

PENGEMBANGAN MODEL DINAMIKA BASAL GANGLIA THALAMUS (BGTH) DAN RESPON IMUNOTERAPI PADA PENYAKIT PARKINSON

MOH. IMAM MASUDI KALIM



**PROGRAM STUDI BIOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Pengembangan Model Dinamika Basal Ganglia Thalamus (BGTH) dan Respon Imunoterapi pada Penyakit Parkinson” 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 tesis ini.

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

Bogor, 01 Juli 2026

Moh. Imam Masudi Kalim
G7501241006

- 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.



RINGKASAN

MOH IMAM MASUDI KALIM. Pengembangan Model Dinamika Basal Ganglia Thalamus (BGTH) dan Respon Imunoterapi pada Penyakit Parkinson. Dibimbing oleh AGUS KARTONO dan SITTI YANI.

Penyakit Parkinson merupakan penyakit neurodegeneratif progresif yang ditandai dengan degenerasi neuron dopaminergik di *substantia nigra pars compacta* (SNc). Penyakit ini menyebabkan gangguan pada sistem basal ganglia thalamus (BGTH) serta gejala motorik seperti bradikinesia, rigiditas, dan tremor. Selain kekurangan dopamin, penumpukan protein α -synuclein yang mengalami *misfolding* menyebabkan aktivasi mikroglia yang berlebihan dan mempercepat degenerasi neuron. Penelitian terdahulu memodelkan sistem BGTH dan respons imun secara terpisah, sehingga keterkaitan antara proses imunoterapi dan gangguan sistem BGTH tidak terintegrasi. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model matematika terintegrasi yang menggabungkan model dinamika sistem BGTH dengan respons imunoterapi, untuk mengevaluasi efektivitas imunoterapi dalam menghambat progresi penyakit Parkinson. Kedua model diintegrasikan melalui parameter imunoterapi sebagai variabel kontrol yang mengatur perubahan konsentrasi α -synuclein. Perubahan tersebut digunakan untuk memodulasi konduktansi sinaptik antar-nukleus pada model BGTH. Simulasi dilakukan menggunakan MATLAB pada kondisi fisiologis, patologis, dan pasca-imunoterapi dengan tiga tingkat efektivitas (rendah, sedang, maksimal).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi Parkinson terjadi perubahan pola *firing* neuron yang ditandai dengan penurunan aktivitas GPe (*globus pallidus externa*) serta peningkatan aktivitas STN (*subthalamic nucleus*) dan GPi (*globus pallidus interna*). Perubahan tersebut meningkatkan inhibisi terhadap TH (*thalamus*) sehingga mengganggu transmisi sinyal motorik. Pemberian imunoterapi mampu memperbaiki pola *firing* neuron dan mengembalikan aktivitas sistem BGTH menuju kondisi normal.

Kata kunci: α -synuclein, Basal ganglia thalamus, Imunoterapi, Neuroinflamasi, Penyakit Parkinson.



SUMMARY

MOH IMAM MASUDI KALIM. Development of a Basal Ganglia Thalamus (BGTH) Dynamics Model and Immunotherapy Response in Parkinson's Disease. Supervised by AGUS KARTONO and SITTI YANI.

Parkinson's disease is a progressive neurodegenerative disorder characterized by the degeneration of dopaminergic neurons in the substantia nigra pars compacta (SNc). This disease causes disruption of the basal ganglia thalamus (BGTH) system and motor symptoms such as bradykinesia, rigidity, and tremor. In addition to dopamine deficiency, the accumulation of misfolded α -synuclein protein leads to excessive microglia activation and accelerated neuronal degeneration. Previous studies have modeled the BGTH system and the immune response separately, thus lacking an integrated understanding of the relationship between immunotherapy processes and BGTH system disorders. This study aims to develop an integrated mathematical model that combines the dynamics of the BGTH system with the immunotherapy response to evaluate the effectiveness of immunotherapy in inhibiting Parkinson's disease progression. The two models are integrated through immunotherapy parameters as control variables that regulate changes in α -synuclein concentration. These changes are used to modulate internuclear synaptic conductance in the BGTH model. Simulations were performed using MATLAB under physiological, pathological, and post-immunotherapy conditions with three levels of effectiveness (low, moderate, and maximal).

