SKRIPSI

PEMODELAN MATEMATIKA DAN STRATEGI KONTROL OPTIMAL UNTUK PENGENDALIAN INFEKSI HCV

MATHEMATICAL MODELING AND OPTIMAL CONTROL STRATEGY FOR HCV INFECTION CONTROL

GAVRIL IMANUEL AMADEO PURBA

24010122140127

DEPARTEMEN MATEMATIKA

FAKULTAS SAINS DAN MATEMATIKA

UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG

2026

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PEMODELAN MATEMATIKA DAN STRATEGI KONTROL OPTIMAL UNTUK PENGENDALIAN INFEKSI HCV

Diusulkan oleh:

Gavril Imanuel Amadeo Purba

24010122140127

Telah disetujui pada

23 September 2026

Susunan Tim Penguji

Pemimbing II/Penguji,

Anindita Henindya Permatasari, S.Si, M.Mat
NIP 199305232019032021

Penguji,

Handika Lintang Saputra M.Mat
NIP 199508022024061001

Mengetahui,
Ketua Departemen Matematika,

Dr. Sutrisno, S.Si., M.Sc
NIP 198609012014041003

Pembimbing 1/Penguji,

Prof .Dr. Widowati, S.Si., M.Si
NIP 196902141994032002

ABSTRAK

PEMODELAN MATEMATIKA DAN STRATEGI KONTROL OPTIMAL UNTUK PENGENDALIAN INFEKSI HCV

oleh

Gavril Imanuel Amadeo Purba

24010122140127

Penyakit Hepatitis C yang disebabkan oleh infeksi Hepatitis C Virus (HCV) masih menjadi salah satu permasalahan kesehatan global yang dapat berkembang menjadi infeksi kronis dan menyebabkan kerusakan hati. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan memodifikasi model respons imun terhadap infeksi HCV dengan menambahkan dua variabel kontrol, yaitu intervensi pengobatan antivirus (*Direct-Acting Antivirals*/DAA) dan imunoterapi. Analisis kestabilan titik kesetimbangan bebas penyakit dan titik kesetimbangan endemik dilakukan dengan menggunakan nilai reproduksi dasar R_0 yang dihitung menggunakan metode *Next Generation Matrix*. Selanjutnya, strategi kontrol optimal diformulasikan ke dalam fungsi objektif tipe *Lagrange* dengan tujuan meminimalkan jumlah sel hepatosit yang terinfeksi dan virus bebas di dalam tubuh, dengan memperhitungkan biaya intervensi pengobatan. Solusi kondisi optimal diselesaikan secara analitik melalui pendekatan Prinsip Maksimum Pontryagin, kemudian masalah nilai batas dua titik (*Two-Point Boundary Value Problem*) diselesaikan menggunakan *Forward-Backward Sweep Method* (FBSM) yang digabung dengan metode Runge-Kutta orde empat (RK4). Hasil simulasi komputasi dengan Python menunjukkan bahwa penerapan kontrol mampu mencegah lonjakan jumlah virus bebas dan sel hepatosit terinfeksi sejak fase awal infeksi dibandingkan dengan skenario tanpa intervensi. Secara keseluruhan, penerapan strategi kontrol optimal mampu menurunkan bilangan reproduksi dasar dari R_0 = 3,1579 menjadi rata-rata R_0 = 2,7267. Namun, nilai tersebut masih lebih besar dari satu, yang berarti infeksi masih dapat bertahan. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa kontrol optimal mampu mereduksi jumlah virus bebas dan sel hepatosit terinfeksi dibandingkan dengan skenario tanpa kontrol.

Kata kunci: Pemodelan Matematika, Hepatitis C Virus (HCV), Sistem Imun, Kontrol Optimal, Prinsip Maksimum Pontryagin.

ABSTRACT

MATHEMATICAL MODELING AND OPTIMAL CONTROL STRATEGY FOR PREVENTION OF HCV DISEASE SPREAD

by

Gavril Imanuel Amadeo Purba

24010122140127

Hepatitis C, caused by infection with the Hepatitis C Virus (HCV), remains a global health concern that can develop into a chronic infection and cause liver damage. This study aims to investigate and modify an immune-response model for HCV infection by incorporating two control variables, namely antiviral treatment with Direct-Acting Antivirals (DAAs) and immunotherapy. The local stability analysis of the disease-free equilibrium and the endemic equilibrium is performed, while the basic reproduction number (R_0) is calculated using the Next Generation Matrix method. Subsequently, an optimal control strategy is formulated into an objective functional with the aim of minimizing the number of infected hepatocytes and free viruses in the body while accounting for the costs of treatment interventions. The optimality conditions are derived analytically using Pontryagin's Maximum Principle, and the resulting two-point boundary value problem (TPBVP) is solved numerically using the Forward-Backward Sweep Method (FBSM) combined with the fourth-order Runge-Kutta (RK4) method. Computational simulation results using Python demonstrate that the implementation of the control strategy can prevent an increase in the number of free viruses and infected hepatocytes from the early phase of infection compared with the scenario without intervention. Overall, the implementation of the optimal control strategy reduces the basic reproduction number from $R_0 = 3.1579$ to an average of $R_0 = 2.7267$. However, this value remains greater than one, which indicates that the infection can still persist. The simulation results also showed that the optimal control strategy was able to reduce the levels of free virus and infected hepatocytes compared with the scenario without control.

Keywords: Mathematical Modeling, Hepatitis C Virus (HCV), Immune System, Optimal Control, Pontryagin's Maximum Principle.