

**ANALISIS KESTABILAN DAN KONTROL OPTIMAL
MODEL MATEMATIKA INFEKSI *CANDIDA AURIS* DI
*INTENSIVE CARE UNITS (ICUs)***

SKRIPSI



BERLIANA DEWI ERMAWATI

**PROGRAM STUDI S-1 MATEMATIKA
DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA**

2022

ANALISIS KESTABILAN DAN KONTROL OPTIMAL MODEL MATEMATIKA INFEKSI *CANDIDA AURIS* DI *INTENSIVE CARE UNITS* (ICUs)

SKRIPSI



BERLIANA DEWI ERMAWATI

PROGRAM STUDI S-1 MATEMATIKA
DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA

2022

**ANALISIS KESTABILAN DAN KONTROL OPTIMAL MODEL
MATEMATIKA INFEKSI *CANDIDA AURIS* DI *INTENSIVE CARE UNITS*
(ICUs)**

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Matematika
pada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga**

Berliana Dewi Ermawati

NIM. 081811233107

Disetujui oleh:

Pembimbing I,



Dr. Miswanto, M.Si.
NIP. 196802041993031002

Pembimbing II,



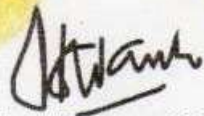
Dr. Windarto, M.Si.
NIP. 197711042003121001

LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI

Judul : Analisis Kestabilan dan Kontrol Optimal Model
Matematika Infeksi *Candida Auris* di-Intensive Care
Units (ICUs)
Penyusun : Berliana Dewi Ermawati
NIM : 081811233107
Pembimbing I : Dr. Miswanto, M.Si.
Pembimbing II : Dr. Windarto, M.Si.
Tanggal Ujian : 25 Agustus 2022

Disetujui oleh:

Pembimbing I,



Dr. Miswanto, M.Si.
NIP. 196802041993031002

Pembimbing II,



Dr. Windarto, M.Si.
NIP. 197711042003121001

Mengetahui,

Ketua Departemen Matematika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Airlangga



Dr. Henry Suprajitno, M.Si.
NIP. 196804041994031020

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan, namun tersedia di perpustakaan dalam lingkungan Universitas Airlangga, diperkenankan untuk dipakai sebagai referensi kepustakaan, tetapi pengutipan harus seizin pengusun dan harus menyebutkan sumbernya sesuai kebiasaan ilmiah. Dokumen skripsi ini merupakan hak milik Universitas Airlangga.

SURAT PERNYATAAN TENTANG ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini, saya:

Nama : Berliana Dewi Ermawati

NIM : 081811233107

Program Studi : S-1 Matematika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Jenjang : Sarjana (S1)

menyatakan bahwa saya tidak melakukan kegiatan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul:

**“Analisis Kestabilan dan Kontrol Optimal Model Matematika
Infeksi *Candida Auris* di *Intensive Care Units* (ICUs)”**

Apabila suatu saat ini terbukti melakukan tindakan plagiat, maka saya menerima sanksi yang ditetapkan.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 26 Agustus 2022



Berliana Dewi Ermawati

NIM. 081811233107

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah mencurahkan segala taufik, rahmat, dan karunia-Nya. Tak lupa shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad Saw, pemimpin sekaligus sebaik-baiknya suri tauladan bagi kehidupan umat manusia sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi dengan judul “**Analisis Kestabilan dan Kontrol Optimal Model Matematika Infeksi *Candida Auris* di *Intensive Care Units* (ICUs)**”. Pada penyusunan proposal skripsi ini tak lepas dari begitu banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Moh Nasih, SE., M.T., Ak., CMA. selaku rektor Universitas Airlangga yang telah memberikan kesempatan kepada penyusun untuk belajar di lingkungan Universitas Airlangga.
2. Prof. Dr. Moh Yasin, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga.
3. Dr. Herry Suprajitno, S.Si., M.Si. selaku Ketua Departemen dan Koprodi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga yang telah memberikan fasilitas selama perkuliahan.
4. Abdulloh Jaelani S.Si., M.Si. selaku dosen wali selama menjadi mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga yang banyak memberikan nasihat dan arahan demi kesuksesan penulis.
5. Dr. Miswanto, M.Si. selaku dosen pembimbing I dan Dr. Windarto, M.Si. selaku dosen pembimbing II yang senantiasa penuh kesabaran dalam memberikan bimbingan berupa ilmu, saran, waktu, dan motivasi.
6. Seluruh dosen S1 Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga yang telah memberi banyak pengetahuan yang bermanfaat bagi penulis selama masa perkuliahan.
7. Keluarga penulis yang sangat luar biasa dalam memberikan doa, nasihat, motivasi dan fasilitas.

