau secara metode numeric saja, namun diperlukan perhitungan dengan melibatkan probabilitas secara acak. Metode monte carlo adalah salah satu metode yang melakukan perhitungan probabilitas secara acak. Dalam tulisan ini dijelaskan bagaimana aplikasi metode monte carlo untuk menghitung perilaku statistik probabilitas melalui pembangkitan bilangan secara probabilitas acak dan diaplikasikan untuk mendukung interaksi radiasi dengan organ tubuh manusia dalam bidang radiologi. Telah diaplikasikan metode monte carlo dalam pemrograman bahasa C++ dan MCNP (Monte Carlo N Particle), melalui simulasi perilaku statistik probabilitas bilangan acak. Perhitungan *fluence* dengan program MCNP ini dapat mendukung perhitungan dosis serap oleh organ tubuh manusia.

Kata Kunci: Analitik, Monte Carlo, probabilitas acak dan MCNP

Abstract

Calculation of the magnitude of the interaction of radiation with human body tissues is complex, because the calculation cannot be carried out analytically or using a numerical method alone, but calculations are needed involving random probabilities. The monte carlo method is a method that performs random probability calculations. This article explains how monte carlo method application for calculating probabilistic statistical behavior through generation of numbers with random probability and applied to support the interaction of radiation with human organs in the field of radiology. The monte carlo method has been applied in the C++ programming language and MCNP (Monte Carlo N Particle), through simulation probabilistic statistical behavior of random numbers. Calculation of fluence with the MCNP program can support the calculation of absorbed dose by human organs.

Keywords: Analytics, Monte Carlo, random probabilistic and MCNP

PENDAHULUAN

Metode Monte Carlo (MC) adalah teknik yang banyak digunakan dengan berbagai aplikasi. Hal ini membuat menjadi sulit dalam menentukan definisi yang tepat untuk MC, karena keragamannya dalam aplikasi, oleh karena itu untuk tujuan ini didefinisikan dalam konteks fisika medis, sebagai berikut: Monte carlo adalah metode numerik untuk menyelesaikan persamaan atau menghitung integral berdasarkan pengambilan sampel angka acak.

Sebagian besar kemajuan fisika medis tidak akan mungkin terjadi tanpa kontribusi substansial dari teknologi informasi. Dalam diagnostic dan aplikasi terapi metode monte carlo dalam fisika medis dari radiasi pengion, paket simulasi yang berkembang akan memfasilitasi tugas operator di berbagai tingkatan. Simulasi komputer dibagi menjadi dua kategori besar, tergantung pada pendekatan yang digunakan yaitu:

(i) Simulasi Analitis

Dalam kategori ini ada pada setiap simulasi mengadopsi pendekatan analitis, menggunakan algoritma iterative yang memaksimalkan (atau meminimalkan) fungsi tertentu. Proses ini diulang beberapa kali dan, sesuai dengan nilai yang diperoleh pada langkah sebelumnya dan menghitung parameter dasar dari langkah berikutnya. Keuntungan dari algoritma ini terkait dengan efisiensi komputasi yang tinggi dan kecepatan perhitungan. Namun, manfaat ini dilakukan dalam hal kekhususan. Sebagian besar paket simulasi analitis, pada kenyataannya, hanya dapat mempertimbangkan dengan perkiraan sejumlah efek fisik terbatas.

(ii) Simulasi Monte Karlo

Kategori simulasi monte carlo adalah semua paket yang dapat mengatasi masalah yang sedang dipertimbangkan melalui contoh perhitungan statistik yang menggunakan pemangkit bilangan acak. Berbeda dengan kasus paket analitis, kelemahan utama pendekatan terletak tepat pada waktu perhitungan monte carlo dan presisi terkait (kebaikan solusi yang diberikan meningkat dengan jumlah kejadian yang disimulasikan dan, akibatnya, membutuhkan waktu yang lama). Pendekatan metode monte carlo, bagaimanapun, memiliki fleksibilitas yang lebih besar dan popularitas tinggi yang memungkinkan penggunaannya dalam praktik klinis. Kesulitan dalam simulasi elektron telah menyebabkan pertimbangan khusus ke dalam perhitungan faktor gangguan monte carlo. Metode monte carlo pertama untuk memperhitungkan faktor gangguan ruang ionisasi saat pengukuran radiasi ^{60}Co di udara, hal ini dilakukan oleh Wulff dkk.

