



MODEL DINAMIKA MUTASI SEL KANKER BERBASIS SEL INDUK TUMOR

FADHLI NAUFANDY LATHIF



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

- 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 mengurangi 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 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 Mutasi Sel Kanker Berbasis Sel Induk Tumor” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun 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, Maret 2025

Fadhli Naufandy Lathif
G7401201023

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 mengurangi 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 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

FADHLI NAUFANDY LATHIF. Model Dinamika Mutasi Kanker Berbasis Sel Induk Tumor. Dibimbing oleh AGUS KARTONO dan ERUS RUSTAMI.

Kanker merupakan salah satu penyakit paling mematikan di dunia, dengan perkembangan yang dipengaruhi oleh mutasi genetik pada sel normal yang mengarah pada transformasi menjadi sel induk kanker (CSC). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model matematika dinamika mutasi sel kanker berbasis sel induk tumor, dengan fokus pada deregulasi mekanisme proliferasi sel. Model ini menggunakan persamaan diferensial biasa yang diselesaikan dengan metode Euler untuk mempelajari pengaruh urutan mutasi terhadap kecepatan pembentukan sel punca kanker. Tiga jenis mutasi yang dianalisis adalah penurunan apoptosis (D), peningkatan ketidakstabilan genetik (G), dan peningkatan laju proliferasi (R). Hasil simulasi menunjukkan bahwa urutan mutasi yang diawali dengan ketidakstabilan genetik (G) menghasilkan pembentukan sel kanker lebih cepat, terutama pada urutan GDR dan GRD. Selain itu, model ini juga mengungkapkan peran penting niche sel dan pensinyalan kimiawi dalam mengatur dinamika mutasi sel. Penelitian ini memberikan wawasan baru tentang bagaimana urutan mutasi mempengaruhi mekanisme homeostasis sel punca hingga menuju inisiasi kanker, serta implikasi potensial dalam pengembangan strategi terapi kanker.

Kata Kunci: sel punca kanker, mutasi genetik, model matematika, dinamika populasi sel, tumorigenesis.

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 mengujikan kepentingan wajar IPB University.



ABSTRACT

FADHLI NAUFANDY LATHIF. Dynamic Mutation Model of Cancer Stem Cells. Supervised by AGUS KARTONO and ERUS RUSTAMI.

Cancer is one of the deadliest diseases globally, with its progression influenced by genetic mutations in normal cells that lead to transformation into cancer stem cells (CSCs). This study aims to develop a mathematical model of cancer cell mutation dynamics based on tumor stem cells, focusing on the deregulation of cell proliferation mechanisms. The model uses ordinary differential equations solved by the Euler method to study the effect of mutation sequences on the speed of cancer stem cell formation. Three types of mutations analyzed are decreased apoptosis (D), increased genetic instability (G), and increased proliferation rate (R). Simulation results show that mutation sequences starting with genetic instability (G) lead to faster cancer cell formation, particularly in the GDR and GRD sequences. Additionally, the model highlights the crucial role of the stem cell niche and chemical signaling in regulating cell mutation dynamics. This research provides new insights into how mutation sequences affect stem cell homeostasis mechanisms leading to cancer initiation, with potential implications for cancer therapy development.

Keywords: *cancer stem cells, genetic mutations, mathematical modeling, cell population dynamics, tumorigenesis.*

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 mengurangi kepentingan 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

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.

© 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 apa pun tanpa izin IPB.

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.





MODEL DINAMIKA MUTASI SEL KANKER BERBASIS SEL INDUK TUMOR

FADHLI NAUFANDY LATHIF

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

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.

