



DESAIN IMUNOINFORMATIKA VAKSIN TERAPEUTIK KANKER MULUT RAHIM BERBASIS ONKOPROTEIN E6 DAN E7 HPV-52 TERINTEGRASI NEOANTIGEN

RAFI IRSYAD SAPUTRA



**DEPARTEMEN BIOKIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@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 “Desain Imunoinformatika Vaksin Terapeutik Kanker Mulut Rahim Berbasis Onkoprotein E6 dan E7 HPV-52 Terintegrasi Neoantigen” 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, Juli 2026

Rafi Irsyad Saputra
G8401221051

- 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

RAFI IRSYAD SAPUTRA. Desain Immunoinformatika Vaksin Terapeutik Kanker Mulut Rahim Berbasis Onkoprotein E6 dan E7 HPV-52 Terintegrasi Neoantigen. Dibimbing oleh RINI KURNIASIH dan LAKSMI AMBARSARI.

Kanker mulut rahim menempati urutan kedua sebagai kanker dengan kasus tertinggi di Indonesia akibat infeksi *Human Papilloma Virus* (HPV), khususnya melalui onkoprotein E6 dan E7. Keterbatasan vaksin profilaksis dan rendahnya cakupan vaksinasi mendorong pengembangan vaksin terapeutik. Penelitian ini bertujuan mendesain vaksin multi-epitop berbasis immunoinformatika dengan mengintegrasikan onkoprotein HPV-52 (E6 dan E7) dan neoantigen PIK3CA (E545K). Metode meliputi eksplorasi mutasi, prediksi epitop sel T dan B, seleksi berdasarkan imunogenisitas hingga toksisitas, serta konstruksi vaksin dengan adjuvan dan *linker*. Karakterisasi dilakukan melalui analisis fisikokimia, pemodelan struktur 3D, *molecular docking* terhadap TLR3 dan TLR4, dan simulasi imun. Hasil menunjukkan cakupan populasi 93,8% di Indonesia. Struktur memiliki kualitas nilai Ramachandran *favored* 98,2%. Hasil *docking* menunjukkan interaksi kuat, dengan TLR3 dan TLR4. Simulasi imun menunjukkan peningkatan antibodi hingga 650.000/mL, aktivasi sel T *helper* hingga 11.000 sel/mm³, serta dominasi IFN- α hingga 425.000 ng/mL.

Kata kunci: HPV-52, immunoinformatika, kanker mulut rahim, neoantigen, vaksin multi-epitop

ABSTRACT

RAFI IRSYAD SAPUTRA. Immunoinformatics-Based Design of a Therapeutic Cervical Cancer Vaccine Incorporating HPV-52 E6 and E7 Oncoproteins and Neoantigens. Supervised by RINI KURNIASIH dan LAKSMI AMBARSARI.

Cervical cancer ranks as the second most prevalent cancer in Indonesia and is primarily caused by infection with *Human Papilloma Virus* (HPV), particularly through the actions of the E6 and E7 oncoproteins. The limitations of prophylactic vaccines and low vaccination coverage necessitate the development of therapeutic vaccines. This study aimed to design a multi-epitope vaccine using an immunoinformatics approach by integrating HPV-52 E6 and E7 oncoproteins with the PIK3CA neoantigen (E545K). Methods included epitope prediction and selection based on immunological properties, vaccine construction, vaccine characterization, 3D structure modeling, molecular docking with TLR3 and TLR4, and immune simulation. The results showed 93.8% population coverage in Indonesia. Structural analysis indicated high quality with 98.2% Ramachandran favored regions. Molecular docking demonstrated strong interactions with TLR3 and TLR4. Immune simulation revealed increased antibody levels up to 650,000/mL, T helper cell activation up to 11,000 cells/mm³, and dominant IFN- α production reaching 425,000 ng/mL.

Keywords: Cervical cancer, HPV-52, immunoinformatics, multi-epitope vaccine, neoantigen



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 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.