Secara historis, dalam kedokteran nuklir, sebagian besar perhitungan awal dilakukan dalam fisika radiasi medis dengan metode monte carlo, dan saat ini penggunaannya terus meningkat. Munculnya kekuatan komputer di departemen rumah sakit, terutama dalam bentuk *workstation* dan komputer pribadi yang cepat, telah menjadikan metode monte carlo sebagai alat yang umum diberbagai bidang penelitian dan pengembangan klinis. Pengetahuan interaksi radiasi pengion dengan materi adalah sangat penting dalam diagnostik x-ray, kedokteran nuklir dan terapi radiasi, serta dalam aspek proteksi radiasi di bidang ini.

KAJIAN TEORI

Fisika terapi radiasi dan radiasi dosimetri menggunakan radiasi pengion untuk merusak dan menghancurkan sel kanker. Ionisasi adalah proses atom netral baik mendapatkan atau kehilangan elektron, menjadi negative atau ion masing masing bermuatan positif. Ketika partikel bermuatan seperti proton, elektron, dan partikel memiliki jumlah energy kinetic yang cukup yang mampu mengionisasi atom netral melalui tumbukan,

dikenal sebagai radiasi pengion langsung. Kalau tidak, partikel netral seperti neutron dan foton mampu mengionisasi dikenal sebagai radiasi pengion tidak langsung.

Ada empat proses utama yang bertanggung jawab untuk ionisasi yaitu: efek Compton, efek fotolistrik, hamburan koheren, dan produksi pasangan. Hamburan Compton terjadi ketika sebuah foton insiden bertabrakan dengan partikel bermuatan seperti elektron. Selama tumbukan energi dan momentum ditransfer ke partikel bermuatan sedangkan foton dibelokkan dengan energi yang berkurang dan perubahan momentum.^[4] Efek fotolistrik terjadi ketika foton yang datang bertumbukan dan berpindah seluruh energinya ke atom, di mana h adalah konstanta Planck. Proses ini mengeluarkan elektron dari atom dengan energi sama dengan $h\nu$, EB di mana EB adalah energi ikat atom tertentu. Hamburan koheren, juga dikenal sebagai hamburan Rayleigh, dapat dijelaskan dengan mempertimbangkan sifat gelombang radiasi elektromagnetik. Interaksi ini terjadi ketika gelombang datang melewati elektron dan terjadi osilasi, menyebabkan electron untuk memancarkan kembali energi pada frekuensi yang sama. Ini memancarkan gelombang dengan panjang gelombang yang sama sebagai gelombang datang, sehingga tidak ada energi yang ditransfer ke dalam media.^[5]

Penting untuk menentukan karakteristik dari pancaran sinar-x atau sinar- dari sebuah sumber radioaktif. Berkas ini mengandung sejumlah besar foton dalam berbagai energi.^[6] Berkas fluence (Φ), yang memiliki satuan m^{-2} , analog dengan fluks dalam elektromagnetisme. Didefinisikan sebagai jumlah foton (dN) yang memasuki luas penampang (da).^[6] $(\Phi) = dN/da$ (1). Kemudian secara alami laju fluence (ϕ), juga dikenal sebagai kerapatan fluks, didefinisikan sebagai pengaruh persatuan waktu. $d\Phi/dt$ (2). Demikian pula dapat didefinisikan pengaruh energi (Ψ) dan laju aliran energi (ψ), yang dikenal sebagai kerapatan atau intensitas fluks energi. $(\Psi) = dE/da$ (3) dan $\psi = d\Psi/dt$ (4).

