

ANALISIS NILAI *RELATIVE BIOLOGICAL EFFECTIVENESS* PADA TERAPI ION KARBON MONOENERGETIK 194 MeV/u MENGGUNAKAN SIMULASI MONTE CARLO

Indra Oktafian Hidayat

20/463519/TK/51511

Diajukan kepada Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada pada tanggal 22 Januari 2026 untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana Program Studi Teknik Nuklir

INTISARI

Evaluasi efektivitas biologis yang akurat dalam terapi ion karbon sangat dibutuhkan. Efektivitas ini dinyatakan sebagai *Relative Biological Effectiveness* pada *survival fraction* 10% (RBE_{10}) yang bergantung pada karakteristik mikrodosimetri. Oleh karena itu, digunakan pendekatan simulasi dengan mikrodosimeter *Silicon-on-Insulator* (SOI) untuk memperoleh estimasi RBE_{10} yang lebih presisi.

Simulasi dilakukan menggunakan platform *Tool for Simulation Particle* (TOPAS) versi 3.9 dengan berkas ion karbon monoenergetik 194 MeV/u pada fantom PMMA. Spektrum mikrodosimetri diperoleh dari SOI dan diolah menjadi *dose-mean lineal energy* ($\overline{y_D}$), yang kemudian digunakan sebagai input dalam *modified Microdosimetric Kinetic Model* (mMKM) untuk menghitung distribusi RBE_{10} sebagai fungsi kedalaman dan dibandingkan dengan studi sebelumnya yang menggunakan mikrodosimeter *Tissue-Equivalent Proportional Counter* (TEPC).

Hasil menunjukkan pergeseran spektrum mikrodosimetrik sebesar 5 mm yang masih sesuai dengan studi sebelumnya. Nilai RBE_{10} meningkat dari $1,40 \pm 0,12$ pada daerah *entrance*, mencapai maksimum $2,91 \pm 0,69$ di puncak Bragg (70 mm), lalu menurun menjadi $1,15 \pm 0,33$ di daerah *tail*. Mikrodosimeter SOI juga menunjukkan resolusi spasial dan stabilitas estimasi RBE_{10} yang lebih baik sehingga meningkatkan akurasi karakterisasi efektivitas biologis terapi ion karbon.

Kata kunci: ion karbon, mikrodosimetri, SOI, TOPAS, RBE_{10} .

Pembimbing Utama : Dr. -Ing. Ir. Kusnanto

Pembimbing Pendamping : M. Arif Efendi, S.Si., M.Sc., Ph.D.



**ANALYSIS OF RELATIVE BIOLOGICAL EFFECTIVENESS IN
MONOENERGETIC 194 MeV/u CARBON ION THERAPY USING
MONTE CARLO SIMULATION**

Indra Oktafian Hidayat

20/463519/TK/51511

Submitted to the Department of Nuclear Engineering and Engineering Physics
Faculty of Engineering Universitas Gadjah Mada on January 22, 2026
in partial fulfillment of the requirement for the Degree of
Bachelor of Engineering in Nuclear Engineering

ABSTRACT

Accurate evaluation of biological effectiveness in carbon ion therapy is essential. This effectiveness is expressed as the Relative Biological Effectiveness at 10% survival fraction (RBE_{10}), which depends on microdosimetric characteristics. Therefore, a simulation-based approach using a Silicon-on-Insulator (SOI) microdosimeter was employed to obtain a more precise estimation of RBE_{10} .

The simulations were performed using the Monte Carlo platform Tool for Particle Simulation (TOPAS) version 3.9 with a monoenergetic 194 MeV/u carbon ion beam irradiating a PMMA phantom. Microdosimetric spectra were obtained from the SOI and processed to calculate the dose-mean lineal energy (yD), which was then used as input to the modified Microdosimetric Kinetic Model (mMKM) to determine the depth-dependent RBE_{10} distribution. The results were compared with previous studies employing a Tissue-Equivalent Proportional Counter (TEPC) microdosimeter.

The results show a 5 mm shift in the microdosimetric spectrum, which remains consistent with previously reported studies. The RBE_{10} value increased from 1.40 ± 0.12 in the entrance region to a maximum of 2.91 ± 0.69 at the Bragg peak (70 mm), and then decreased to 1.15 ± 0.33 in the distal tail region. The SOI microdosimeter demonstrated higher spatial resolution and more stable RBE_{10} estimation, thereby improving the accuracy of biological effectiveness characterization in carbon ion therapy.

Keywords: carbon ion, microdosimetry, SOI, RBE_{10} .

Supervisor : Dr. -Ing. Ir. Kusnanto

Co-supervisor : M. Arif Efendi, S.Si., M.Sc., Ph.D.