8. Seluruh teman-teman jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi angkatan 2018, kalian sangatlah berkesan!
9. Seluruh pihak yang belum tertulis yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat sebagai bahan pustaka dan penambahan informasi khususnya bagi mahasiswa Universitas Airlangga.

Surabaya, 26 Agustus 2022

Berliana Dewi Ermawati

Berliana Dewi Ermawati. 2022. **Analisis Kestabilan dan Kontrol Optimal Model Matematika Infeksi *Candida Auris* di *Intensive Care Units* (ICUs)**. Skripsi ini dibawah bimbingan Dr. Miswanto, M.Si. dan Dr. Windarto, M.Si. Departemen Matematika. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Airlangga. Surabaya.

ABSTRAK

Candida auris adalah spesies jamur yang tumbuh sebagai ragi, *Candida auris* hidup dan berbahaya bagi kulit dan selaput lendir, tetapi mengancam kesehatan global. *Candida auris* dapat hidup pada suhu lebih dari 37°C . Jamur tersebut dapat menyebar lewat aliran darah, luka, dan infeksi telinga. *Candida auris* menyebabkan infeksi dan banyak laporan menjadi penyebab penyakit lebih parah, terutama pada pasien rawat inap. Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk menganalisis kestabilan titik setimbang serta penerapan kontrol optimal berupa strategi pencegahan kontak pada populasi pasien dan populasi petugas kesehatan dan berupa pengobatan pada populasi pasien *exposed* dan terkontaminasi *Candida auris* yang diterapkan di *Intensive Care Units* (ICUs). Berdasarkan hasil analisis pada model tersebut diperoleh dua titik setimbang yaitu titik setimbang non endemik (E_0) dan titik setimbang endemik (E_1). Titik setimbang non endemik bersifat stabil asimtotis jika *basic reproduction number* $R_0 < 1$ dan titik setimbang endemik bersifat stabil asimtotis lokal bersyarat yang dikaji menggunakan kriteria Routh-Hurwitz. Permasalah kontrol optimal diselesaikan menggunakan Prinsip Minimum Pontryagin. Hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa pemberian kedua kontrol secara bersamaan lebih efektif dibanding hanya memberikan satu kontrol untuk meminimalkan jumlah populasi yang terkontaminasi serta meminimalkan biaya pengeluaran.

Kata Kunci: Model Matematika, *Candida auris*, Kestabilan, Kontrol Optimal.

Berliana Dewi Ermawati. 2022. **Analisis Kestabilan dan Kontrol Optimal Model Matematika Infeksi *Candida Auris* di *Intensive Care Units* (ICUs)**. This thesis is supervised by Dr. Miswanto, M.Si. and Dr. Windarto, M.Si. Department of Mathematics. Faculty of Science and Technology. Airlangga University. Surabaya.

ABSTRACT

Candida auris is a species of fungus that grows as yeast, *Candida auris* is alive and harmful to skin and mucous membranes, but threatens global health. *Candida auris* can live at temperatures over 37°C. The fungus can spread through the bloodstream, wounds, and ear infections. *Candida auris* causes infection and is widely reported to be a cause of more severe disease, especially in hospitalized patients. The purpose of writing this thesis is to analyze the stability of the equilibrium point and the application of optimal control in the form of a contact prevention strategy in the patient population and health care worker population and in the form of treatment in the patient population exposed and contaminated with *Candida auris* which is applied in Intensive Care Units (ICUs). Based on the results of the analysis on the model, the analysis resulted in two equilibrium points, namely the non-endemic equilibrium point (E_0) and the endemic equilibrium point (E_1). The non-endemic equilibrium point is asymptotically stable if the basic reproduction number is $R_0 < 1$ and the endemic equilibrium point is conditionally asymptotically local stable which is studied using the Routh-Hurwitz criteria. The optimal control problem is solved by Pontryagin's Minimum Principle. The results of numerical simulations show that giving both controls simultaneously is more effective than only giving one control to minimize the number of contaminated population and to minimize cost of its control.