Untuk berkas mono energi, jumlah energi foton (dE) adalah jumlah foton (dN) dikali energi setiap foton ($h\nu$), $dE = dN h\nu$ (5). Penting juga untuk membahas bagaimana foton dilemahkan saat melewati material. Hal ini dapat dicirikan oleh intensitas foton serta material yang dilaluinya [8]. $I(x) = I_0 e^{-\mu x}$ (6). Persamaan (6) menunjukkan bagaimana redaman sinar foton dijelaskan oleh fungsi eksponensial, di mana $I(x)$ adalah intensitas sebagai fungsi jarak, I_0 adalah intensitas awal, dan μ adalah koefisien atenuasi yang bergantung pada material.

Dosimetri radiasi berkaitan dengan metode untuk penentuan kuantitatif energi yang disimpan dalam media melalui radiasi pengion langsung atau tidak langsung.^[7] Berbagai besaran dan perhitungan kunci akan dijelaskan di bagian ini. Kerma, yang merupakan singkatan dari energi kinetik yang dilepaskan persatuan massa, adalah besaran non-stokastik yang berlaku untuk radiasi pengion tidak langsung seperti foton dan neutron. Ini mewakili energi yang ditransfer dari radiasi pengion tidak langsung ke partikel bermuatan. Kerma memiliki satuan J/kg atau, dalam satuan SI, Gray (Gy). Kerma juga dapat dibagi menjadi dua komponen; Tumbukan lenting dengan elektron atom (K_{col}) dan tumbukan radiasi dengan inti atom (K_{rad}).

Oleh karena itu Kerma dapat ditulis sebagai penjumlahan. $K = K_{col} + K_{rad}$ (7) Demikian pula Cema, yang berarti untuk energi yang dikonversi persatuan massa, adalah besaran non-stokastik yang berlaku untuk radiasi pengion langsung seperti elektron dan proton. Ini mewakili energi yang hilang oleh partikel bermuatan (dE_c) di satuan massa (dm) bahan. Hal ini dapat dijelaskan secara kuantitatif dengan persamaan (8) dan memiliki satuan yang sama dengan Kerma. $C = dE_c/dm$.

Metode Monte Carlo menggambarkan bidang ilmu yang sangat luas, di mana banyak proses, sistem fisik dan fenomena disimulasikan dengan metode statistik menggunakan bilangan acak. Ide umum dari analisis monte carlo adalah untuk membuat model, yang semirip mungkin dengan sistem fisik nyata yang menarik, dan untuk menciptakan interaksi dalam sistem itu berdasarkan pada probabilitas kejadian yang diketahui, dengan pengambilan sampel acak dari fungsi kepadatan probabilitas (PDF).

Metode monte carlo tidak menyelesaikan persamaan eksplisit, melainkan memperoleh jawaban dengan mensimulasikan partikel individu dan merekam aspek perilaku mereka. Banyak partikel diikuti dari paparannya oleh suatu sumber, sampai kehilangan melalui penyerapan atau kebocoran energi. Lintasan setiap partikel dipecah menjadi urutan yang terdiri dari pergerakan bebas, pada saat tertentu, tumbukan yang sifatnya dipilih secara acak dari serangkaian kemungkinan reaksi dalam materi, probabilitas yang dicari terkait pada penampang bahan yang bersangkutan.

Perilaku partikel nyata dalam sistem fisik diprediksi dari aplikasi metode monte carlo dalam fisika medis. Akumulasi data pada sejumlah besar partikel simulasi, dan respons instrumen ditentukan dari rata-rata statistik perilaku populasi partikel yang disimulasikan. Setelah Selesai dari simulasi monte carlo, kode komputasi yang digunakan memberikan ketidakpastian statistik yang bergantung pada jumlah partikel yang berkontribusi pada hasil sehingga konvergensi yang benar dari perhitungan dapat diperiksa. Pemilihan dari kriteria kesalahan statistik sering kali dihasilkan dari kompromi antara waktu perhitungan dan akurasi yang dibutuhkan dari hasil. Tapi ini bukan satu-satunya kontribusi terhadap ketidakpastian keseluruhan kuantitas yang disimulasikan, dan kesalahan ini tidak mewakili keakuratan hasil dibandingkan dengan nilai fisik sebenarnya.