DESAIN IMUNOINFORMATIKA VAKSIN TERAPEUTIK KANKER MULUT RAHIM BERBASIS ONKOPROTEIN E6 DAN E7 HPV-52 TERINTEGRASI NEOANTIGEN

RAFI IRSYAD SAPUTRA

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

**DEPARTEMEN BIOKIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@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. dr. Husnawati, S.Ked., M.Si.
- 2 Dr. Syaefudin, S.Si., M.Si.

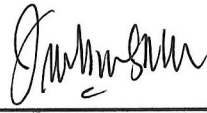


Judul Skripsi : Desain Immunoinformatika Vaksin Terapeutik Kanker Mulut Rahim
Berbasis Onkoprotein E6 dan E7 HPV-52 Terintegrasi Neoantigen

Nama : Rafi Irsyad Saputra
NIM : G8401221051

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Rini Kurniasih, S.Si., M.Si.

Pembimbing 2:
Prof. Dr. Dra. Laksmi Ambarsari, M.S.

Diketahui oleh

 Ketua Departemen Biokimia
Prof. Dr. Mega Safithri, S.Si., M.Si.
NIP 197709152005012002



Tanggal Ujian:
11 Juni 2026

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 karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan November 2025 sampai bulan April 2026 ini ialah pengembangan vaksin terapeutik kanker mulut rahim berbasis imunoinformatika, dengan judul “Desain Imunoinformatika Vaksin Terapeutik Kanker Mulut Rahim Berbasis Onkoprotein E6 dan E7 HPV-52 Terintegrasi Neoantigen”.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, serta doa. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Rini Kurniasih, S.Si., M.Si. selaku pembimbing I sekaligus pembimbing akademik penulis sejak awal perkuliahan yang telah dengan sabar dan tulus membimbing, memberikan dukungan, arahan, motivasi, serta kepercayaan kepada penulis selama proses penelitian maupun perjalanan akademik sehingga penulis dapat berkembang dengan baik.
2. Prof. Dr. Dra. Laksmi Ambarsari, M.S. selaku pembimbing II yang telah memberikan banyak bantuan dan arahan selama proses penyusunan skripsi sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Kedua orang tua dan seluruh keluarga penulis atas doa, kasih sayang, dukungan moral maupun material, serta kepercayaan yang selalu diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan seluruh proses perkuliahan dan penyusunan skripsi ini.
4. Sahabat dan teman-teman terdekat, khususnya Bakti Satria Utara, Moch Azriel Putra Maulana (Acep), Fauzan Al-Malik, Lizzilmi Syarifatus Zaimah, Tillah Putri Ivanza, Ana Aulia Rohman, Siti Sulistiyani, Anida Prasetyaningrum, Ahda Ramadhinta, Reza Novandra, dan Ka Nabiila Salsabila atas segala dukungan, semangat, motivasi, bantuan, serta menjadi tempat berbagi cerita selama perjalanan akademik penulis.
5. Teman-teman lain di “Prasmanan” (Firlan, Indri, Ninu, dan ade Uti), “Ga Boleh SKS” (Najmi, Lulu, Aulia Yasmin, dan Chinov), “Medsommar” (Amanda, Shafwah, Herni, Meyra, dan Fakhri), sudah menjadi bagian dalam perjalanan ini.
6. Seluruh keluarga besar Biokimia 59, teman-teman di lingkungan Departemen Biokimia maupun di luar departemen, serta semua pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas segala bantuan dan dukungan sehingga penelitian dan skripsi ini dapat diselesaikan.
7. *Last but not least, I want to thank me for believing in me, for doing all of this hard work, for having no days off, for never quitting, for always being a giver, and trying to give more than I receive, and I want to thank me for trying to do more right than wrong, and for just being me at all the times.*

