

MODEL DINAMIKA INTERAKSI KANKER *SQUAMOUS CELL CARCINOMA* TERHADAP RADIOTERAPI KONTINU

NADYA NURUL FATIKA



DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Model Dinamika Interaksi Kanker *Squamous Cell Carcinoma* Terhadap Radioterapi Kontinu” adalah benar karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2025

Nadya Nurul Fatika
G7401211033

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

ABSTRAK

NADYA NURUL FATIKA. Model Dinamika Interaksi Kanker *Squamous Cell Carcinoma* Terhadap Radioterapi Kontinu. Dibimbing oleh AGUS KARTONO dan ERUS RUSTAMI.

Radioterapi merupakan metode utama dalam pengobatan kanker, termasuk *Squamous Cell Carcinoma* (SCC). Penelitian ini mengembangkan model interaksi sel kanker dan sel normal selama radioterapi menggunakan Persamaan Diferensial Biasa (PDB) berbasis kerangka Lotka-Volterra dengan pendekatan Linear-Quadratik (LQ) pada persamaan *Death Rate*. Model diselesaikan secara numerik dengan metode Euler untuk mengevaluasi pengaruh variasi skenario dengan 3 *Case* pemberian iradiasi, jumlah fraksi dosis, serta dilakukan analisis sensitivitas menggunakan pendekatan *one-at-a-time* (OAT) dan *Morris*. Hasil menunjukkan bahwa radioterapi dua sesi per hari lebih efektif dibandingkan terapi tunggal, terutama apabila populasi sel normal lebih besar. Analisis sensitivitas mengidentifikasi parameter radiosensitivitas dan laju pertumbuhan sel kanker sebagai faktor paling berpengaruh terhadap akumulasi populasi sel kanker. Model ini memberikan dasar konseptual bagi pengembangan strategi radioterapi yang lebih adaptif, presisi, dan berbasis karakteristik biologis pasien.

Kata kunci: metode Euler, populasi sel, radioterapi, *Squamous Cell Carcinoma*

ABSTRACT

NADYA NURUL FATIKA. Dynamic Model of Continuous Radiotherapy in *Squamous Cell Carcinoma*. Supervised by AGUS KARTONO and ERUS RUSTAMI.

Radiotherapy is a primary modality in cancer treatment, including for *Squamous Cell Carcinoma* (SCC). This study develops a dynamic model of the interaction between cancer cells and normal cells during radiotherapy using Ordinary Differential Equations (ODEs) based on a Lotka–Volterra framework, with a Linear–Quadratic (LQ) approach applied to the death rate term. The model is solved numerically using the Euler method to evaluate the effects of different irradiation scenarios across three treatment cases, varying dose fractions, and to perform sensitivity analysis using both the one-at-a-time (OAT) and Morris methods. The results show that two-session daily radiotherapy is more effective than single-session treatment, particularly when the normal cell population is relatively large. Sensitivity analysis identifies cancer cell radiosensitivity and proliferation rate as the most influential parameters affecting tumor burden. This model provides a conceptual basis for developing more adaptive, precise radiotherapy strategies tailored to patients’s biological characteristics.

Keywords: cell population, Euler method, radiotherapy, *Squamous Cell Carcinoma*



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



MODEL DINAMIKA INTERAKSI KANKER *SQUAMOUS CELL* CARCINOMA TERHADAP RADIOTERAPI KONTINU

NADYA NURUL FATIKA

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Fisika

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi :

1. Dr. Mersi Kurniati, S.Si., M.Si.
2. Dr. Ir. Irmansyah, S.Si., M.Si.

Judul Skripsi : Model Dinamika Interaksi Kanker *Squamous Cell Carcinoma* Terhadap Radioterapi Kontinu

Nama : Nadya Nurul Fatika

NIM : G7401211033

Disetujui oleh

Pembimbing 1 :

Dr. Agus Kartono, S.Si., M.Si.

NIP. 19700421 199903 1 002



Pembimbing 2 :

Dr. Erus Rustami, S.Si., M.Si.

NIP. 19830226 201504 1 001

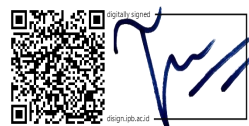


Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika :

Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada Wijaya P, M.Si.

NIP. 19720519 199702 1 001



Tanggal Ujian : 14 Juli 2025

Tanggal Lulus :