Simulasi monte carlo dibatasi oleh validitas asumsi dan akurasi model yang digunakan. Keterbatasan ini berasal dari tingkat detail model geometri, akurasi dari setiap input data yang digunakan selama perhitungan (data material, data nuklir), perlakuan fisika dan model interpretasi lain yang digunakan untuk mengubah jumlah yang dihitung menjadi representasi dari respon instrumen.

Ketidakpastian yang timbul dari perbedaan antara pemodelan dan kenyataan (penyederhanaan deskripsi, kurangnya pengetahuan tentang beberapa data, dll.) diperkirakan menggunakan studi sensitivitas, dengan menilai pengaruh relatif dari variasi di setiap parameter pada hasil, dan perbandingan terhadap Pengalaman. [8]

METODE

Aplikasi Metode Monte Carlo

1. Metode Monte Carlo dalam Fisika Medis

Metode monte carlo membantu fisikawan klinis dan peneliti dalam pemahaman yang lebih baik untuk perhitungan dosis dan pemodelan berbagai dari sumber radiasi. Bagian ini mengeksplorasi penggunaan metode monte carlo dalam dosimetri, pemodelan sumber sinar eksternal, dan untuk perencanaan perawatan lanjutan. Selain itu, penelitian saat ini sedang dilakukan untuk meningkatkan simulasi monte carlo dan efisiensinya untuk penggunaan klinis juga dibahas dalam bagian ini.

Aplikasi Dalam Dosimetri

Saat menentukan perhitungan dosis secara eksperimental, seringkali ada jumlah yang sulit atau bahkan tidak mungkin untuk menghitung secara analitis. Oleh karena itu jumlah ini perlu ditentukan secara numerik melalui penggunaan metode monte carlo. Dalam dosimetri radiasi, detektor biasanya terdiri dari beberapa komponen yang berbeda. Bahan masing-masing komponen ini berbeda secara substansial dari media di mana dosis yang diserap harus ditentukan. [9] Ini mengarah pada masalah mapan yang ditandai dalam hal faktor gangguan. Memasukkan detektor ke dalam media menyebabkan perubahan dalam spektrum elektron dalam volume sensitif radiasi detector yang relatif terhadapnya dalam medium homogen. Efek ini dikenal sebagai gangguan.

Aplikasi Dalam Radiologi

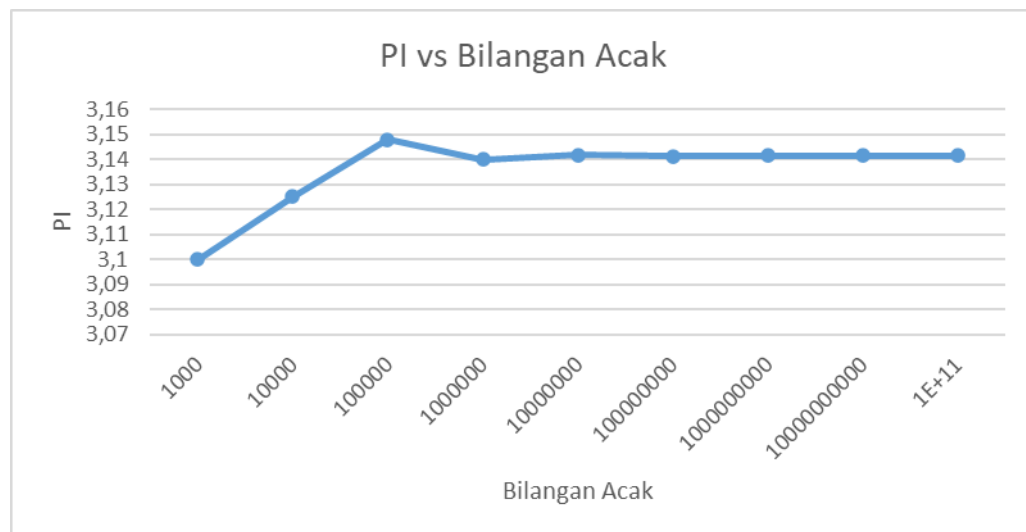
Simulasi Monte Carlo juga telah menemukan aplikasi luas dalam radiologi diagnostik, khususnya dalam evaluasi spektrum emisi sinar-x dari tabung dan untuk studi dosimetri. Mengenai spektrum sumber, Taleei dan Shariari [9] telah membandingkan hasil dari Fluka dan MCNP untuk mensimulasikan generasi spektrum sinar-x antara 80 dan 120 kV, dan efek filtrasi dengan bahan penyerap yang berbeda, bertujuan untuk mereproduksi data eksperimen.

