



PEMODELAN PENGARUH JARI-JARI TUMOR PADA SISTEM PENGHANTARAN OBAT CAIRAN INTERSTISIAL

ANNISA NUR AZAHRA



**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 USULAN PENELITIAN DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul **“Pemodelan Pengaruh Jari-jari Tumor pada Sistem Penghantaran Obat Cairan Interstisial”** 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

Annisa Nur Azahra

- 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 mengikuti 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.



ANNISA NUR AZAHRA. Pemodelan Pengaruh Jari-jari Tumor pada Sistem Penghantaran Obat Cairan Interstisial. Dibimbing oleh AGUS KARTONO dan YESSIE WIDYA SARI.

ABSTRAK

Perkembangan teknologi sistem penghantaran obat (DDS) kini semakin luas, DDS dapat menjangkau bahkan hingga ke pusat tumor. Namun, perkembangannya masih mengalami hambatan yaitu berkaitan dengan pengaruh parameter cairan interstisial, seperti tekanan interstisial (IFP). Untuk melihat pengaruh IFP terhadap DDS, maka pemodelan dapat dilakukan dengan menyelesaikan solusi numerik pada tumor padat yang meninjau gradien tekanan cairan interstisial tumor (TIFP) menggunakan persamaan diferensial parsial, contohnya metode beda hingga. Melalui solusi numerik metode beda hingga, diperoleh bahwa ketika $R_n/R > 0,8$ maka terjadi penurunan IFP menuju 0 dan efikasi DDS meningkat, sebaliknya ketika $R_n/R < 0,8$ maka P_i konstan. Pemodelan juga dilakukan untuk melihat pengaruh jari-jari tumor terhadap kelajuan cairan interstisial (IFV). Pada jari-jari tumor $R = 1$ cm, nilai IFV akan meningkat pada nilai $R = (0,8 - 1)$ cm. IFV tertinggi berada pada orde 10^{-6} m/s, hal ini mengimplikasikan bahwa IFV rendah pada pusat tumor dan semakin tinggi menuju ke luar tumor.

Kata Kunci: cairan interstisial, metode beda hingga, persamaan diferensial parsial, tumor padat.

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.



ABSTRACT

ANNISA NUR AZAHRA. Numerical Simulation on the Effect of Solid Tumor Radius on the Interstitial Fluid Transport. Supervised by AGUS KARTONO and YESSIE WIDYA SARI.

Development of drug delivery systems (DDS) has enabled targeted therapeutic penetration into the core regions of solid tumors. However, their efficacy remains constrained by interstitial fluid dynamics, particularly elevated interstitial fluid pressure (IFP). This study employed computational modeling to investigate IFP gradients in solid tumors by numerically solving partial differential equations using finite difference methods. Numerical solutions demonstrated a pressure decay to near-zero values at normalized radial positions exceeding 0.8 tumor radius $R_n/R > 0.8$, correlating with enhanced DDS penetration efficiency. Conversely, regions below this threshold $R_n/R < 0.8$ maintained constant IFP (P_i). Furthermore, analysis of interstitial fluid velocity (IFV) profiles revealed velocity augmentation in peripheral tumor regions $R = (0.8 - 1)\text{cm}$ for $R = 1\text{ cm}$, reaching peak magnitudes on the order of 10^{-6} m/s . These findings demonstrate a radial velocity gradient characterized by stagnant flow in the tumor core and convective outward transport in the periphery. The results provide quantitative evidence that heterogeneous fluid dynamics significantly influence drug distribution patterns, suggesting the need for: (1) pressure-modulating therapies to enhance central tumor penetration and (2) flow-optimized delivery strategies to counteract peripheral drug clearance. This computational framework offers a foundation for designing spatially targeted DDS in solid tumors.

Keywords: finite difference method, interstitial fluid, partial differential equation, solid tumor.



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.



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.



PEMODELAN PENGARUH JARI-JARI TUMOR PADA SISTEM PENGHANTARAN OBAT CAIRAN INTERSTISIAL

ANNISA NUR AZAHRA

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada
Program Studi S1 Fisika

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.

**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 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:
Dr. Setyanto Tri Wahyudi, S.Si., M.Si
Dr. Ir. Irmansyah, S.Si., M.Si.



Judul Skripsi : Pemodelan Jari-jari Tumor pada Sistem Penghantaran Obat Cairan Interstisial
Nama : Annisa Nur Azahra
NIM : G74012110279

Disetujui oleh

Pembimbing 1 :
Dr. Agus Kartono, S.Si., M.Si.
NIP. 197004211999031002

Pembimbing 2 :
Dr. Yessie Widya Sari, S.Si., M.Si.
NIP. 198004142012122004

Diketahui oleh

Kewc Departemen Fisika :
Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada W.P, S.Si., M.Si.
NIP. 19720519 199702 1 001

Tanggal Ujian : 7 Juli 2025

Tanggal Lulus :

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.



Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga usulan penelitian dengan judul **“PEMODELAN PENGARUH JARI-JARI TUMOR PADA SISTEM PENGHANTARAN OBAT CAIRAN INTERSTITIAL”** sebagai salah satu syarat melaksanakan penelitian di Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Dr. Agus Kartono, S.Si., M.Si dan Dr. Yessie Widya Sari, S.Si selaku dosen pembimbing skripsi atas segala bimbingan, arahan, serta saran yang diberikan maupun curahan waktu yang diberikan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik
2. Orang tua tercinta dan keluarga besar penulis atas doa, dukungan, dan kasih sayang selama hidup penulis
3. Bapak Dr. Sigit, Bapak Faris, Kak Ahyad, dan Bapak Palapa yang telah memberikan wawasan baru bagi penulis dalam akselerasi kemampuan kepenulisan maupun pembelajaran mendasar dalam mempersiapkan skripsi ini
4. Seluruh staf pengajar, staf pelayanan mahasiswa, dan tenaga pendidik Departemen Fisika IPB yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan bantuan selama perjalanan akademik penulis di Departemen Fisika
5. Tim ESC, teman-teman *Naon*, rekan-rekan seperjuangan Fisika Angkatan 58, dan rekan-rekan penulis lainnya yang telah bersama dan menginspirasi penulis selama menempuh pendidikan di Departemen Fisika IPB

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, Juli 2025

Annisa Nur Azahra



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 TABEL	zxk
DAFTAR GAMBAR	zxk
DAFTAR LAMPIRAN	zxk
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Drug Delivery System</i> pada Kanker	4
2.2 Cairan Interstisial	4
2.3 Metode Numerik pada <i>Drug Delivery</i> dalam <i>Tumor Interstitial Fluid</i> (TIF-DDS)	5
2.4 Metode Numerik	7
III METODE PENELITIAN	8
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	8
3.2 Alat Penelitian	8
3.3 Prosedur Penelitian	8
3.3.1 Studi Pustaka	8
3.3.2 Penyelesaian Metode Numerik	8
3.3.3 Penyusunan Algoritma	10
3.3.4 Analisis Data	12
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	13
4.1 Solusi Numerik Pemodelan Fluida pada Tumor Padat	13
4.2 Pemodelan Pengaruh Jari-jari Nekrotik (R_n) Terhadap Perbandingan P_i/P_{ss}	16
4.3 Pemodelan Pengaruh Jari-jari Nekrotik (R_n) Terhadap IFP (P_i)	17
4.4 Pemodelan Pengaruh Jari-jari Tumor (R) terhadap IFV	19
4.5 Pemodelan Pengaruh Jari-jari Nekrotik R_n terhadap IFV	20
V SIMPULAN DAN SARAN	21
5.1 Simpulan	21
5.2 Saran	21
DAFTAR PUSTAKA	22
LAMPIRAN	25
LAMPIRAN	26

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.



DAFTAR TABEL

1. Parameter dalam simulasi numerik	10
-------------------------------------	----

DAFTAR GAMBAR

Penampang lintang dari tumor padat yang menunjukkan tiga area berbeda dari tumor padat, distribusi IFP, konsentrasi obat, dan distribusi filtrasi dari pembuluh darah (Soltani dan Chen 2012)	6
Solusi numerik menggunakan pemodelan pengaruh jari-jari nekrotik terhadap perbandingan Pi/Pss dengan variasi nilai α	16
Distribusi IFP dengan variasi α (Soltani dan Chen 2012)	16
Solusi numerik menggunakan pemodelan pengaruh jari-jari nekrotik (Rn) terhadap IFP Pi	17
Ilustrasi jari-jari nekrotik Rn dan jari-jari tumor (R) (Soltani dan Chen 2012)	18
Ilustrasi Distribusi IFP (Soltani dan Chen 2012)	18
Solusi numerik pemodelan pengaruh jari-jari tumor R terhadap IFV	19
Distribusi IFV pada jaringan tumor (Soltani dan Chen 2012)	19
Hasil solusi numerik pemodelan pengaruh jari-jari nekrotik Rn terhadap IFV	20
Perbandingan hasil solusi numerik pemodelan pengaruh jari-jari nekrotik Rn terhadap IFV	20

DAFTAR LAMPIRAN

1. Lampiran 1 Diagram alir metode penelitian	26
2. Lampiran 2 Kodingan pengaruh jari-jari nekrotik (Rn) terhadap perbandingan Pi/Pss	27
3. Lampiran 3 Kodingan solusi numerik tersebut digunakan untuk membuat algoritma pada kasus pengaruh jari-jari nekrotik (Rn) terhadap IFP	30
4. Lampiran 4 Kodingan pengaruh jari-jari nekrotik (Rn) terhadap IFV	32
5. Lampiran 5 Kodingan IFV sebagai fungsi Rn	34