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga usulan penelitian dengan judul “Model Dinamika Interaksi Kanker *Squamous Cell Carcinoma* Terhadap Radioterapi Kontinu”. Adapun penelitian ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Agus Kartono, S.Si, M.Si dan Bapak Dr. Erus Rustami, S.Si, M.Si selaku dosen pembimbing skripsi, serta Ibu Mersi Kurniati S.Si, M.Si dan Bapak Ir. Irmansyah S.Si, M.Si selaku dosen penguji skripsi atas segala bimbingan, arahan, motivasi, serta saran yang diberikan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Seluruh staff pengajar Departemen Fisika IPB yang telah memberikan ilmu pengetahuan dengan baik selama penulis menempuh pendidikan di Departemen Fisika.
3. Seluruh staff pelayanan mahasiswa departemen fisika, atas bantuannya selama perjalanan akademik penulis di Departemen Fisika.
4. Alm. Bapak Suyadi dan Ibu Yulianah selaku orang tua penulis serta seluruh keluarga besar penulis atas segala doa, dukungan, perhatian, nasihat dan kasih sayang sepanjang hidup penulis.
5. Rekan-rekan seperjuangan Fisika Angkatan 58 yang telah kebersamai penulis dari awal hingga akhir menempuh pendidikan di Departemen Fisika IPB.
6. Teman-teman penulis dari kecil hingga penulis menuju dewasa, yang kebersamai dalam setiap proses.
7. Orang orang terfavorit, di Arch Strength ada Dea Ical Fadil Fera, KDS Pandawa ada Bapak Ibu terbaik, RS+1 ada Renny Imel Dea Novia Melinda Ayu Iqbal, Sainpres ada Eka Syeka Fira Dhiya Reni Febry Reja Iwang Atha, partner penelitianku Pipit, teman fisika 4 tahun Dinny Maria Ariiq Taya Cecep Ridwan dan semuanya yang selalu menjadi bagian dari perjalanan menarik, hebat, berkesan, penuh haru, ceria selama penulis berada di perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun. Semoga skripsi ini dapat memberikan yang manfaat bagi penulis dan para pembaca.

Bogor, Juli 2025

Nadya Nurul Fatika



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 <i>Squamous Cell Carcinoma (SCC)</i>	3
2.2 Radioterapi	3
2.2.1 Radioterapi Tunggal	4
2.2.2 Radioterapi Kontinu	4
2.3 <i>Death Rate</i>	5
2.4 Persamaan Diferensial Biasa	5
2.5 Metode Euler	6
III METODE PENELITIAN	7
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	7
3.2 Alat Penelitian	7
3.3 Prosedur Penelitian	7
3.3.1 Model Pengobatan Kanker	7
3.3.2 Parameter Numerik	8
3.3.3 Modifikasi Perubahan pada Radioterapi Kontinu	10
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	12
4.1 Simulasi Radioterapi Tunggal Interaksi Sel Normal dan Sel Kanker	12
4.2 Simulasi Radioterapi Kontinu Interaksi Sel Normal dan Sel Kanker	14
4.3 Analisis Sensitivitas Parameter Simulasi Radioterapi	16
4.3.1 Uji Variasi Parameter Laju Proliferasi Sel Kanker	18
4.3.2 Uji Variasi Parameter Radiosensitivitas Linier dan Kuadratik	23
4.4 Simulasi Uji Total Dosis dalam Fraksi	28
V SIMPULAN DAN SARAN	32



5.1 Simpulan	32
5.2 Saran	32

DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	39
RIWAYAT HIDUP	40

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR GAMBAR

1 Laju pertumbuhan populasi sel pada radioterapi tunggal (a) <i>case</i> I, (b) <i>case</i> II, (c) <i>case</i> III	13
2 Laju pertumbuhan populasi sel p sel pada radioterapi kontinu (a) <i>case</i> I, (b) <i>case</i> II, (c) <i>case</i> III	15
3 Uji sensitivitas parameter model radioterapi menggunakan metode <i>one-at-a-time</i> (OAT)	17
4 Uji sensitivitas parameter model radioterapi menggunakan metode <i>Morris</i>	17
5 Laju pertumbuhan populasi sel pada variasi uji parameter proliferasi sel kanker <i>Case</i> I (a) $a2-1 = 100$ jam, (b) $a2-2 = 50$ jam, (c) $a2-3 = 20$ jam	20
6 Laju pertumbuhan populasi sel pada variasi uji parameter proliferasi sel kanker <i>Case</i> II (a) $a2-1 = 100$ jam, (b) $a2-2 = 50$ jam, (c) $a2-3 = 20$ jam	21
7 Laju pertumbuhan populasi sel pada variasi uji parameter proliferasi sel kanker <i>Case</i> III (a) $a2-1 = 100$ jam, (b) $a2-2 = 50$ jam, (c) $a2-3 = 20$ jam	22
8 Laju pertumbuhan populasi sel pada variasi uji parameter Radiosensitivitas Linier dan Kuadratik <i>Case</i> I (a) $\alpha/\beta = 5$ Gy, (b) $\alpha/\beta = 10$ Gy, (c) $\alpha/\beta = 30$ Gy	25
9 Laju pertumbuhan populasi sel pada variasi uji parameter Radiosensitivitas Linier dan Kuadratik <i>Case</i> II (a) $\alpha/\beta = 5$ Gy, (b) $\alpha/\beta = 10$ Gy, (c) $\alpha/\beta = 30$ Gy	26
10 Laju pertumbuhan populasi sel pada variasi uji parameter Radiosensitivitas Linier dan Kuadratik <i>Case</i> III (a) $\alpha/\beta = 5$ Gy, (b) $\alpha/\beta = 10$ Gy, (c) $\alpha/\beta = 30$ Gy	27
11 Laju pertumbuhan populasi sel pada uji total dosis (a) 5 fraksi, (b) 10 fraksi, (c) 20 fraksi, (d) 30 fraksi, (e), 60 fraksi	30
12 Perbandingan populasi akhir sel normal dan sel kanker berdasarkan jumlah fraksi pemberian iradiasi	30