Research results show that in Parkinson's disease, neuron firing patterns change, characterized by decreased activity of the external globus pallidus (GPe) and increased activity of the subthalamic nucleus (STN) and internal globus pallidus (GPi). These changes increase inhibition of the thalamus (TH), thus disrupting motor signal transmission. Immunotherapy can improve neuron firing patterns and restore normal BGTH system activity.

Keywords: *α -synuclein, Basal ganglia thalamus, Immunotherapy, Neuroinflammation, Parkinson's disease*



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 Institut Pertanian Bogor, tahun 2026
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.

PENGEMBANGAN MODEL DINAMIKA BASAL GANGLIA THALAMUS (BGTH) DAN RESPON IMUNOTERAPI PADA PENYAKIT PARKINSON

MOH. IMAM MASUDI KALIM

Tesis
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Biofisika

**PROGRAM STUDI BIOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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 Tesis:
Dr. Faozan, S.Si., M.Si.

Judul Tesis : Pengembangan Model Dinamika Basal Ganglia Thalamus (BGTH) dan Respon Imunoterapi pada Penyakit Parkinson

Nama : Moh. Imam Masudi Kalim

NIM : G7501241006

Disetujui oleh:

Pembimbing 1:

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

Pembimbing 2:

Dr. Sitti Yani, S.Si., M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr. Mersi Kurniati, S.Si., M.Si.

NIP 196811171998022001

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu

Pengetahuan Alam :

Dr. Berry Juliandi, M.Si.

NIP.197807232007011001.

Tanggal Ujian: 23 Juli 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat, karunia, dan ridha-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2025 hingga Januari 2026 dengan judul "Pengembangan Model Dinamika Basal Ganglia Thalamus (BGTH) dan Respon Imunoterapi pada Penyakit Parkinson" sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Biofisika, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Prof. Dr. Agus Kartono, S.Si., M.Si. dan Dr. Sitti Yani, S.Si., M.Si. selaku komisi pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, serta motivasi selama proses penelitian dan penyusunan karya ilmiah ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Dr. Faozan, S.Si., M.Si. selaku penguji tesis atas waktu, perhatian, serta berbagai saran dan masukan yang sangat berharga untuk penyempurnaan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dr. Mersi Kurniati, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Studi Biofisika atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama penulis menempuh pendidikan.

Dengan penuh rasa hormat dan cinta, penulis mempersembahkan rasa terima kasih kepada almarhum Ayah H. Supardi dan Ibu Inyanah atas doa, kasih sayang, pengorbanan, serta dukungan yang tiada henti. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada adik tercinta dan seluruh keluarga atas segala perhatian, semangat, dan dukungan yang telah diberikan selama proses penyelesaian studi. Ucapan terima kasih yang tulus juga penulis sampaikan kepada sahabat-sahabat terbaik, Dafa A, Julia Racmita, Novita Dwi F, Reagan, atas kebersamaan, kerja sama, semangat, serta dukungan yang tidak pernah putus selama proses penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh rekan mahasiswa Program Studi Biofisika atas kebersamaan, diskusi, serta berbagi ilmu dan pengalaman yang sangat berarti selama masa perkuliahan dan penelitian.

Akhir kata, penulis berharap karya ilmiah ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi salah satu kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang biofisika dan pemodelan matematika penyakit Parkinson.

