



## **KONTROL OPTIMUM DAN ANALISIS EFEKTIVITAS BIAYA PADA MODEL SVEIQR-SEI PENYEBARAN VIRUS CACAR MONYET**

**SITI LUNA SATIYAH**



**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2025**



## **PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Kontrol Optimum dan Analisis Efektivitas Biaya pada Model SVEIQR-SEI Penyebaran Virus Cacar Monyet” adalah karya saya dengan arahan dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. 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, Agustus 2025

Siti Luna Satiyah  
NIM G5401211084



## ABSTRAK

SITI LUNA SATIYAH. Kontrol Optimum dan Analisis Efektivitas Biaya pada Model SVEIQR-SEI Penyebaran Virus Cacar Monyet. Dibimbing oleh TONI BAKHTIAR dan ALI KUSNANTO.

Ancaman penyakit zoonosis seperti cacar monyet terus berkembang sehingga pendekatan matematis diperlukan untuk merancang strategi pengendalian yang efektif. Dalam penelitian ini, model SVEIQR-SEI direkonstruksi untuk menggambarkan dinamika penyebaran virus cacar monyet pada manusia dan tikus gambia sebagai reservoir. Tiga variabel kontrol diterapkan, yaitu vaksinasi pada individu rentan, karantina terhadap manusia yang terinfeksi, dan karantina tikus gambia dalam pengiriman internasional. Permasalahan kontrol optimum dianalisis melalui prinsip maksimum Pontryagin dan penyelesaian numerik dilakukan dengan metode *forward-backward sweep* dengan integrasi Runge-Kutta orde-4. Efektivitas biaya pengendalian dianalisis dengan pendekatan ACER dan ICER. Berdasarkan hasil simulasi, penurunan infeksi paling signifikan dicapai melalui kombinasi ketiga kontrol, sedangkan skenario dengan satu kontrol, yaitu karantina manusia terinfeksi dinilai paling efisien dalam menekan infeksi dengan biaya yang rendah.

Kata kunci: cacar monyet, efektivitas biaya, kontrol optimum, model SVEIQR-SEI, prinsip maksimum Pontryagin

## ABSTRACT

SITI LUNA SATIYAH. Optimal Control and Cost-Effectiveness Analysis of the SVEIQR-SEI Model for Monkeypox Virus Spread. Supervised by TONI BAKHTIAR and ALI KUSNANTO.

The threat of zoonotic diseases such as monkeypox continues to grow, necessitating mathematical approaches to design effective control strategies. In this study, the SVEIQR-SEI model was reconstructed to describe the transmission dynamics of the monkeypox virus. Three control variables were incorporated, namely vaccination of susceptible individuals, quarantine of infected humans, and quarantine of giant pouched rats in international shipments. The optimal control problem is analyzed using the Pontryagin's maximum principle and solved numerically via the forward-backward sweep method with fourth-order Runge-Kutta integration. The cost-effectiveness of control strategies was evaluated using ACER and ICER. Simulation results showed that the most significant infection reduction was achieved through the combination of all three controls, while the scenario with a single control, namely quarantine of infected humans, was found to be the most cost-efficient in reducing infections.

Keywords: cost-effectiveness, monkeypox, optimal control, Pontryagin's maximum principle, SVEIQR-SEI model



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.*



# **KONTROL OPTIMUM DAN ANALISIS EFEKTIVITAS BIAYA PADA MODEL SVEIQR-SEI PENYEBARAN VIRUS CACAR MONYET**

**@Hak cipta milik IPB University**

**SITI LUNA SATIYAH**

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

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 mengulik kepentingan yang wajar IPB University.

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

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2025**

**IPB University**



Penguji pada Ujian Skripsi:  
Prof. Dr. Drs. JahaRuddin, M.S.

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.



Judul Skripsi : Kontrol Optimum dan Analisis Efektivitas Biaya pada Model SVEIQR-SEI Penyebaran Virus Cacar Monyet  
Nama : Siti Luna Satiyah  
NIM : G5401211084

Disetujui oleh

Pembimbing 1:  
Prof. Dr. Toni Bakhtiar, S.Si., M.Sc.



Digitally signed by:  
Toni Bakhtiar

Date: 12 Agu 2025 09.15.33 WIB  
Verify at [disign.ipb.ac.id](https://disign.ipb.ac.id)



digitally signed  
  
disign.ipb.ac.id

Pembimbing 2:  
Drs. Ali Kusnanto, M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:  
Dr. Donny Citra Lesmana, S.Si., M.Fin.Math.  
NIP. 197902272005011001



digitally signed  
  
disign.ipb.ac.id

Tanggal Ujian: 21 Juli 2025

Tanggal Lulus:



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 Agustus 2024 sampai bulan Agustus 2025 ini ialah kontrol optimum, dengan judul “Kontrol Optimum dan Analisis Efektivitas Biaya pada Model SVEIQR-SEI Penyebaran Virus Cacar Monyet”. Penyusunan karya ilmiah ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu, banyak terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Ibu Lusi dan alm. Bapak Kresna selaku orang tua tercinta yang selalu memberikan dukungan, doa, semangat, serta membiayai seluruh proses pendidikan penulis,
2. Bapak Prof. Dr. Toni Bakhtiar, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembimbing I, Bapak Drs. Ali Kusnanto, M.Si. selaku dosen pembimbing II, dan Bapak Prof. Dr. Drs. Jaharuddin, M.S. selaku dosen penguji atas waktu, arahan, bimbingan, doa, serta motivasi yang senantiasa diberikan kepada penulis selama penyusunan karya ilmiah ini,
3. Seluruh dosen dan staf Program Studi Matematika IPB yang telah memfasilitasi, membimbing, mendoakan, dan memberikan ilmu selama masa studi penulis,
4. Rekan-rekan seperjuangan di Program Studi Matematika Angkatan 58 yang telah menjadi teman dalam suka dan duka selama masa kuliah, khususnya Acha, Fathia, Nabila, Farsya, dan Aira,
5. Sahabat dan teman-teman Paguyuban Mahasiswa Bandung yang telah menjadi keluarga kedua selama di perantauan, khususnya Pams Kicil, Pams Geulis, Zahra Alya, dan Dhiyaa Faaizah atas kebersamaan dan dukungannya,
6. Moch. Ali Syariati Musthafa yang telah mendampingi penulis dan memberikan semangat sejak masa SMA hingga kini,
7. Semua pihak yang telah berkontribusi dan membantu dalam penyusunan karya ilmiah ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

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

Bogor, Agustus 2025

*Siti Luna Satiyah*

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 mengulang kepentingan yang wajar IPB University.

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



<b>DAFTAR TABEL</b>	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	viii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	viii
<b>I PENDAHULUAN</b>	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
<b>II TINJAUAN PUSTAKA</b>	3
2.1 Cacar Monyet	3
2.1.1 Penyebaran	3
2.1.2 Gejala	3
2.1.3 Vaksinasi	3
2.1.4 Karantina Manusia Terinfeksi	4
2.1.5 Karantina Tikus Gambia dalam Pengiriman Internasional	4
2.2 Kontrol Optimum	4
2.3 Prinsip Maksimum Pontryagin	5
2.4 Metode Runge-Kutta Orde-4	5
2.5 Metode <i>Forward-Backward Sweep</i>	6
2.6 Model SVEIQR-SEI	6
2.7 Analisis Efektivitas Biaya	9
<b>III METODE PENELITIAN</b>	11
<b>IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	13
4.1 Model SVEIQR-SEI dengan Variabel Kontrol	13
4.2 Kondisi Optimalitas	15
4.3 Simulasi Numerik	19
4.4 Analisis Efektivitas Biaya	29
<b>V SIMPULAN DAN SARAN</b>	34
5.1 Simpulan	34
5.2 Saran	34
<b>VI DAFTAR PUSTAKA</b>	35
<b>LAMPIRAN</b>	37
<b>RIWAYAT HIDUP</b>	70

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 mengulang kepentingan yang wajar IPB University.

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



1	Deskripsi kelas manusia dan hewan reservoir (tikus gambia)	8
2	Deskripsi parameter dalam model	9
3	Strategi pengendalian dari beberapa skenario kontrol	21
4	Nilai parameter	22
5	Nilai awal variabel <i>state</i>	23
6	Nilai <i>average cost-effectiveness ratio</i> (ACER)	30
7	Nilai ICER yang diurutkan berdasarkan infeksi yang dihindari	30
8	Nilai ICER tanpa skenario 3	31
9	Nilai ICER tanpa skenario 1	31

## DAFTAR GAMBAR

1	Diagram kompartemen dari model SVEIQR-SEI	7
2	Diagram alir penelitian	11
3	Diagram kompartemen model SVEIQR-SEI dengan variabel kontrol	13
4	Model SVEIQR-SEI dengan kontrol konstan pada populasi manusia	24
5	Grafik subpopulasi $S_h$	25
6	Grafik subpopulasi $V_h$	25
7	Grafik subpopulasi $E_h$	26
8	Grafik subpopulasi $I_h$	27
9	Grafik subpopulasi $Q_h$	27
10	Grafik subpopulasi $R_h$	28
11	Grafik masing-masing fungsi adjoint	29
12	Kontrol optimum pada skenario 2	32
13	Dinamika subpopulasi manusia dengan skenario 2	32

## DAFTAR LAMPIRAN

1	Solusi nilai kontrol optimum	38
2	Simulasi model dengan kontrol konstan	50
3	Pendefinisian dan solusi untuk masing-masing skenario	54
4	Analisis efektivitas biaya	63
5	Syarat transversalitas	65