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, April 2026

Rafi Irsyad Saputra



- 

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat Riset	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Kanker Mulut Rahim	3
2.2 <i>Human Papilloma Virus</i>	4
2.3 Vaksin	6
2.4 <i>Reverse Vaccinology</i>	7
2.5 <i>Multi-Epitop</i>	8
III METODE	10
3.1 Waktu dan Tempat	10
3.2 Alat dan Bahan	10
3.3 Prosedur Kerja	10
3.4 Analisis Data	15
IV HASIL	16
4.1 Seleksi Epitop	16
4.2 Karakteristik Desain Vaksin HPV-52	19
4.3 Pemodelan Struktur Tiga Dimensi Desain Vaksin HPV-52	20
4.4 <i>Molecular Docking</i> Vaksin HPV-52 Multi-Epitop terhadap Reseptor	23
4.5 Simulasi Sistem Imun Vaksin HPV-52 Multi-Epitop	28
V PEMBAHASAN	31
5.1 Seleksi Epitop	31
5.2 Karakteristik Desain Vaksin HPV-52	33
5.3 Pemodelan Struktur Tiga Dimensi Desain Vaksin HPV-52	33
5.4 <i>Molecular Docking</i> Vaksin HPV-52 Multi-Epitop terhadap Reseptor	34
5.5 Simulasi Sistem Imun Vaksin HPV-52 Multi-Epitop	35
VI PENUTUP	38
6.1 Kesimpulan	38
6.2 Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN	48
RIWAYAT HIDUP	76

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.	Jalur pensinyalan akibat infeksi HPV	4
2.	Struktur HPV	5
3.	Mekanisme vaksin	6
4.	Proses desain vaksin secara imunoinformatika	7
5.	Rancangan multi-epitop pada desain vaksin	9
6.	Konstruksi vaksin HPV-52	19
7.	Prediksi struktur sekunder vaksin HPV-52	21
8.	Model Struktur dan evaluasi struktur tiga dimensi	22
9.	Interaksi residu penambatan vaksin dengan TLR3	25
10.	Interaksi residu penambatan vaksin dengan TLR4	26
11.	Respons antibodi dan sel B terhadap vaksin HPV-52	29
12.	Respons sel T <i>helper</i> (TH) terhadap vaksin HPV-52	29
13.	Respons sel T sitotoksik (TC) terhadap vaksin HPV-52	30
14.	Respons sel dendritik dan sitokin terhadap vaksin HPV-52	30
15.	Jalur PI3K/AKT	31
16.	Diferensiasi sel T CD4+ dan profil sitokin yang dihasilkan	37

DAFTAR TABEL

1.	Karakteristik epitop	17
2.	Hasil seleksi epitop dan cakupan alel	18
3.	Evaluasi fisikokimia dan biologis kandidat vaksin HPV-52	20
4.	Perbandingan Ramachandran plot model tiga dimensi vaksin HPV-52 sebelum dan sesudah <i>refinement</i>	21
5.	Evaluasi struktur tiga dimensi dengan menggunakan MolProbity	23
6.	Klasifikasi Interaksi Residu Vaksin-TLR	27
7.	Prediksi <i>binding affinity</i> kompleks vaksin-reseptor	28

DAFTAR LAMPIRAN

1.	Bagan Alir Penelitian	49
2.	Prediksi epitop <i>Cytotoxic T Lymphocytes</i> (CTL)	50
3.	Prediksi epitop <i>Helper T Lymphocytes</i> (HTL)	59
4.	Prediksi epitop sel b	62
5.	Seleksi epitop <i>Cytotoxic T Lymphocytes</i> (CTL)	63
6.	Seleksi epitop <i>Helper T Lymphocytes</i> (HTL)	65
7.	Seleksi epitop sel b	66
8.	Hasil prediksi cakupan populasi	67
9.	Hasil prediksi protein transmembran dengan PSIPRED	67
10.	Evaluasi Ramachandran <i>plot</i> pada hasil pemodelan AlphaFold3	68
11.	Hasil <i>molecular docking</i> seluruh model kompleks vaksin-TLR3	69
12.	Hasil <i>molecular docking</i> seluruh model kompleks vaksin-TLR4	72