Keyword: Mathematical Model, *Candida auris*, Stability, Optimal Control.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN NASKAH SKRIPSI.....	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	iv
SURAT PERNYATAAN TENTANG ORISINALITAS	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Intensive Care Units (ICUs)</i>	5
2.2 <i>Candida</i>	5
2.3 <i>Candida Auris</i>	6
2.4 <i>Saturated Incidence Rate</i>	7

2.5	Sistem Persamaan Diferensial	7
2.6	Kestabilan Sistem Linier	8
2.7	Kriteria Routh-Hurwitz	10
2.8	Bilangan Reproduksi Dasar (R_0).....	12
2.9	Masalah Kontrol Optimal	12
2.10	Prinsip Minimum Pontryagin	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		15
BAB IV PEMBAHASAN.....		17
4.1	Model Matematika	17
4.2	Titik Setimbang Model Matematika Infeksi <i>Candida Auris</i> di ICUs.....	21
4.3	Analisis Kestabilan Lokal Titik Setimbang.....	24
4.4	Model Matematika Infeksi <i>Candida Auris</i> di ICUs dengan Adanya Kontrol.....	31
4.5	Simulasi Numerik Model Matematika Infeksi <i>Candida Auris</i> di ICUs ...	36
BAB V PENUTUP.....		44
5.1	Kesimpulan.....	44
5.2	Saran	45
DAFTAR PUSTAKA		46
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
4.1	Definisi Variabel dan Parameter dalam Model Matematika Infeksi <i>Candida Auris</i>	17
4.2	Nilai Awal	29
4.3	Nilai Parameter Model Matematika Infeksi <i>Candida Auris</i> di ICUs	29
4.4	Perbandingan Jumlah Populasi Populasi Pasien <i>Exposed</i> Pada Waktu Akhir Pengamatan	38
4.5	Perbandingan Jumlah Populasi Populasi Pasien Terkontaminasi <i>Candida Auris</i> Pada Waktu Akhir Pengamatan	39
4.6	Perbandingan Jumlah Populasi Populasi Petugas Kesehatan <i>Exposed</i> Pada Waktu Akhir Pengamatan	40
4.7	Perbandingan Fungsi Ongkos Setiap Kondisi di Akhir Pengamatan	43

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
4.1	Diagram Transmisi Model Matematika Infeksi <i>Candida Auris</i>	19
4.2	Grafik Bidang Fase Populasi P_S dan P_I pada Model Matematika Infeksi <i>Candia Auris</i> di ICUs	30
4.3	Simulasi Kontrol Optimal Pada Populasi Pasien <i>Exposed</i> (P_E)	37
4.4	Simulasi Kontrol Optimal Pada Populasi Pasien Terkontaminasi (P_I)	38
4.5	Simulasi Kontrol Optimal Pada Populasi Petugas Kesehatan <i>Exposed</i> (H_E)	39
4.6	Grafik untuk Profil Kontrol u_1	40
4.7	Grafik untuk Profil Kontrol u_2	41
4.8	Grafik untuk Profil Kontrol u_1 dan u_2	41

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul
1	Perhitungan Titik Setimbang Non Endemik (E_0)
2	Perhitungan <i>Basic Reproduction Number</i> (R_0)
3	Perhitungan Titik Setimbang Endemik (E_1)
4	Pencarian Persamaan Karakteristik Titik Setimbang Non Endemik
5	Kode Program MATLAB Grafik Bidang Fase pada Titik Setimbang Endemik E_1
6	Kode Program MATLAB untuk Simulasi Numerik Model Matematika Infeksi <i>Candida Auris</i> di ICUs Tanpa Kontrol
7	Kode Program MATLAB untuk Model Matematika Infeksi <i>Candida Auris</i> di ICUs dengan Kontrol u_1
8	Kode Program MATLAB untuk Model Matematika Infeksi <i>Candida Auris</i> di ICUs dengan Kontrol u_2
9	Kode Program MATLAB untuk Model Matematika Infeksi <i>Candida Auris</i> di ICUs dengan Kontrol u_1 dan u_2