Simulasi rinci dilaporkan juga oleh Ay et al. [10] dan Bontempi et al. [11], yang mereproduksi sinar-x diagnostik dan spektrum mamografi yang khas, dengan mempertimbangkan kemungkinan geometri, bahan, dan faktor eksperimental seperti faktor riak dalam tegangan tinggi. Hasil ini dan yang serupa sangat berguna sebagai masukan untuk perhitungan atau simulasi dosimetri lebih lanjut, dan sebagai patokan untuk protokol jaminan kualitas. Upaya besar dihabiskan di bidang simulasi computed tomography (CT), agar untuk memperkirakan dosis yang dihasilkan dari protokol pemindaian yang berbeda untuk berbagai phantom antropomorfik.

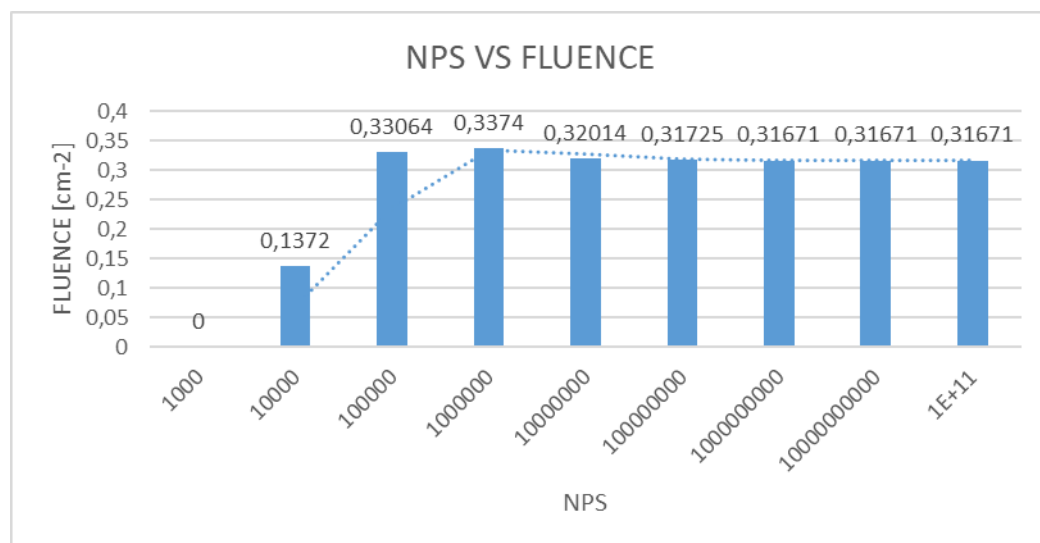
HASIL EKSPERIMEN DAN PEMBAHASAN

Penggunaan metode monte carlo dengan program C++ untuk simulasi perilaku statistic melalui pembangkit bilangan acak. Gambar 1. Menunjukkan grafik hubungan antara nilai bilangan acak dengan nilai PI. Pada Grafik tersebut tampak nilai PI yang semakin mendekati nilai tertentu yaitu 3.14

setelah nilai bilangan acak yang dibangkitkan sebesar 10^7 sampai dengan 10^{14} . Nilai PI diperoleh lewat eksekusi program C++ (Gambar 1.)



Gambar 1. Grafik hubungan peningkatan nilai bilangan acak dengan nilai PI



Gambar 2. Grafik hubungan peningkatan nilai bilangan acak NPS dengan Fluence

Sedangkan Gambar 2. Menunjukkan grafik hubungan antara nilai NPS pada program MCNP terhadap nilai Fluence yang diperoleh melalui program MCNP. Grafik pada Gambar 2, tampak mendekati nilai tertentu yaitu $0,31671/\text{cm}^2$ setelah nilai NPS mulai dari 10^9 samapai dengan 10^{11} . Pada kedua proram yaitu dengan C++ dan MCNP, tampak keduanya memproduksi bilangan acak secara natural, namun setelah nilai bilangan itu ditemukan baru kemudian nilai PI dan Fluence dihitung menggunakan rumus matematika. Baik nilai PI maupun nilai Fluence keduanya dapat mendukung perhitungan dalam Dosimetri yang berkaitan dengan dunia medis. Aplikasi kedua program perhitungan tersebut menunjukkan bahwa metode monte

carlo sangat mendukung perhitungan yang bersifat acak atau natural.