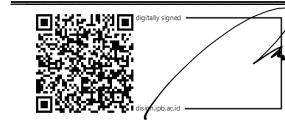
Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

1. Prof. Dr. Akhiruddin, S.Si., M.Si.
2. Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada WP, S.Si., M.Si.



Judul Skripsi : Model Dinamika Mutasi Sel Kanker Berbasis Sel Induk Tumor
Nama : Fadhl Naufandy Lathif
NIM : G7401201023

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Agus Kartono, S.Si., M.Si.
NIP. 197004211999031002

Pembimbing 2:

Dr. Erus Rustami, S.Si., M.Si
NIP. 198302262015041000

Diketahui oleh



Ketua Departemen Fisika:

Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada WP, S.Si., M.Si.
NIP. 197205191997021001



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 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 mengurangi kepentingan 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 Mutasi Sel Kanker Berbasis Sel Induk Tumor” sebagai salah satu syarat melaksanakan penelitian di Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing yaitu Bapak Dr. Agus Kartono, S.Si., M.Si sebagai pembimbing I dan Bapak Dr. Erus Rustami, S.Si., M.Si., sebagai pembimbing II yang telah membimbing dan banyak memberikan saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada bapak, ibu, serta seluruh keluarga yang telah memberi dukungan, doa, dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan usulan penelitian ini. Selain itu, terima kasih kepada teman-teman Fisika IPB angkatan 57 yang penulis cintai serta seluruh civitas akademika Fisika IPB yang selalu memberikan perhatian, dorongan dan motivasi yang menjadi salah satu sumber semangat bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa usulan penelitian ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun. Semoga penelitian ini dapat dilaksanakan sesuai dengan yang diharapkan dan memberikan hasil penelitian yang bermanfaat.

Bogor, Maret 2025

Fadhli Naufandy Lathif



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 TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
1.5 Ruang Lingkup	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Sel Punca (<i>Stem cell</i>)	3
2.2 Ceruk Sel Punca (<i>Niche stem cells</i>)	4
2.3 Sel Punca Kanker (<i>Cancer Stem Cells</i>)	4
2.4 Persamaan Diferensial Biasa	4
2.5 Metode Euler	5
III METODE	6
3.1 Waktu dan Tempat	6
3.2 Alat dan Bahan	6
3.3 Prosedur Kerja	6
3.4 Rumusan Model Matematika	7
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	12
4.1 Simulasi Akuisisi Sel Punca	12
4.2 Pertumbuhan Populasi Sel Kanker	13
4.3 Pengaruh Urutan Mutasi terhadap Kecepatan Pembentukan Sel Kanker	15
4.4 Peran Setiap Mutasi dalam Perkembangan Sel Kanker	20
V SIMPULAN DAN SARAN	23
5.1 Simpulan	23
5.2 Saran	23
DAFTAR PUSTAKA	24
LAMPIRAN	26
RIWAYAT HIDUP	28

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 mengugikan kepentingan yang wajar IPB University.

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



DAFTAR TABEL

1	Parameter Model	11
2	Tiga jenis pembelahan sel punca (Gentry dan Jackson 2013)	3
3	Akuisisi mutasi pada sel punca dan pembentukan keturunan abnormal (Gentry dan Jackson 2013)	7
4	Bentuk fungsional probabilitas pembelahan diri simetris (a) ketika $a = 0,25$, (b) ketika $a = 0,75$	10
5	Dinamika populasi sel punca urutan GDR	13
6	Dinamika populasi sel terdiferensiasi urutan GDR	14
7	Dinamika populasi sel punca urutan GRD	15
8	Dinamika populasi sel terdiferensiasi urutan GRD	15
9	Dinamika populasi sel punca urutan RGD	16
10	Dinamika populasi sel terdiferensiasi urutan RGD	17
11	Dinamika populasi sel punca urutan DGR	17
12	Dinamika populasi sel terdiferensiasi urutan DGR	18
13	Dinamika populasi sel punca urutan DRG	18
14	Dinamika populasi sel terdiferensiasi urutan DRG	19
15	Dinamika populasi sel punca urutan RDG	19
16	Dinamika populasi sel terdiferensiasi urutan RDG	20
17	Dinamika populasi sel punca urutan RDG	

LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Diagram alir penelitian	27
---	------------------------------------	----

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 mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.

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