Bogor, 01 Juli 2026

Moh. Imam Masudi Kalim

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	ii
DAFTAR GAMBAR	ii
DAFTAR LAMPIRAN	iii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Basal Ganglia dan Thalamus	4
2.2 Penyakit Parkinson	5
2.3 Model Listrik Membran Neuron	7
2.4 Model Matematika Sistem Basal Ganglia Thalamus	9
2.5 Model Imunoterapi	11
III METODE	14
3.1 Waktu dan Tempat	14
3.2 Alat dan Bahan	14
3.3 Prosedur Kerja	14
3.3.1 Studi Pustaka	14
3.3.2 Pengembangan Model	15
3.3.3 Pembuatan Program Simulasi	18
3.4 Analisis Data	19
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1. Model BGTH pada Kondisi Normal dan Parkinson	20
4.2. Model Imunoterapi	24
4.3. Model Terintegrasi BGTH dan Imunoterapi untuk Penyakit Parkinson	27
V SIMPULAN DAN SARAN	35
5.1 Simpulan	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN	43
RIWAYAT HIDUP	46

DAFTAR TABEL

1	Deskripsi dari parameter beserta satuan pada model BGTH	10
2	Deskripsi parameter beserta satuan dari model imunoterapi	12
3	Perubahan konduktansi sinaptik GPe pada kondisi normal dan Parkinson dalam model BGTH	21
4	Perubahan konduktansi sinaptik STN pada kondisi normal dan Parkinson dalam model BGTH	22
5	Perubahan konduktansi sinaptik GPi pada kondisi normal dan Parkinson dalam model BGTH	23
6	Perubahan konduktansi sinaptik TH pada kondisi normal dan Parkinson dalam model BGTH	24
7	Parameter model imunoterapi	25
8	Pemulihan konduktansi sinaptik intranukleus GPe pada kondisi Parkinson dan setelah imunoterapi	29
9	Pemulihan konduktansi sinaptik STN pada kondisi Parkinson dan setelah imunoterapi	30
10	Pemulihan konduktansi sinaptik GPi pada kondisi Parkinson dan setelah imunoterapi	32
11	Pemulihan konduktansi sinaptik TH pada kondisi Parkinson dan setelah imunoterapi	33

DAFTAR GAMBAR

1	Integrasi sistem basal ganglia thalamus (BGTH) dan korteks dalam kontrol motorik	4
2	Perbandingan dinamika BGTH pada kondisi normal dan Parkinson	6
3	Perbandingan pola firing neuron pada kondisi normal dan Parkinson	6
4	Model biofisika membran neuron dalam bentuk rangkaian listrik ekuivalen	8
5	Potensial aksi neuron berdasarkan model HH	9
6	Model sistem basal ganglia thalamus (BGTH)	9
7	Dinamika model imunoterapi	12
8	Diagram alir penelitian yang akan dilakukan	14
9	Integrasi model sistem BGTH dan Imunoterapi	17
10	Perbandingan potensial membran neuron GPe pada kondisi normal dan Parkinson	20
11	Perbandingan potensial membran neuron STN pada kondisi normal dan Parkinson	21
12	Perbandingan potensial membran neuron GPi pada kondisi normal dan Parkinson	22
13	Perbandingan potensial membran neuron TH pada kondisi normal dan Parkinson	24
14	Dinamika populasi neuron sehat pada berbagai tingkat dosis imunoterapi	26
15	Dinamika populasi neuron terinfeksi pada berbagai tingkat dosis imunoterapi	26
16	Dinamika populasi α -syn pada berbagai tingkat dosis imunoterapi	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 merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



17 Perbandingan potensial membran neuron GPe pada kondisi normal, Parkinson, dan berbagai tingkat dosis imunoterapi	28
18 Perbandingan potensial membran neuron STN pada kondisi normal, Parkinson, dan berbagai tingkat dosis imunoterapi	30
19 Perbandingan potensial membran neuron GPi pada kondisi normal, Parkinson, dan berbagai tingkat dosis imunoterapi	31
20 Perbandingan potensial membran neuron TH pada kondisi normal, Parkinson, dan berbagai tingkat dosis imunoterapi	33

DAFTAR LAMPIRAN

1 Deskripsi dari parameter beserta satuan pada model BGTH	44
2 Deskripsi parameter beserta satuan dari model imunoterapi	45