Dalm program MCNP bila fluence sudah diketahui dengan mengeksekusi program MCNP (Gamabar 4), secara mudah dapat dihitung secara komputasi menjadi kecepatan fluence dan juga dapat dikonversi dari satuan kecepatan fluence dalam satuan partake/cm² menjadi satuan energi persatauan luas, Gray/cm². Semua perhitungan komputasi ini dapat mendukung dalam penentuan perhitungan dosimerti dalam bidang radiologi.

<pre>#include <iostream> #include <time.h> #include <stdlib.h> using namespace std; int main() { srand(time()); cout.precision(12); const int N[] = {1000,10000, 100000, 1000000, 100000000, 10000000000, 1000000000000}; for (int k = 0; k < (sizeof(N) / sizeof(N[0])); k++) { int circle = 0; for (int i = 0; i < N[k]; i++) { double x = static_cast<double>(rand() / static_cast<double>(rand_max)); double y = static_cast<double>(rand() / static_cast<double>(rand_max)); if (x**2 + y**2 <= 1.0) circle ++; } cout << circle<< endl;cout << N[k] << (char)12 << (char)12 << ((double)circle / N[k] * 4.0 << endl; } return 0;}</pre>	<pre>Menghitung Fluence 1 10 -1 1 -2 3 -4 5 -6 2 11 -1.3e-3 -7 20 0 7 1 PX -1 2 PX 3 3 PY 0 4 PY 4 5 PZ 1 6 PZ 5 7 SO 100 sdef par=p erg=d4 pos 51 2 3 si4 L 1.17 1.33 sp4 1 1 m10 6000 -.000124 7000 -.755258 8000 -.23 18000 -.0128 m11 1000 2 8000 1 mode p imp:p 1 1 0 NPS 10000000 F4:p</pre>
<p>Gambar 3. Coding C++ menghitung nilai PI</p>	<p>Gambar 4. Program perhitungan fluence dengan MCNP</p>

KESIMPULAN

Metode MCNP yang didasarkan pada perhitungan probablistik bilangan acak telah terbukti dapat diandalkan untuk perhitungan besaran-besaran radisi secara komputasi Besaran radiasi tersebut adalah terkait dengan fenome interaksi radiasi penion baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Hasil ini dapat mendukung perhitungan dosimetri dalam bidang fisika medis.

DAFTAR PUSTAKA

Hendee William R. (2013),” Monte Carlo Techniques in Radiation Therapy”. Taylor and Francis Group.

Klemens Zink. (2014),” Monte Carlo based perturbation and beam quality correction factors for thimble ionization chambers in high-energy photon beams”.

Pedro Andreo, (2018).” Monte Carlo simulations in radiotherapy dosimetry”. pages 1–15.

James E Parks, (1015).” The Compton Effect– Compton Scattering and Gamma Ray Spectroscopy”.

Khan Faiz M, (2013).” The Physic of Radiation Therapy”, Lippincott Williams & Wilkins

- G.A.P. Cirrone et al. (2010). "Nucl. Instrum. and Meth of Ellipsoidal Target", PhD Thesis.
- E.B. Podgorsak, (2005), "Radiation Oncology Physics". IAEA
- D. Lizio, (2018), "Applications of the Geant4 Monte Carlo to Internal Dosimetry of Nuclear Medicine" a New Model for Dosimetry
- R. Taleei et al. (2009). " Appl. Radiat. Isot". 67, 266.
- M. R. Ay et al. (2004), "Phys. Med. Biol". 49, 4897
- M. Bontempi et al. (2010)," "Med. Phys." 37, 4201